

ЛОМОТЬКО Д. В., д. т. н., професор,
ФІЛІПСЬКИЙ О. В., магістрант,
ЛОМОТЬКО М. Д., магістрант (Український державний університет залізничного транспорту),
КРАСНОШТАН О. М., к. т. н. (АТ «Укрзалізниця»)

Формування узгодженого графіка руху для мультимодальних пасажирських перевезень за участю залізничного транспорту

Проаналізовано умови, необхідні для формування залізнично-автобусних пасажирських перевезень за єдиним графіком. Відповідно до нормативно-правової бази встановлено, що вони можуть бути віднесені до мультимодальних пасажирських перевезень. Створено структурно-логічні схеми просування пасажиропотоку на транспортно-пересадочних вузлах при здійсненні пересадки за участю залізничного транспорту. Запропоновано математичну модель узгодженого графіка руху пасажирських транспортних засобів. Визначено етапність та ефективність впровадження мультимодальних перевезень пасажирів в умовах транспортно-пересадочного вузла міста Дніпро.

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

Вступ

Одним з найголовніших завдань транспортної галузі є зручне та безпечне перевезення пасажирів. Діяльність усіх видів транспорту спрямовано на забезпечення потреб регіонів країни, але транспортна інфраструктура потребує реформування, в тому числі оновлення транспортно-пересадочних вузлів (ТПВ), вокзалів та рухомого складу. Тому актуальне завдання задоволення попиту на пасажирські перевезення потребує комплексного впровадження транспортних послуг на залізничному транспорті із належним рівнем сервісу [0].

Постановка задачі та її актуальність

Ефективна організація перевезень пасажирів забезпечується різними видами сполучень (міжнародні, внутрішні, далекі, приміські) та способами надання послуги (нічний, Intercity, бізнес-клас, економ-клас тощо). Але раціональна робота ТПВ є передумовою для збільшення обсягів продажу проїзних документів, можливості здійснення комфортних пересадок між маршрутами, в тому числі тих, що виконуються з використанням різних видів транспорту. Це потребує застосування інноваційних технологій узгодження графіка руху транспортних засобів та створення єдиного інформаційного середовища.

Скорочення тривалості перебування пасажирів під час вирішення власної транспортної потреби може бути досягнуто тільки із застосуванням логістичних технологій та мультимодальних залізничних пасажирських перевезень за участю автотранспорту. У

складних транспортних мережах при неузгодженій роботі перевізників пересадка з одного виду транспорту на інший завдає пасажирам велику кількість незручностей: оформлення кількох проїзних документів, складність перевезення багажу, необхідність переміщення під час пересадки між транспортними засобами, досить низький рівень інформаційного забезпечення поїздки. Тому пасажир може розраховувати на високоякісну систему задоволення його потреб при перевезенні за логістичною мультимодальною технологією на базі узгодженого розкладу руху.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Прогнозування, управління і контроль за логістичними потоками, створення інтелектуального інформаційного середовища в транспортних системах [4, 6, 7, 11] – це одні з основних напрямків в наукових дослідженнях вчених Українського державного університету залізничного транспорту.

Багатофункціональні ТПВ, що забезпечують зменшення тривалості, зручну та безпечну пересадку для пасажирів [5, 6], як правило, містять залізничні вокзальні комплекси. Для уникнення незручностей при пересуванні по ТПВ пропонується раціоналізація маршрутів пасажиропотоків при здійсненні пересадки [4, 6, 8], покращення рівня інформаційного забезпечення [4, 9, 12]. Це дасть змогу враховувати особливості мультимодальної технології перевезення пасажирів [11, 17] шляхом застосування узгодження руху пасажирських засобів транспорту.

© Д. В. Ломотько, О. В. Філіпський, М. Д. Ломотько, О. М. Красноштан, 2019

Створенню математичних моделей синхронізації та оптимізації графіків руху транспортних засобів присвячено праці багатьох авторів [4, 16]. Для раціональної організації перевезень за участю автобусів використовується математична модель синхронізації, що вирішують застосуванням лінійного цілочисельного програмування [15]. Для транспортних систем з одним ТПВ завдання узгодження графіків вирішується за допомогою теорії розкладів шляхом застосування «одноприладових» методів зі зворотними критеріями максимізації [13] або мінімізації цільової функції зваженого числа запізнених вимог [14]. Аналізу проблем мультимодальних перевезень присвячено багато праць [2, 10, 11, 17], але сьогодні відсутнє вагоме обґрунтування стратегії розвитку технології пасажирських мультимодальних перевезень за участю залізниць.

Мета статті

Метою роботи є визначення умов, що необхідно створити для формування ефективних залізничних пасажирських перевезень за участю автотранспорту шляхом застосування узгодженого графіка руху (мультимодальних пасажирських перевезень).

Виклад основного матеріалу дослідження

Впровадженню перевезень пасажирів за участю декількох видів транспорту за єдиним проїзним документом заважає кілька факторів. Цей вид перевезень відповідно до існуючої нормативно-правової бази [2, 3] може бути віднесений до мультимодальних пасажирських перевезень.

Дійсно, відповідно до вимог ст. 913 [2] «перевезення вантажу, пасажирів, багажу, пошти може здійснюватися кількома видами транспорту за єдиним транспортним документом (пряме змішане сполучення). Відносини організацій, підприємств транспорту, що здійснюють перевезення у прямому змішаному сполученні, визначаються за домовленістю між ними». Згідно з [3] мультимодальне перевезення – перевезення двома або більше видами транспорту за єдиним транспортним документом у внутрішньодержавному чи (та) міжнародному сполученнях. Складність нормативного врегулювання цих перевезень пояснюється відмінностями у технології на кожному з видів транспорту, відповідно до чого існує об'єктивна неможливість задоволення вимог пасажирів лише одним видом транспорту.

Тому рекомендується ввести до [3] договір на перевезення пасажирів у прямому змішаному сполученні, який має бути одним із самостійних договорів перевезення – договором мультимодального пасажирського перевезення. Йому належатиме роль правового регулятора процесу перевезення пасажирів за участю двох або більше видів транспорту за єдиним проїзним документом. Особливість такого договору

полягає в тому, що однією з його умов є необхідність сплати загальної провізної плати та всіх необхідних платежів за повний шлях прямування; визначення терміну, необхідного для пересадки пасажирів з одного виду транспорту на інший; забезпечення страхування пасажирів із поширенням його дії на ланки усіх транспортних організацій.

За аналогією до вантажних перевезень, договір мультимодального пасажирського перевезення має укладатись безпосередньо з транспортним підприємством – перевізником, який є законним представником одночасно усіх транспортних організацій у даному виді сполучення – з оператором мультимодального пасажирського перевезення. На початковому етапі роль оператора мультимодальних пасажирських перевезень, на наш погляд, може взяти залізничний перевізник. Таким чином, згідно зі ст. 913 [2] всі перевізники (як початковий, так і наступні) розподіляють між собою обов'язки стосовно мультимодального перевезення пасажирів та його багажу та забезпечують безпечну пересадку з одного виду транспорту на наступний, тому це необхідно врахувати та доповнити [3].

Мультимодальне перевезення в пасажирському сполученні базується на узгодженому графіку руху інтегрованих у перевезення транспортних засобів. Найбільш затребуваний варіант у країні є перевезення залізничним транспортом та автобусами. До узгодженого графіка необхідно включити технологічний час на обробку поїздів, вагонів та автобусів, на пересадку пасажирів, а також резервний технологічний час у випадку порушення графіка руху до пункту пересадки. Як полігон дослідження обрано м. Дніпро, його залізничний та автовокзали, які можна розглядати як перспективний ТПВ мультимодального пасажирського перевезення. Для умов ТПВ Дніпра стійкою тенденцією є пересадка на інший вид транспорту (міжміський автобус) на автовокзалі у межах пішої доступності. Це створює передумови для використання мультимодальних технологій перевезення за «єдиним квитком» залізничним та автомобільним транспортом.

В умовах ТПВ Дніпра рух пасажирів між авто- та залізничним вокзалами викликає певні труднощі, що збільшує час на пересадку $t_{пер}$. Відстань пішого маршруту складає близько 800 м, тому на першому етапі створення ТПВ для зручності орієнтування запропоновано шлях прямування обладнати знаками з вказівкою напрямку, а також поліпшити якість дорожнього полотна та нанести на нього розмітку. Для інформування пасажирів рекомендовано використати аудіовізуальну рекламу на обох вокзалах і на екранах поїздів Intercity за 20, 10 та 5 хв до часу прибуття в Дніпро.

На другому етапі передбачено використання міського транспорту – трамвая (маршрут № 11) із

«змінним» інтервалом руху 2–7 хв, з графіком роботи з 5:30 до 23:36 та з безкоштовним проїздом між вокзалами за наявності залізничного та автобусного (у перспективі – єдиного) квитків. Одночасно пропонується впровадження сервісної послуги з доставки багажу між вокзалами. Зараз зручно та безпечно потрапити на трамвайну зупинку можна через підземний та наземний переходи. В подальшому можливо задіяти низькопідлогові автобуси (електробуси), які передбачається використовувати в режимі «shuttle-bus».

На третьому етапі плануються капітальні вкладення в ТПВ об'єднаного авто- та залізничного вокзалів шляхом створення підземних переходів, обладнаних ескалаторами, ліфтами для осіб з обмеженими фізичними можливостями, та з'єднаних з метрополітеном. Це викликано вимогами чинних будівельних норм, які рекомендують максимальну відстань пішої пересадки не більш ніж 400 м.

Формування узгоджених графіків руху транспортних засобів, що входять до мультимодального пасажирського маршруту, потребує врахування окремих технологічних ланок для скорочення простою вагонів та автобусів і підвищення зручності пересадки. На рис. 1 наведено структурно-логічні схеми технологічних елементів пересадки із залізничного транспорту на автобуси (рис. 1, а), з автобусів на поїзди (рис. 1, б) та з поїздів на приміські електропоїзди (рис. 1, в). Частки пасажиропотоку між окремими ланками пересадки визначено експертним методом до та після удосконалення технології роботи ТПВ.

За рекомендаціями [11], узгоджений графік руху кожного задіяного транспортного засобу має задовольняти вимоги одночасного прибуття до ТПВ задіяних транспортних засобів. Скороченню тривалості пересадки сприяє процедура «секторизації» зон платформи із зазначенням раціональних для здійснення пересадки. У випадку пішої доступності тривалість пересадки $t_{пер}$ має враховувати час на самостійний підхід пасажирів і на придбання квитків, що є характерним для ТПВ м. Дніпро. В цьому випадку удосконалення організації мультимодального перевезення можливе шляхом впровадження засобів автоматизованого продажу квитків (платіжно-довідкових терміналів самообслуговування). Резервний технологічний час $t_{рез}$ узгодженого графіка руху на випадок загрози запізнення приймається залежно від можливостей інфраструктури кожного з видів транспорту, інтенсивності руху, кількості платформ, місткості транспортного вузла, наявності переходів, ескалаторів, інформаційного забезпечення орієнтації пасажирів тощо.

Аналіз інтервалів руху між поїздами по основних ТПВ вітчизняного залізничного транспорту [11] показав, що характерними є графіки з інтервалом I_p 8, 24 та 40 хв між поїздами. Тому при створенні узгодженого графіка руху мультимодального пасажирського перевезення прийнято за максимальну тривалість, що пов'язана з надходженням до ТПВ наступного транспортного засобу, T_{max} , не більше 40 хв. На ту саму величину прийнято максимальний інтервал можливого корегування існуючого розкладу місцевих, приміських поїздів та автобусів.

Аналіз публікацій [6, 7, 12] довів, що тривалість маршрутів прямування пасажирів на ТПВ залежить від організації руху під час пересадки. Зокрема, в умовах станції ТПВ Дніпра середній час повної пересадки пасажирів між поїздами складає 7 хв, за існуючих умов шлях прямування між залізничним та автовокзалами складає 10 хв (див. рис. 1). Взаємне розташування вокзальної будівлі, перонів та схема виходу до автобусів дає можливість стверджувати, що час перебування пасажирів на автовокзалі ТПВ Дніпра для посадки (висадки) пасажирів складає 3 хв. Тому технологічно обмежена мінімальним технологічним інтервалом $T_{мін}$, тривалість пересадки пасажирів в умовах ТПВ Дніпра між залізничним та автовокзалами складає не менш 20 хв.

З метою дослідження попиту на мультимодальні пасажирські перевезення в умовах ТПВ Дніпра досліджено загальні пасажиропотоки (рис. 2). При цьому характер нерівномірності є близьким для залізничного сполучення та автовокзалу з наявністю ранкового (по прибутті) та вечірнього (по відправленні) пікових періодів. Зіставленням результатів розподілу пасажиропотоків по ТПВ Дніпра встановлено, 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 і до 33 % – автобусами. Таким чином, аналіз вказує на 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.

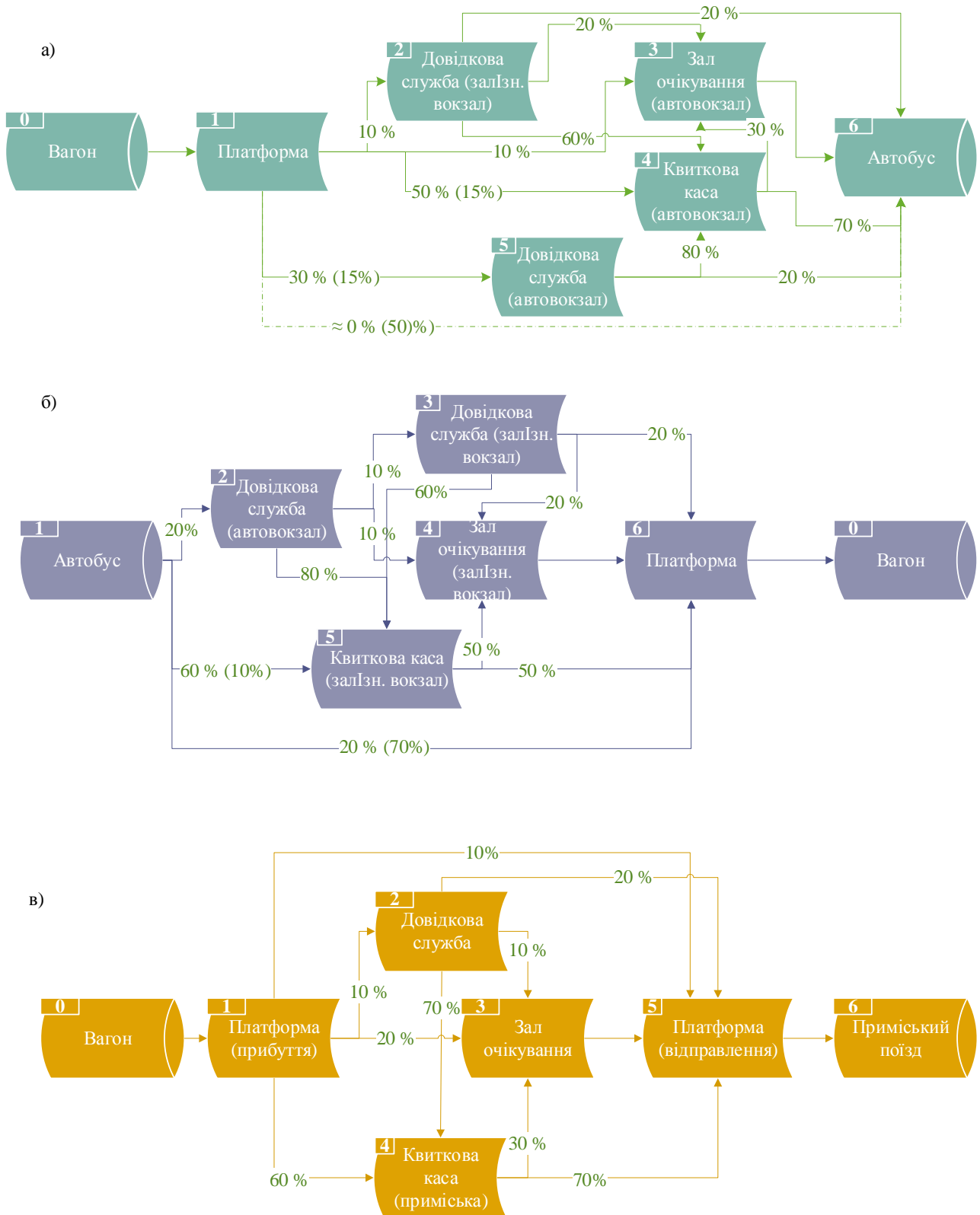


Рис. 1. Структурно-логічні схеми перерозподілу пасажиропотоків при здійсненні пересадки між залізничним та автовокзалом

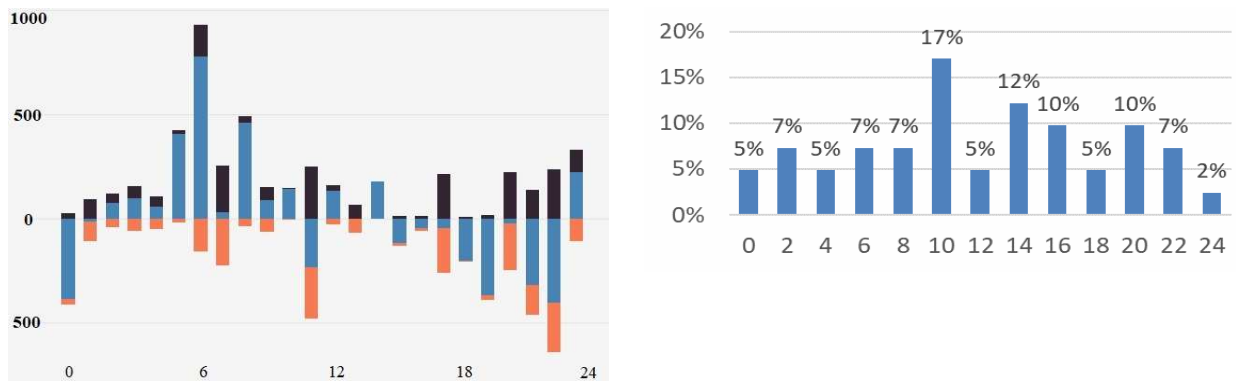


Рис. 2. Нерівномірність пасажиропотоку на ТПВ м. Дніпро для залізничного та автовокзалу, пас/год (дані АТ «Укрзалізниця» та ПАТ "ДОПАС")

Подальше дослідження можливості залучення частини місцевих пасажирів до мультимодального перевезення здійснено в умовах ранкового пікового

інтервалу 6...10 год для найбільш значного напрямку місцевого пасажиропотоку ТПВ м. Дніпро (рис. 3).



Рис. 3. Найбільш значні місцеві пасажиропотоки ТПВ м. Дніпро, пас/рік

Математичне сподівання середньодобової кількості пасажирів ТПВ Дніпра у далекому залізничному сполученні склало $N_{дал} = 4244$ пас/доб, в приміському – $N_{прим} = 11170$ пас/доб, в автобусному – $N_{авт} = 2050$ пас/доб при коефіцієнтах 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

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

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

На прийняття рішення пасажиром про здійснення мультимодальної поїздки істотний вплив здійснює зручність пересадки у ТПВ. Розроблені структурно-логічні схеми розподілу пасажиропотоку при здійсненні пересадки за участю залізничного транспорту на автобусів (див. рис. 1) дають кількісну оцінку привабливості мультимодального перевезення. Процес пересадки із залізничного транспорту на автобуси будемо вважати Марківським, тому технологію роботи ТПВ (див. рис. 1) можливо формалізувати у вигляді комплексу систем диференційних рівнянь Колмогорова. Наприклад, для схеми рис. 1, а «поїзд → автобус» отримано:

$$\begin{cases} \frac{dp_2(t)}{dt} = -(\lambda_{23} + \lambda_{24} + \lambda_{26})p_2(t) + \lambda_{12}p_1(t) \\ \frac{dp_3(t)}{dt} = -\lambda_{36}p_3(t) + \lambda_{13}p_1(t) + \lambda_{23}p_2(t) + \lambda_{43}p_4(t) \\ \frac{dp_4(t)}{dt} = -(\lambda_{43} + \lambda_{46})p_4(t) + \lambda_{14}p_1(t) + \lambda_{24}p_2(t) + \lambda_{54}p_5(t) \\ \frac{dp_5(t)}{dt} = -(\lambda_{54} + \lambda_{56})p_5(t) + \lambda_{15}p_1(t) \\ \frac{dp_6(t)}{dt} = -p_6(t) + \lambda_{26}p_2(t) + \lambda_{36}p_3(t) + \lambda_{46}p_4(t) + \lambda_{56}p_5(t) \end{cases} \quad (2)$$

$$p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5 + p_6 = 1$$

де λ_{ab} – інтенсивність потоку пасажирів між технологічними операціями a і b ;

$p_i(t)$ – функція імовірності знаходження елемента системи в i -му стані.

З урахуванням інтенсивностей пасажиропотоків $\eta_{даль}$, $\eta_{примь}$, $\eta_{авт}$ встановлено фінальні імовірності стану системи та отримано для умов ТПВ Дніпра оцінку потрібної переробної спроможності елементів

для забезпечення комфортної узгодженої пересадки між залізничним та автовокзалом (табл. 1). Таким чином, в умовах ТПВ Дніпра за рахунок впровадження мультимодальної схеми пасажирських перевезень загальна потрібна переробна спроможність елементів зменшується на $\Delta B_i = 73.22$ пас/год (на 9.7 % від існуючої).

Таблиця 1

Характеристика технологічних елементів узгодженої пересадки (умови ТПВ Дніпро)

Потрібна переробна спроможність, B_i , пас/год	Довідкова служба залізничного вокзалу	Зал очікування	Квиткова каса	Довідкова служба автовокзалу	Всього
Існуюча технологія					
Поїзд → автобус	5.12	18.45	41.11	15.35	80.03
Автобус → поїзд	0.58	11.66	22.06	5.73	40.03
Поїзд → приміський електропоїзд	150.09	61.66	100.86	-	312.61
Мультимодальна технологія					
Поїзд → автобус	6.03	15.0	25.94	9.14	56.11
Автобус → поїзд	0.68	5.83	9.91	7.29	23.71
Поїзд → приміський електропоїзд	179.25	52.10	48.28	-	279.63
Зміни у потрібній спроможності	30.17	-18.84	-79.9	-4.65	-73.22

Узгоджений графік руху транспортних засобів передбачає єдину технологію роботи різних перевізників та видів транспорту. Тому формування елементів узгодженого графіка починається зі встановлення:

- тривалості пересадки $\tau_{пер}$ в ТПВ з урахуванням виду комфортної пересадки та узгодженості стоянки з технологічної точки зору;

- резервного технологічного часу $t_{рез}$, необхідного для відновлення інтегрованого графіка руху на випадок запізнення транспортних засобів.

Прийняття рішення про формування узгодженого графіка пасажирського руху декількох видів транспорту виконується на основі інформації із систем АСК ПП УЗ та диспетчерської системи автобусного терміналу. Наявність цих даних дає змогу завчасно

підготуватися до обробки транспортних засобів, раціонально використовувати транспортну інфраструктуру, корегувати розклад, завчасно інформувати пасажирів про поїздки з пересадкою з придбанням єдиного квитка.

З метою формування раціональних параметрів узгодженого графіка мультимодального пасажирського перевезення запропоновано модель математичного програмування організації прибуття поїздів різних категорій та автомобільного транспорту. Модель дає можливість вибирати раціональний розклад для транспортних засобів (поїздів, автобусів), що дозволить покращити умови прямування пасажирів з пересадкою у ТПВ [11, 16]. В основу сформованої моделі покладено таку цільову функцію та обмеження:

$$F(A_{k,i}, D_{k,j}, \tau_{ijk}) = \sum_i^N \sum_j^N M_{i,j} \sum_k^K \mu_k \tau_{ijk} \rightarrow \min, \quad (3)$$

$$\begin{cases} A_{k,i} \geq 0, D_{k,j} \geq 0, T_{max_i} \geq D_{k,j} - A_{k,i} > 0, \\ i, j \in [1, N], k \in [1, K], \forall M_{i,j} \geq 0 \Rightarrow i \neq j, \\ A_{k,i} + \tau_{ijk} \leq D_{k,j}, \\ \tau_{ijk} \in [T_{min_i}, T_{max_i}], \sum_k^K \mu_k = 1 \end{cases} \quad (4)$$

де $A_{k,i}$ – значення часу прибуття до ТПВ кожного транспортного засобу k з маршруту прямування i ;

$D_{k,j}$ – значення часу відправлення транспортного засобу з ТПВ 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 технологічно обмежена мінімальним технологічним інтервалом T_{min_i} (тривалістю пересадки пасажирів) та максимальною тривалістю обробки T_{max_i} , що пов'язана з надходженням наступного транспортного засобу, хв;

K – кількість поїздів (автобусів), що заплановано на маршруті;

N – кількість можливих маршрутів прямування;

μ_k – показник відносної «ваги» кожної категорії транспортних засобів (поїздів або автобусів).

Задачу (3)–(4) запропоновано вирішити за допомогою теорії розкладів як задачу мінімізації цільової функції зваженого числа запізнілих вимог [14].

Формування узгодженого графіка мультимодального пасажирського перевезення за участю поїздів далекого сполучення, автобусів та приміських електропоїздів в умовах ТПВ Дніпра наведено на рис. 4. Для більш повного використання місткості транспортних засобів з урахуванням директивної тривалості пересадки $T_{пер}$ розроблено рекомендації щодо корегування чинного графіка руху. Наприклад, для найбільш напруженого приміського напрямку Верхівцеве – Верхньодніпровськ – Кам'янське (див. рис. 3) рекомендовано «звинути» до межі комфортної пересадки T_{min_i} о 7:18 відправлення електропоїзда 6011 (Кривий Ріг) та трьох автобусів маршрутом на Кам'янське (див. рис. 4). Одночасно ця рекомендація дозволить створити мультимодальне перевезення на міжрегіональних напрямках Київ → Дніпро → Кривий Ріг та Покровськ → Дніпро → Кривий Ріг.

Показником ефективності мультимодального перевезення пасажирів можуть виступати повні

витрати пасажирів з урахуванням загального часу поїздки T :

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

де $t_{пк}$ – час, що характеризує доступність ТПВ на початку поїздки та при її завершенні. Досвід розвинутих країн показує, що ТПВ має задовільну доступність, якщо з 75 % пунктів у великому місті можливо досягти ТПВ за $t_{пк} \leq 45$ 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 Дніпра можна скористатися статистичними даними АТ «Укрзалізниця»;

$v_{мі}$ – 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;

$\sigma_{I_p}^2$ – дисперсія інтервалу руху транспорту.

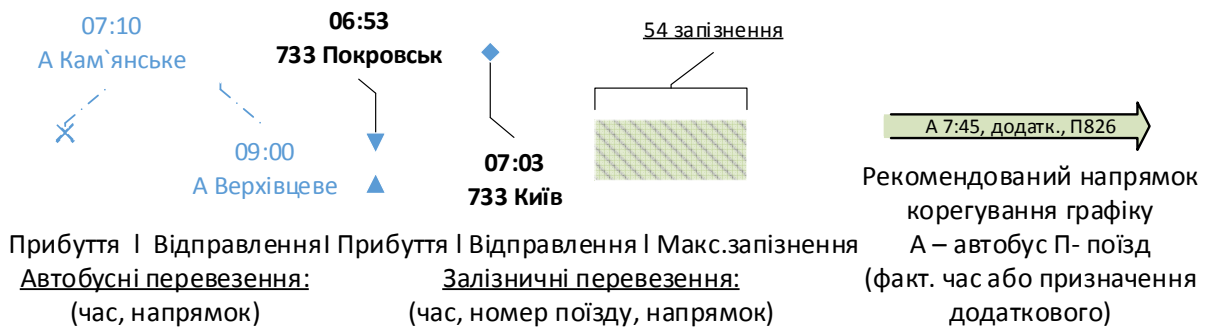
Оцінку розрахункового річного ефекту для умов ТПВ Дніпра визначено на рівні 3.2 млн грн/рік.

Висновок

Створення ефективної технології мультимодальних залізничних пасажирських перевезень за участю автотранспорту базується на узгодженому графіку руху. Раціоналізація та узгодження графіка запропоновано здійснити з використанням моделювання параметрів пасажиропотоків при взаємодії видів транспорту. Це дасть змогу раціоналізувати місткість транспортних засобів, скоротити на 30 % час очікування пасажирів у пунктах пересадки, зменшити необхідну переробну спроможність технологічних елементів ТПВ.

Дослідження довели, що навіть в умовах існуючих ТПВ за участю швидкісного залізничного транспорту можливо досягнення задовільного рівня сервісу та задоволеності пасажирів. Це сприятиме найбільш повному використанню можливостей пасажирського рухомого складу саме в мультимодальних пасажирських перевезеннях в умовах інтеграції рішень у галузі інформаційних технологій та застосування «єдиного квитка». Проведені розрахунки для умов ТПВ м. Дніпро показали зменшення навантаження на транспортну інфраструктуру ТПВ на 9.2 % при економічному ефекті на рівні 3.2 млн грн на рік.

Запропоновані авторами заходи закладають основу для вирішення завдань фінансового забезпечення окремих видів пасажирських перевезень, а також сприятимуть залученню в цю сферу окремих суб'єктів перевезень, транспортних операторів та інвесторів.



Пояснення до рис. 4

Список використаних джерел

1. Про схвалення Транспортної стратегії України на період до 2020 року. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 20 жовтня 2010 р. № 2174-р [Текст] // Урядовий кур'єр (офіційне видання) від 22.12.2010 р. – № 240.
2. Цивільний кодекс України. № 435-IV від 16.01.2003 (ред. від 31.03.2019). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/435-15> (дата звернення 01.04.2019).
3. Про мультимодальні перевезення: Проект Закону України. URL: <https://mtu.gov.ua/> (дата звернення 01.02.2019).
4. Бутько, Т. В. Удосконалення системи оперативного прогнозування пасажирських потоків на основі використання інтелектуальних технологій [Текст] / Т. В. Бутько, А. В. Прохорченко // Зб. наук. праць. – Харків : УкрДАЗТ, 2007. – С. 161-171.
5. Мультимодальные пассажирские перевозки с участием АО «ФПК» [Текст]: учеб. пособие / С. П. Вакуленко, Е. В. Копылова, Е. Б. Куликова, А. В. Колин. — М.: МГУПС (МИИТ), 2015. — 110 с.
6. Журба, О. О. Моделювання процесу поїздки пасажирів на залізничному вокзалі Харків-Пас. за варіантом “пасажирський поїзд – міський транспорт” [Текст] / О. О. Журба // Зб. наук. праць. – Харків : УкрДАЗТ, 2010. – Вип. 119. – С. 60-66.
7. Formalization of rolling stock distribution processes by using dynamic model [Text] / D. Lomotko, D. Arsenenko, N. Nosko, O. Kovalova // Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport. – 2018. – № 6(78).-P. 143-154. DOI: 10.15802/stp2018/154410.
8. Евреенова, Н. Ю. Выбор параметров транспортно-пересадочных узлов, формируемых с участием железнодорожного транспорта [Текст]: дисс... канд. техн. наук: 05.22.08 / Н. Ю. Евреенова. – М.: Московский государственный университет путей сообщения, 2014. – 255 с.
9. Lomotko, D. Formation of fuzzy support system for decision-making on merchantability of rolling stock in its allocation [Text] / D. Lomotko, A. Kovalov, O. Kovalova // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2015. – Т. 6. – №. 3 (78). – С. 11-17. DOI: 10.15587/1729-4061.2015.54496.
10. Rezer, S. M. Logistics of passenger transportation by rail [Text]: monograph. – Moscow, VINITI RAN publ., 2007. – 515 p.
11. Шляхи удосконалення технології мультимодальних швидкісних пасажирських перевезень [Електронний ресурс] / Д. В. Ломотко, М. С. Листопад, Д. Г. Воскобойников, А. Д. Сірадчук // Транспортні системи та технології перевезень. – 2017. – № 13. – С. 59-66. – Режим доступу : DOI : 10.15802/tsst2017/110770.
12. Прохорченко, А. В. Удосконалення системи орієнтування пасажирів на залізничних вокзалах України в умовах упровадження швидкісного руху пасажирських поїздів [Електронний ресурс] / А. В. Прохорченко, В. В. Паламарчук // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – 2017. – Вип. 169. – С. 213-224. – Режим доступу : http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpudazt_2017_169_28.
13. Aloulou, M. A. Evaluation FlexibleSolutions in Single Machine Scheduling via Objective FunctionMaximization: the Study of Computational Complexity [Text] / M. A. Aloulou, M. Y. Kovalyov, M. C. Portmann // RAIRO Oper. Res., 2007, 41, 1–18.
14. Lawler, E. L. A Functional Equation and its Application to Resource Allocation and Sequencing Problems [Text] / E. L. Lawler, J. M. Moore // Management Science, 1969. Vol. 16. No. 1. P. 77–84.
15. Ceder, A. Creating bus timetables with maximal synchronization [Text] / A. Ceder, B. Golany, O. Tal // Transp. Res. Part A: Policy and Practice. 2001. Vol. 35, № 10. – P. 913–92.
16. Бутько, Т. В. Формалізація технології організації групових поїздів оперативного призначення [Текст] / Т. В. Бутько, А. В. Прохорченко, А. М. Киман // Восточно-Европейский журнал

передових технологій. – 2015. – № 4(3). – С. 38-43. – doi : 10.15587/1729-4061.2015.47886

17. Соколова, О. Є. Теоретичні основи організації та розвитку мультимодальних перевезень в Україні [Текст] / О. Є. Соколова, Т. А. Акімова, Л. О. Сулима // Економічний простір. – 2014. – №83. – С. 91–103.

Ломотько Д. В., Филипський А. В., Ломотько Н. Д., Красноштан А. М. Формирование согласованного графика движения для мультимодальных пассажирских перевозок с участием железнодорожного транспорта.

Аннотация. Проанализированы условия, которые необходимы для формирования железнодорожно-автобусных пассажирских перевозок по единому графику. Согласно нормативно-правовой базе установлено, что они могут быть отнесены к мультимодальным пассажирским перевозкам. Созданы структурно-логические схемы перемещения пассажиропотока на транспортно-пересадочных узлах при осуществлении пересадки с участием железнодорожного транспорта. Предложена математическая модель согласованного графика движения пассажирских транспортных средств. Определена этапность и эффективность внедрения мультимодальных перевозок пассажиров в условиях транспортно-пересадочного узла города Днепр.

Ключевые слова: железнодорожные перевозки, автобусные перевозки, транспортно-пересадочный узел, мультимодальные пассажирские перевозки, пересадка пассажира, единый билет, согласованный график движения.

Lomotko Denis, Philipyskiy Olexander, Lomotko Mykola, Krasnoshtan Olexander. Forming a coordinated timetable of movement for multimodal passenger transport with railway transport.

Abstract. The purpose of the work is to determine the conditions that must be created for the formation of efficient rail passenger traffic with the bus vehicles through the application of an agreed timetable of traffic (multimodal passenger transport). Analyzed the conditions are necessary for the formation of rail-bus passenger traffic according to a single timetable. According to the regulatory framework it has been established that they can be attributed to multimodal passenger transportation. Structurally-logical schemes of passenger traffic movement on transport interchange hubs during transmissions with the railway transport have been created. The technology of the transport interchange hub's work is formalized as a set of systems of Kolmogorov differential equations. The agreed timetable of vehicles provides for a unified technology for the work of different carriers and modes of transport. Thus, the formation of elements of the

agreed timetable begins with: duration of transplantation in the hub's taking into account the type of comfortable transplantation and the coordination of the parking from the technological point of view; the backup technological time is required to restore the integrated timetable in case of vehicle lag. The mathematical model of the agreed timetable of movement the passenger vehicles is proposed. The problem is proposed to be solved with the help of the theory of schedules as a task of minimizing the target function of a weighted number of belated requirements. The stage and efficiency of introduction of multimodal transportations of passengers in the conditions of the transport-transfer hub of the city of Dnipro is determined.

Key words: railway transportation, bus transportation, transport interchange hub, multimodal passenger transportation, passenger transfer, single ticket, agreed timetable of movement.

Надійшла 10.03.2019 р.

Ломотько Денис Вікторович, д. т. н., професор, завідувач кафедри «Транспортні системи та логістика» Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: den@kart.edu.ua. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7624-2925>

Філіпський Олександр Вікторович, магістрант кафедри «Транспортні системи та логістика» Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: a.filipskiy@gmail.com ORCID <https://orcid.org/0000-0001-6615-8263>

Ломотько Микола Денисович, магістрант кафедри «Управління експлуатаційною роботою» Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: kolyanl890@gmail.com ORCID <https://orcid.org/0000-0003-0294-2686>

Красноштан Олександр Михайлович, к.т.н., департамент з організації внутрішніх та міжнародних пасажирських перевезень АТ «Укрзалізниця». E-mail: tsl@kart.edu.ua

Denis Lomotko, Doctor of engineering, professor department of Transport system and Logistic, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. E-mail: den@kart.edu.ua ORCID ID <http://orcid.org/0000-0002-7624-2925> Scopus ID 57190438925

Olexander Philipyskiy, Master of the Department "Transport Systems and Logistics" of the Ukrainian State University of Railway Transport. E-mail: a.filipskiy@gmail.com ORCID <https://orcid.org/0000-0001-6615-8263>

Mykola Lomotko, Master of the Department "Operations Management", Ukrainian State University of Railway Transport. E-mail: kolyanl890@gmail.com ORCID <https://orcid.org/0000-0003-0294-2686>

Olexander Krasnoshtan, Department for organization of internal and international passenger transportations of JSC "Ukrzaliznytsya". E-mail: tsl@kart.edu.ua