

УДК 656.021

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.4/41>**Стрелко О.Г.**

Державний університет інфраструктури та технологій

Торопов Б.І.

Державний університет інфраструктури та технологій

Грушевська Т.М.

Державний університет інфраструктури та технологій

Войцехович В.С.

Інститут фізики Національної академії наук України

Поповичук Т.О.

Державний університет інфраструктури та технологій

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАСАЖИРОПОТОКІВ НА ПРОПУСКНУ СПРОМОЖНІСТЬ ТРАНСПОРТНИХ ПЕРЕСАДОЧНИХ ВУЗЛІВ

У статті розглянуто пасажиропотоки і закономірності їх формування в транспортно-пересадочних вузлах і пасажирських комплексах для визначення раціональних шляхів їх розвитку і функціонування. Оскільки пасажиропотік є визначальним фактором при виборі рухомого складу, інтервалів руху поїздів та інших параметрів, запропоновано основні напрямки підвищення ефективності функціонування і розвитку пасажирських комплексів. Проаналізовано критерії, які характеризують пасажиропотоки вокзальних комплексів і визначають закономірність їх формування. Обґрунтовано необхідність і визначено роль транспортно-пересадочних комплексів у розвитку транспортної системи країни та у забезпеченні її населення в транспортному обслуговуванні, виконуваному на сучасному рівні, в межах міст, у приміських зонах та на далеких відстанях. Крім того, неузгодженість розкладу провокує збільшення часу очікування пасажирів під час пересадки та втому пасажирів, що значно знижує привабливість громадського транспорту для населення. Транспортні розв'язки загального користування є важливою частиною транспортної інфраструктури та складною технологічною системою, де відбуваються процеси обслуговування пасажирів і взаємодія різних видів громадського транспорту. В умовах сьогодення, у статті запропоновано необхідність забезпечення сталого розвитку транспортно-пересадочних комплексів у покращенні транспортної системи країни та у забезпеченні її населення в транспортному обслуговуванні, шляхом зосередження зусиль на вдосконаленні та взаємодії різних видів транспорту й впровадженні інноваційних технологій щодо надання якісних послуг пасажиром. Основним завданням створення стійкого розвитку транспортних систем є покращення роботи пасажирського транспорту, який має стати конкурентоспроможною альтернативою приватним автомобілям, забезпечення транспортного обслуговування на високому рівні.

Ключові слова: транспортно-пересадочний вузол, пасажирські перевезення, пропускна спроможність, пасажиропотоки, комфорт поїздки, транспортний сервіс.

Постановка проблеми. Пасажирські перевезення – це складна динамічна система, яка складається з різноманітних підсистем (елементів), що взаємодіють між собою, з різними галузевими службами та іншими видами транспорту в єдиному системному процесі масових перевезень населення. В нинішніх умовах транспортна інфраструктура країни потребує оновлення, для чого потрібно удосконалення транспортно-пересадочних вузлів, вокзалів та рухомого складу, необ-

хідно здійснити капітальні вкладення в технічну і технологічну складову пасажирських перевезень. Транспортна система України поступово переходить на європейську модель розділення сфер діяльності з управління інфраструктурою та з надання транспортних послуг. У зв'язку з цим виділяються [1, с. 7–11]: оператор інфраструктури (менеджер інфраструктури), уповноважений надавати до неї рівноправний доступ усім перевізникам; оператори перевезень (перевізники

пасажирів, провайдери транспортних послуг); користувачі транспортних послуг – пасажирів різних категорій [2, с. 280].

Функціонування та взаємодія різних видів транспорту спрямована на забезпечення зв'язків між регіонами країни, у зв'язку з цим зростання пасажиропотоків вимагає вирішення задачі перевірки технічних і технологічних параметрів дільниць, транспортно-пересадочних вузлів, вокзалів та рухомого складу на можливість ефективної організації пасажиропотоків. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю підвищення конкурентоспроможності пасажирських перевезень шляхом надання більш якісних транспортних послуг за рахунок удосконалення технологічного та організаційного забезпечення цих перевезень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В зарубіжних країнах, як і в нашій країні, існує жорстка конкуренція між різними видами пасажирського транспорту. Характерною особливістю роботи приміського залізничного транспорту в сучасних умовах у всіх країнах світу є його активна участь у внутрішньоміських перевезеннях. В останні роки існуючі міські залізниці в багатьох великих містах світу інтенсивно розвиваються, модернізуються, забезпечуються новим комфортабельним рухомим складом. Проте все частіше з'являються наукові публікації щодо взаємодії різних видів транспорту в пересадочних вузлах.

Питанням створення, розвитку та різним аспектам функціонування транспортно-пересадочних вузлів нині присвячено вже багато наукових праць, але переважно іноземних дослідників [3, с. 60]. Так в роботі [5] автори досліджують та проводять порівняльний аналіз різних моделей розвитку залізничної транспортної інфраструктури в системі мультимодальних пасажирських перевезень. У статті [6] автор досліджує оптимальні моделі побудови та експлуатації мультимодального транспорту.

У роботі [7, с. 50] розглянуто ефективність функціонування транспортно-пересадочних вузлів з позицій впливу ресурсного забезпечення зупиночних пунктів на тривалість знаходження пасажирів в них. У статті [8, с. 97–102] наводяться результати визначення рівня інтенсивності потоку автобусів міського пасажирського транспорту при заданій пропускній спроможності зупинного пункту. Як критерій оцінки рівня інтенсивності руху автобусів для зупиночних пунктів без впливу регульованих перетинів запропоновано використовувати середній час очікування черги.

Певний науковий інтерес являють собою праці учених [9], які пропонують 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.

Вокзальні комплекси на залізничному та інших видах транспорту часто перетворюються на багатифункціональні транспортно-пересадочні вузли, які забезпечують зручну та безпечну пересадку пасажирів [9]. Це дозволить враховувати особливості мультимодальної технології перевезення пасажирів [10], шляхом узгодження руху пасажирських транспортних засобів.

За результатами досліджень цих учених вибудовуються певні корисні ідеї, які використовуємо за основу при взаємодії різних видів пасажирського транспорту в транспортних вузлах.

Надання сучасних сервісних послуг пасажирів, створення єдиного інформаційного середовища, узгодження графіку руху транспортних засобів, продаж єдиних проїзних документів є пріоритетними напрямками у сфері пасажирських перевезень. У складних транспортних мережах за неузгодженої роботи перевізників пересадка з одного виду транспорту на інший завдає пасажирів велику кількість незручностей: оформлення різних проїзних документів, складність оформлення багажу та його переміщення між транспортними засобами, що призводить до збільшення витрат часу на поїздку [9, 10]. Окремі перевізники та види транспорту не можуть забезпечити високого ступеня мобільності населення та надати високоякісну систему задоволення потреб населення в перевезеннях «від дверей до дверей». Це відбувається в силу специфіки розміщення інфраструктури, особливостей технологічних процесів кожного виду транспорту, відмінностей у роботі та в технології обслуговування транспортних засобів. Скорочення часу перебування пасажира під час поїздки та в процесі пересадок може бути досягнуто за рахунок використання декількох видів транспорту, тому необхідно створити передумови високоякісної системи перевезень декількома видами транспорту за логістичною технологією мультимодального пасажирського перевезення. Високий рівень якості транспортних послуг є запорукою, перш за все, безпеки перевезень, надійності, задоволеності попиту пасажирів [11, с. 42].

Формулювання цілей статті. Метою статті є дослідження впливу пасажиропотоків на пропускну спроможність транспортно-пересадочних вузлів та побудова оптимальної моделі взаємодії існуючих та потенційних учасників ринку перевезень.

Виклад основного матеріалу дослідження. У сучасних умовах переважна більшість пасажирських перевезень здійснюється з участю двох і більше видів транспорту. Процеси взаємодії, зазвичай, відбуваються у транспортних вузлах. Принципова схема пасажиропотоків крупної пасажирської станції наведена на рис. 1.

У великих транспортних вузлах близько 90% пасажирів, що прибувають до міста залізничним транспортом, пересідає на міський транспорт. На даний час, у багатьох випадках перехід пасажирських потоків з одного виду транспорту на інший у вузлах пересадки супроводжується великими втратами часу.

Основною причиною втрат часу пасажирями є недостатня взаємодія та відомча роз'єднаність пасажирських видів транспорту і відсутність ефективно функціонуючого координаційного органу управління, насамперед, на стадії проектування нових та реконструкції існуючих транспортних вузлів. Це ускладнює проведення єдиної техніко-економічної та соціальної політики щодо створення та реконструкції транспортних вузлів з точки зору ефективної взаємодії в них різних видів пасажирського транспорту.

Транспортні вузли, що обслуговують населення міста (району) можуть бути віднесені до

одного із шести класів залежно від прийнятої схеми обслуговування

- 1 клас – обслуговування здійснюється метрополітеном та всіма наземними видами транспорту;
- 2–3 клас – трамваєм, тролейбусом, автобусом та приміськими поїздами;
- 4 клас – трамваєм та автобусом;
- 5–6 клас – лише автобусом.

Технічні можливості різних видів пасажирського транспорту, їх провізні спроможності з урахуванням надійності роботи пристроїв, наведені у таблиці 1.

У сучасних умовах особливого значення набуває вдосконалення технологічної взаємодії різних видів пасажирського транспорту в транспортних вузлах, яке можливе на основі: більш повного використання досягнень розвитку інформаційної техніки та єдиної системи управління всіма видами транспорту; єдиних термінів обстеження пасажиропотоків на взаємодіючих видах транспорту; узгоджених розкладів руху; використання ефекту великих систем (розширення можливостей маневрування рухомим складом, ремонтною базою, робочою силою тощо); оптимального поєднання (за кількістю і часткою транспортної роботи) взаємодіючих видів транспорту, оптимальних структур та чисельності парків окремих видів транспорту, єдиного тарифу, що забезпечує право пересадки в межах міста на будь-який вид транспорту.

Вибір технологічної схеми взаємодії різних видів транспорту у містах та визначення потреби у рухомому складі за видами транспорту може

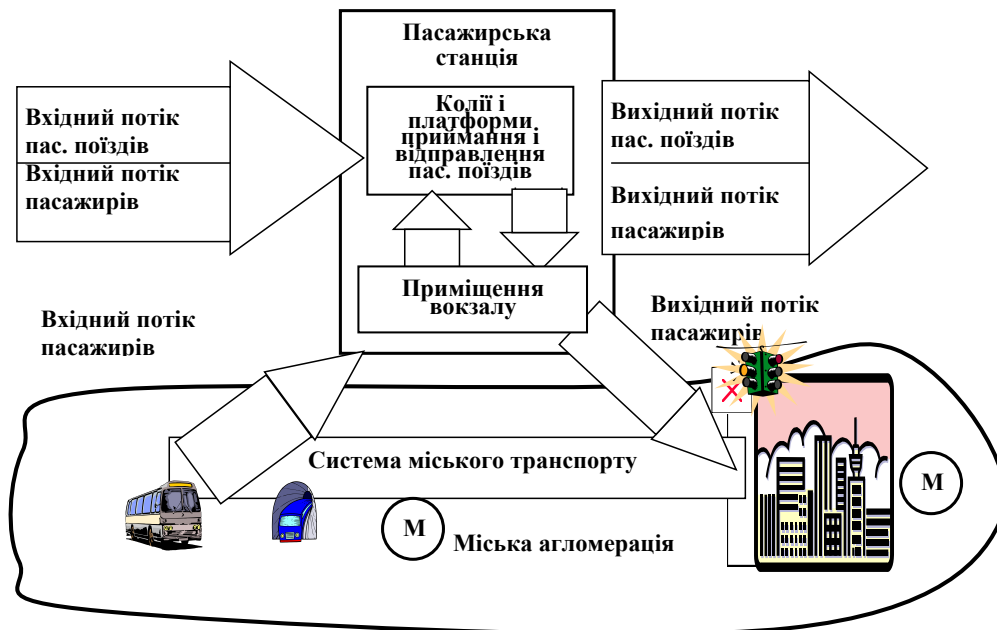


Рис. 1. Принципова схема пасажиропотоків крупної пасажирської станції

Технічні можливості різних видів пасажирського транспорту, їх провізні спроможності з урахуванням надійності роботи пристроїв

Найменування показника	Вид транспорту					
	Метрополітен	Трамвай		Тролейбус	Автобус	Залізничний (електропоїзд)
		швидкісний	звичайний			
Середня швидкість повідомлення у місті, км/год	35–50	25–40	16–23	18–22	16–23	40–50
Середня швидкість сполучення на стиках міста з передмістям	45–50	35–50	30–35	–	25–30	40–50
Місткість рухомого складу, осіб, при кількості вагонів						
один	–	–	100	80	50–80	–
два	–	200	200	130	100	–
шість	норма 3 особи на 1 м ² вільної площі	720	–	–	–	–
вісім	підлоги	960	–	–	–	–
десять		–	–	–	–	1600
Реалізована провізна спроможність в одному напрямку, тис. пасажирів на годину	30–42	10–15	5–12	4–6	6–8	48–50

бути виконано за допомогою економіко-математичних методів. При цьому передбачається можливість комплексного розвитку пасажирських станцій, привокзальних площ та міських магістралей з дотриманням умови

$$N_{ст} \leq N_{п.пл} \leq N_{вул}, \quad (1)$$

де $N_{ст}$, $N_{п.пл}$, $N_{вул}$ – пропускна спроможність пасажирської станції, привокзальної площі, прилеглих вулиць.

В існуючих містах на відміну від тих, що будуються, взаємозв'язок $N_{ст}$, $N_{п.пл}$ і $N_{вул}$, більш складніший. Залежності наведено на рис. 2.

Кількість пасажирів в годину «пік» осіб

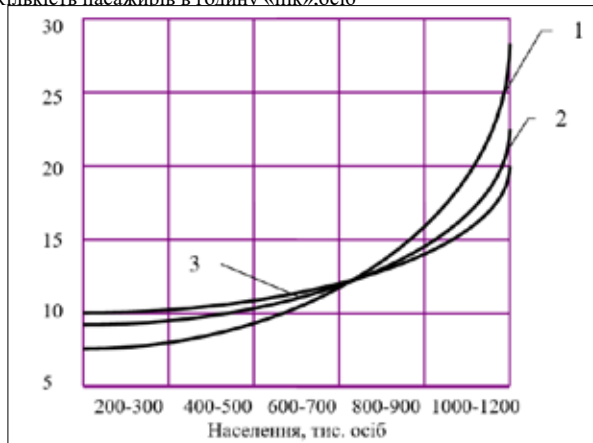


Рис. 2. Залежність пропускної спроможності основних елементів пасажирського транспортного вузла від населеності обстежених міст

1 – пасажирська станція та вокзальний комплекс;
2 – площа; 3 – вулиці

Залежності відображають явну неузгодженість розвитку пристроїв залізниці та міського транспорту і показують, що в містах з населенням менше 750 тис. осіб лімітуючим елементом є пасажирська станція з вокзальним комплексом. Привокзальна площа та прилеглі вулиці мають певний резерв пропускної спроможності при населенні міст до 700 тис. осіб; у містах із населенням понад 900 тис. осіб лімітуючим елементом стають привокзальна площа та вулиці.

Кількість пасажирів, які прибувають протягом розрахункового періоду на пасажирську станцію, визначається за формулою

$$N_{ст} = \sum_{n=1}^{n=V_{шт}} \frac{na(T_p - t_{пост}) \overline{N_{пас}}}{t_{зан} (1 + t_{\gamma_n})^2}, \quad (2)$$

де a – кількість поїздів, що обслуговуються пасажирською платформою одночасно;

T_p – тривалість розрахункового періоду, година;

$t_{пост}$ – сумарний час зайняття платформи виконанням операцій, не пов'язаних з обслуговуванням пасажирів (пропуск локомотивів, вантажних поїздів, ремонтні роботи, прибирання та ін.), година;

$\overline{N_{пас}}$ – середня кількість пасажирів, що прибувають одним поїздом;

$t_{зан}$ – середньозважена тривалість заняття перонної колії пасажирським поїздом, ч.;

t_{γ} – число нормованих відхилень, що визначається залежно від прийнятого рівня довірчої ймовірності, $t_{\gamma} = 1,65$;

γ_n – коефіцієнт варіації часу заняття перонної колії, що дорівнює 0,3–0,5;

β_n – коефіцієнт, що враховує відмови технічних пристроїв, $\beta_n = 0,01$.

Загальна кількість пасажирів, що вивозяться з привокзальної площі в розрахунковий період, залежить від кількості пунктів зупинки міського транспорту на привокзальній площі та їх пропускної спроможності

$$N_{\text{міськ}} = \overline{N}_{\text{авт}} m_a z_a + \overline{N}_T m_T z_T + \overline{N}_{\text{тр}} m_{\text{тр}} z_{\text{тр}} + \overline{N}_m z_m, \quad (3)$$

де $\overline{N}_{\text{авт}}$, \overline{N}_T , $\overline{N}_{\text{тр}}$ – кількість пасажирів, що вивозяться відповідно одним автобусом, тролейбусом та трамваем;

\overline{N}_m – середня місткість одного складу метро;

m_a , m_T , $m_{\text{тр}}$ – відповідно кількість зупинних пунктів автобуса, тролейбуса, трамвая, розташованих на привокзальній площі;

z_a , z_T , $z_{\text{тр}}$, z_m – пропускна спроможність одного зупинного пункту (станції метро) відповідного виду транспорту за розрахунковий період.

Пропускна спроможність зупинного пункту на привокзальній площі дорівнює

$$z_j = \frac{3600T_p}{T_{c_j} + \ddot{A}_j + r_j}, \quad (4)$$

де T_{c_j} – середня тривалість стоянки j -го виду транспорту при посадці та висадці пасажирів, с;

τ_j – середні витрати часу на прискорення при пуску та уповільненні на гальмування, с;

r_j – додатковий проміжок часу (2–3 с), необхідний для під'їзду до зупинного пункту.

Якщо інтервал прибуття машин на площу перевищує сумарний час, необхідний транспортній одиниці на всі види операцій, пов'язаних з посадкою та висадкою пасажирів, то пропускна спроможність зупинного пункту скоротиться і дорівнюватиме

$$z_j = \frac{3600T_p}{I_p}, \quad (5)$$

де I_p – розрахунковий інтервал прибуття транспортних одиниць до зупинного пункту.

$$I_p = \frac{I_{\text{мін}} + I}{2}, \quad (6)$$

де $I_{\text{мін}}$ – відповідно мінімальний та середній інтервали прибуття транспортних одиниць до зупинного пункту.

Величина мінімального інтервалу залежить від типу площі та вулиць, що примикають до неї, загальних розмірів руху міського транспорту та інших факторів. За відсутності затримок транспорту на найближчому перехресті величина $I_{\text{мін}}$

для кінцевих площ визначається умовою безпечного руху один за одним двох одиниць міського транспорту.

$$I_{\text{мін}} = t_p + \frac{v}{2b} + \frac{l + l_3}{v}, \quad (7)$$

де t_p – час реакції водія;

v – швидкість руху на підході до площі, м/с;

b – прискорення уповільнення при гальмуванні м/с²;

l – довжина транспортної одиниці, м;

l_3 – проміжок безпеки, м.

Пропускна спроможність станції метрополітену за розрахунковий період T_p .

$$z_m = \frac{3600T_p}{I_p}, \quad (8)$$

де I_p – розрахунковий інтервал руху поїздів на лінії метрополітену.

Для забезпечення нормального режиму роботи міських видів транспорту та забезпечення максимальних зручностей для пасажирів необхідно забезпечити рівність пропускної спроможності пасажирської станції ($N_{\text{ст}}$) та привокзальної площі ($N_{\text{пр.пл}}$) та зупиночних пунктів.

Необхідна кількість пунктів зупинки буде рівна

$$m = (N_{\text{ст}} - \overline{N}_m) \left(\frac{\alpha_a}{N_a z_a} + \frac{\alpha_T}{N_T z_T} + \frac{\alpha_{\text{тр}}}{N_{\text{тр}} z_{\text{тр}}} \right), \quad (9)$$

де α_a , α_T , $\alpha_{\text{тр}}$ – частка пасажирів, які користуються відповідно автобусом, тролейбусом та трамваем;

\overline{N}_m – середня кількість пасажирів, які зробили пересадку на метро.

Для встановлення нормального режиму взаємодії залізничного та міських видів транспорту на привокзальній площі слід перевіряти відповідність пропускної спроможності площі та виходів, що примикають до неї, на міські магістралі або лімітуючі перехрестя,

У транспортних вузлах (особливо великих міст) здійснюється взаємодія швидкісних та звичайних наземних видів транспорту:

– традиційний транспорт служить технологічним продовженням швидкісного. Технологічна взаємодія досягається узгодженням розкладів руху;

– автобус, тролейбус виконують функції видів транспорту, що підвозять до швидкісних, які обслуговують напрямки з потужними пасажиропотоками. Взаємодія забезпечується узгодженням розкладів та раціональним розміщенням зупиночних пунктів;

– звичайні та швидкісні види транспорту на напрямках з яскраво вираженою просторовою нерівномірністю пасажиропотоків працюють паралельно. Взаємодія виявляється у встановленні оптимальних маршрутних схем;

– швидкісний транспорт є технологічним продовженням ліній замських залізниць. Взаємодія проявляється в оптимізації кількості, розміщення та планування станцій пересадки, узгодження пропускної спроможності окремих елементів та ув'язування розкладів руху.

Висновки

Одним із найкращих шляхів підвищення ефективності громадського транспорту є удосконалення функціонування транспортних розв'язок загального користування та формування на їх основі інтермодального транспорту і мультимодальних пасажирських транспортних систем, які можуть забезпечити «плавну подорож».

Процеси урбанізації, що розвиваються, призводять до того, що у великих містах промислових районів концентрується значна частина населення. Подібна концентрація має ряд переваг щодо організації транспортного обслуговування населення, однак, з іншого боку, виникають і значні складнощі у взаємодії різних видів транспорту та взаємопов'язаних об'єктів, що входять до складу пасажирських комплексів (вокзали, привокзальні площі, транспортно – пересадочні вузли тощо), що групуються навколо найважливіших транспортних вузлів. Взаємодія проявляється в раціоналізації числа розміщення та плануванні станцій пересадки, узгодженні пропускної спроможності окремих елементів та ув'язуванні розкладів руху.

Одним з найважливіших питань раціоналізації процесів взаємодії залізниць та міських видів транспорту є комплексний розвиток та розміщення станцій пересадки та транспортно – пересадочних вузлів.

Список літератури:

1. Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року (НТС 2030): Розпорядження Кабінету Міністрів України від 30.05.2018 р. № 430–р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-p>. (дата звернення 24.06.2022).
2. Поздняков А. А., Мироненко В.К., Позднякова О.О. Інформаційна модель розвитку залізничної транспортної інфраструктури в системі мультимодальних пасажирських перевезень. *Наукоємні технології*. 2019. № 2 (42). С. 280–287.
3. Мельник, Т., Христофор, О., Красноштан, О. (2021). Роль транспортно-пересадочних комплексів у розвитку транспортної системи країни: соціальний і сервісний аспекти. *Review of transport economics and management*, 5 (21), 59–69. DOI: <https://doi.org/10.15802/rtem2021/224970>
4. Vdovychenko V. Analysis of the resources provision of stopping points of transport-transfer stations of urban passenger transport. *Інформаційно-керуючі системи: Технологічний аудит та резерви виробництва*. № 2/2(40), 2018. DOI:10.15587/2312-8372.2018.129152.
5. Ivaldi M., McCullough G. J. Subadditivity Tests for Network Separation with an Application to U.S. Railroads. 01-May-2004. DOI:10.2139/ssrn.528542 (eng).
6. Hammadi S. Ksouri M. Multimodal Transport Systems. *WILEY*. 2014. 278 p. DOI:10.1002/9781118577202 (eng).
7. V. Naumov, G. Samchuk Public transport interchanges functioning from a sustainable development perspective. *Автомобільний транспорт*. Вип. 37. 2015. p. 49–54.
8. Lipenkov A. V., Kuzmin N. A. Opredelenie dopustimogo urovnya intensivnosti dvizheniya gorodskikh avtobusov pri izvestnoy propusknoy sposobnosti ostanovochnoho punkta. *Intellect. Innovatsii. Investitsii*. 2015. Vol. 3. P. 97–102.
9. 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*. Лис. 2019, № 4. DOI: <https://doi.org/10.31649/2307-5376-2019-4-50-61>.
10. Ломотько Д. В., Листопад М. С., Воскобойников Д. Г. [та ін.]. Шляхи удосконалення технології мультимодальних швидкісних пасажирських перевезень. *Транспортні системи та технології перевезень*. 2017. № 13. С. 59–66. DOI:10.15802/tstt2017/110770.
11. Габа В.В., Грушевська Т.М., Костюшко В.П. Адаптивна система організації пасажирських перевезень у транспортному вузлі. *Прогресивні технології засобів транспорту* : матеріали першої міжнародної науково-технічної конференції, 23-24 вересня 2021 р. Харків-Миргород : УкрДУЗТ, 2021. С. 41–42.

Strelko O.H., Toropov B.I., Hrushevska T.M., Voitshovich V.S., Popovychuk T.O.

**RESEARCH OF THE INFLUENCE OF PASSENGER FLOWS
ON THE CAPACITY OF TRANSFER NODES**

The article examines passenger flows and patterns of their formation in transport interchanges and passenger complexes in order to determine rational ways of their development and functioning. Since the passenger flow is a determining factor in the selection of rolling stock, train movement intervals and other parameters, the main directions for increasing the efficiency of the functioning and development of passenger complexes are proposed. The criteria that characterize passenger flows of station complexes and determine the regularity of their formation are analyzed. The necessity and role of transport and transfer complexes in the development of the country's transport system and in providing its population with transport services performed at a modern level within cities, in suburban areas and over long distances is substantiated. In addition, the inconsistency of the schedule provokes an increase in the waiting time of passengers during transfers and passenger fatigue, which significantly reduces the attractiveness of public transport for the population. Public transport junctions are an important part of the transport infrastructure and a complex technological system where passenger service processes and interaction of different types of public transport take place. In today's conditions, the article proposes the need to ensure the sustainable development of transport and transfer complexes in improving the country's transport system and providing its population with transport services, by focusing efforts on the improvement and interaction of various types of transport and the introduction of innovative technologies to provide quality services to passengers. The main task of creating a sustainable development of transport systems is to improve the performance of passenger transport, which should become a competitive alternative to private cars, and to provide transport services at a high level.

Key words: transport interchange, passenger transportation, capacity, passenger flows, travel comfort, transport service.