

ДОСЛІДЖЕННЯ ПІДХОДІВ ЩОДО МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ МІЖМІСЬКИХ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Доля К. В., Боцман А. О., Кожина В. С.

1. Вступ

Функціонування системи міжміських пасажирських перевезень є задовільним у разі наявності стабільно задовільних параметрів функціонування даної системи. До основних параметрів функціонування пасажирських транспортних систем можна віднести: регулярність сполучення, час очікування рейсу, вартісна доступність переміщення, безпека їздки та її комфортність, зручність квиткового та вокзального сервісів, швидкість їздки та інше. Згадані параметри ефективності можна відноситися до продукту функціонування транспортної системи – переміщення.

Транспортні системи міжміських пасажирських маршрутних перевезень функціонують у багатофакторному середовищі, серед яких є й такі, що можуть змінювати свій вплив на транспортну систему у часі. До таких факторів можна віднести коливання як самого попиту на переміщення, так і його грошову забезпеченість.

Результати пиву на транспортну систему коливань фактичних параметрів міжміських пасажирських кореспонденцій знаходять своє відображення у змінах розкладів рух та типів рухомого складу. За обумовлених змін підтримується додержання вимог щодо задоволення потреб з переміщення пасажирів при бажаних маршрутних параметрах функціонування транспортної системи та забезпечення додержання ефективності функціонування системи в цілому. Тому вивчення питання комплексного підходу до моделювання пасажирських транспортних кореспонденцій з урахуванням визначених параметрів є актуальним.

2. Об'єкт дослідження та його технологічний аудит

Об'єкт дослідження – державна (регіональна) транспортна система. В даному дослідженні розглядаються розроблені наукові підходи щодо вирішення питання прогнозування стану параметрів пасажирської транспортної системи на державному або міжрегіональному рівні.

Одним з найбільш проблемних місць є прогнозування кількісних показників параметрів середі функціонування транспортної маршрутної пасажирської системи.

3. Мета та задачі дослідження

Мета роботи полягає у визначенні закономірностей функціонування систем міжміських пасажирських перевезень. Визначення сучасного стану розвитку наукових підходів щодо прогнозування міжміських пасажирських кореспонденцій, методів забезпечення розрахунків забезпечення потреб з переміщення окремими видами транспорту.

Для досягнення поставленої в роботі мети передбачається вирішити наступні задачі:

1. Встановити запропоновані сучасниками наукові підходи щодо роз-

рахунків пасажирських кореспонденцій між містами з урахуванням їх географічної розрахованості, соціальних та економічних показників.

2. Визначити методи прогнозування розподілу кореспонденції між видами транспорту.

4. Дослідження існуючих рішень проблеми

Сучасні наукові підходи щодо планування параметрів транспортних систем визначають методи, які спираються на врахування пасажирських кореспонденцій між вузлами транспортної мережі. Авторами у роботі [1] представлено підхід до інтелектуального планування маршруту в системах громадського транспорту. Підхід фокусується на формальному моделюванні пошуку динамічного інтелектуального планування і оптимізації маршруту. З цією метою важливо мати добре розроблену формальну модель, яка покриває і космічні аспекти в реальному часі. Запропоноване рішення дозволяє розробникам розширити систему громадського транспорту з додатковими маршрутами, які створюються динамічно на основі запитів від пасажирів. Модель може бути застосована в рамках сталого Smart City як для (повністю або частково) автономних транспортних систем і систем підтримки прийняття рішень смарт-транспортної систем. В роботі [2] розроблені вертикальні автобусні маршрути, які досягають системи залізничних станцій, а також автобусні лінії, які мають зв'язок з центром міста, перетворюючись в регіональні автобусних лінії. Автори [3] розглядали питання проблем планування маршрутів системах громадського транспорту та запропоновано подання мультимодальної транспортної мережі, за допомогою алгоритму багатокритеріальної маршрутизації для моделювання. У роботі авторів [4] визначено модель ймовірнісного процесу автобусного сполучення. Автори [5] визначили, що вибір маршруту безліччю пасажирів грає першорядну роль в оцінці потоків і прогнозуванні попиту. У роботі [6] розглядалось питання встановлення часу надання транспортної послуги залежно від розташування зупиночних пунктів. Автори у своїй праці [7] розкрили питання оцінки кількості перевезених пасажирів системою громадського транспорту із врахуванням поведінкової моделі людей і їх впливу на вибір способу перевезення. Авторами [8] визначено параметри оптимізації транзитного залізничного маршруту і автобусних маршрутів транзитного коридору. Результатом дослідження є визначення багатоцільової моделі, що максимізує залізничний транзитний пасажиропотік і мінімізувати загальний час пасажирського транзитного шляху.

Питанням опису методики вирішення однієї з головних проблем при організації транспортування – вибору оптимального маршруту з акцентом на факторі безпеки дорожнього руху займалися автори у роботі [9]. У працях [10, 11] використовуються нові оптимальні підходи до рішення мережевого підходу. Автори у роботі [12] інтегрували сторону пропозиції громадського транспорту в модель подорожнього попиту. Модель також містить обмеження потужності для транспортних засобів, які при активації призводять до значного збільшення часу проїзду. У роботі [13] розкрито наступні питання:

– чи очікується, що загальний попит на міжміську поїздку автомобілем та літаком буде зростати у майбутньому відповідно до тенденціями щодо насе-

лення та доходів;

– чи достатньо доходів для досягнення максимальної динаміки перевезень на міжміських перевезеннях на душу населення;

– чи зростання авіаперевезень обумовлено традиційними соціально-економічними чинниками (народонаселення та зростання доходів).

У роботі [14] розглянуто питання поліпшення системи залізничного транспорту, а у роботі [15] розглядалась мережа, що має різні режими транспортування та мультимодальні системи громадського транспорту. Запропоноване дослідження гнучкого методу оптимізації розкладу, заснованого на моделі гібридного розміру автомобіля, для вирішення коливань автобусного попиту при транзитній експлуатації запропоновано авторами у роботі [16]. Дослідження перевіряє раціональність стратегії гібридної моделі розмірів транспортного засобу та підкреслює важливість адаптивного розміру транспортного засобу при вирішенні коливань попиту.

Розглянуто підхід моделювання попиту на поїздки та його розподілу відповідно до обмежень обсягу на зональному рівні, які є такими ж обов'язковими, як обмеження пропускної здатності загальних посилок викладено авторами у роботах [17–19].

Питаннями моделювання кореспонденцій із застосуванням гравітаційних моделей займалися автори [20]. У даній роботі представлені дві гравітаційні моделі для оцінки обсягу пасажирських перевезень між парами міст. Моделі містять змінні, що характеризують загальну економічну активність і географічні особливості міст.

Обидві моделі підходять для спостережуваних даних, статистично перевірених і підтверджених.

$$H_{ij} = a \frac{(f_i f_j)^{F_j}}{l_m^{m_p}}, \quad (1)$$

де H_{ij} – обсяг пасажирських перевезень між містами i і j ($i \neq j$);

f_i, f_j – фактори привабливості для міст i і j ;

l_m – загальна довжина маршруту між початковим і кінцевим пунктами маршруту;

a – емпірична константа;

φ_{tr} – коефіцієнт користування транспортом;

p_f – параметр привабливості факторів для поїздки.

$$H_{ij} = e^{\varepsilon} P_{ij}^{\pi} Z_{ij}^{\alpha} F_Q^{\beta} VVP_{ij}^{\gamma} l_m^{\delta} T_{mp}^{\tau}, \quad (2)$$

де P_{ij} – ймовірність того, що пересування почнеться в районі i і закінчиться в районі j ;

Z_i – зона обслуговування;

F_Q – фактор купівельної спроможності;

VVP_{ij} – загальний внутрішній валовий продукт міста i та j ;

$T_{\text{тр}}$ – час руху пасажирів у транспортному засобі;
 $\varepsilon, \pi, \chi, \beta, \gamma, \delta, \tau$ – емпіричні коефіцієнти.

Обидві моделі використовують в основному геоекономічні змінні як незалежні фактори.

У роботі [21] розглянуто питання впливу фактичних показників міжміських пасажирських кореспонденцій на розвиток транспортної інфраструктури. У роботі авторів [22] запропоновано просту методику для кількісного визначення параметрів роботи системи міського транспорту, а авторами [23] проаналізовано характеристики міського залізничного та автобусного транспорту, на підставі цього побудовано модель для планування області підвізних автобусів та запропоновано алгоритм. Авторами у роботі [24] розглядалось питання впливу величини попиту населення на швидкість переміщення. Не без уваги науковці залишили й питання розвитку високошвидкісного сполучення, що викладено у роботі [25].

У роботі [26] розглядали питання планування маршруту з підтримкою автобусних сполучень і ходьби.

Моделювання прогнозування параметрів транспортного процесу транспортних засобів у роботі [27, 28] авторами забезпечується із урахуванням факторів, таких як тип послуги, обмеження пропускної спроможності, методи збору тарифу на дорожній рух, скупченість в автомобілі, збільшить точність прогнозування часу зупинки автобуса. Розглядом змін показників функціонування пасажирських транспортних систем займались [29–31].

Автор роботи [32] визначає, що основною характеристикою транспортної системи є доступність. У роботі представлено підхід до моделювання регіональної доступності транзитного мультимодального транспорту з оцінкою моделювання мережі Петрі в рамках регіональної інтелектуальної транспортної системи з багатьма специфічними аспектами аналізу та моделювання доступності:

- багаторівневими структурами ієрархій;
- багатofункціональними об'єктами моделювання;
- різними характерами транспортного потоку (пасажирського та вантажного);
- гетерогенними компонентами системи моделювання.

Автори [33] розглянули питання зростання мобільності населення. Визначено, що продуктивність громадського транспорту обмежується не тільки його доступністю, але і його потужністю. Фактична, пропускна здатність транспортної лінії визначена робочою частотою, а також фізичними можливостями кожного транспортного засобу. Взаємозв'язок між завантаженим попитом та потужністю сприяє встановленню рівнів комфорту, зокрема, і якості обслуговування в цілому. Моделювання цих явищ в моделі призначення, що описує користувача маршруту та режим вибору, перевезення поставок повинні піддаватися ряду обмежень: потужності транспортних засобів (сидячи та стоячи місця), посадка і висадження рухів, лінії і мережеве навантаження.

У роботі [34] змодельована реальна поведінка пасажирів при виборі між варіантами пересування, які поєднують поїздки у громадському транспорті з автомобілем чи велосипедом. Підхід для вирішення проблем оптимізації мережі

міжміських пасажирських автобусних перевезень на основі розробки регіонального стандарту якості послуг та системи принципів його проектування запропоновано [35]. В роботі визначення мережі ґрунтується на формуванні реалізованого набору варіантів маршрутів з вибором їх оптимальної комбінації. Запропоновано метод та показники оцінки якості маршрутної мережі.

Оцінку продуктивності систем громадського транспорту на основі просторових та тимчасових властивостей системи викладено у роботі [36].

5. Методи дослідження

Для встановлення запропонованих сучасниками наукових підходів щодо розрахунків пасажирських кореспонденцій між містами з урахуванням їх географічної розрахованості, соціальних та економічних показників запропоновано використовувати методи системного аналізу для вивчення сучасної наукової думки щодо теми дослідження. Визначити методи прогнозування розподілу кореспонденції між видами транспорту із застосуванням методів математичного моделювання для визначення параметрів технологічного процесу перевезення пасажирів. Обрати методи натурних досліджень для визначення фактичних параметрів технологічного процесу перевезення та математичної статистики для оцінки адекватності розроблених моделей.

6. Результати досліджень

За результатами проведеного дослідження можна зробити висновки, що на даний час маються наукові підходи до розрахунків пасажирських кореспонденцій між містами.

Серед таких підходів можна бачити запропонований у [37], що використовується для прогнозування пасажирського потоку між різними географічними пунктами.

Невідомі параметри оцінюються з використанням агрегованих даних, коли інформація надається тільки про кількість пасажирів кожного міста. Як ефективний критерій оцінки використовується зважена сума залишкових площ.

$$H_{vi,j} = \frac{(H_{mi} H_{mj})^\theta}{(l_{i,j})^\tau} \exp(a + (\alpha_{(i)} + \alpha_{(j)}) P_{zar} + g_{(i,j)} \gamma_c + V_{i,j}), \quad (3)$$

де $H_{vi,j}$ – кількість відправлень з транспортного району i в j район за розрахунковий період часу;

a^{Hvi} , $P_{zar}^{Hvi} = (P_{zar\ 1}^{Hvi} P_{zar\ 2}^{Hvi} \dots P_{zar\ m}^{Hvi})^T$ и $\gamma_c^{Hvi} = (\gamma_{c\ 1}^{Hvi} \gamma_{c\ 2}^{Hvi} \dots \gamma_{c\ m}^{Hvi})^T$ – невідомі параметри регресії;

P_{zar} – загальна рухливість населення;

γ_c – коефіцієнт середньостатистичного використання вмісткості салону;

$c_{(i)} = (c_{i,j} \dots c_{i,m})$ та $g_{(l,l)} = (c_{i,1} c_{i,1} \dots c_{i,m} c_{i,m})$ – масиви даних;

$\{V_{i,j}\}$ є незалежними і однаково розподіленими випадковими величинами з середнім нульовим і невідомою дисперсією σ^2 ;

$l_{i,j}$ – відстань між районами i і j ;

H_{mi} , H_{mj} – кількість жителів в районах i і j відповідно.

Маються розроблені моделі прогнозування щорічного переміщення людей з області в область. У роботі [38] запропонували для наступну залежність:

$$H_{ij} = H_{bi} \left[\frac{H_{bj} F_{mij} F_{ij}}{\sum_j H_{bj} F_{mij} F_{ij}} \right], \quad (4)$$

де H_{ij} – кількість поїздок з району i в район j ;

H_{bi} – кількість відправлень з транспортного району i за розрахунковий період часу;

H_{bj} – кількість прибуттів в транспортний район j за розрахунковий період часу;

F_{mij} – фактор опору поїздки;

F_{ij} – фактор соціально-економічної адаптації для обміну ij .

Також встановлено впливу економічного розвитку регіону на параметри пасажирських кореспонденцій. Для цього авторами у роботі [39] для даного прогнозування використана гравітаційна модель Ньютона. На основі даної моделі авторами запропоновано, привабливість між містами представлена через адаптовану модель гравітації:

$$F_i = \frac{VVP_i^* H_{mi} * VVP_j^* H_{mj}}{(l_{mij} * T_{серij})^2}, \quad (5)$$

де F_i – фактор привабливості i -го району для вираження кількості потенційних пасажирів, що можливо приїхали в місто i із міста j ;

VVP_i, VVP_j – внутрішній валовий продукт міст i та j відповідно, в парі x ;

H_{mi}, H_{mj} – кількість жителів в місті i та j відповідно;

l_{mij} – довжина маршруту між районом i і j ;

$T_{серij}$ – середня вартість авіаперельоту між районом i і j .

Для розрахунку кількості пасажирів на дугах маршрутної мережі – $Q_{Дij}$ кількісний підхід (3) був адаптований у:

$$Q_{ij} = \sqrt{(VVP_{ix} * VVP_{my})^2 + (VVP_{jx} * VVP_{ny})^2 + (H_{mix} * H_{my})^2 + (H_{mjx} * H_{mny})^2 + (T_{серix} * T_{серy})^2 + (l_{ijx} * l_{ijy})^2}. \quad (6)$$

Аналогічні підходи із використанням гравітаційного моделювання викладено й у інших наукових працях [40–44].

На думку автора роботи [45], для встановлення розподілу потенційної кореспонденції пасажирів між видами транспорту доречно використання наступної залежності:

$$P_k = \frac{e^{U_k}}{\sum_Z e^{U_k}}, \quad (7)$$

де p_k – частка поїздок зроблених в режимі k ;

U_k – корисність режиму k ;

Z – індекс ефективності всіх режимів;

e – 2,718281...

7. SWOT-аналіз результатів дослідження

Strengths. Серед сильних сторін даного дослідження можна віднести доведення можливості застосування гравітаційного моделювання до системи міжміських пасажирських перевезень. На користь даного ствердження свідчать сучасні наукові досягнення, викладені в розглянутій літературі. Саме з даних обставин в практичних умовах використання гравітаційних моделей для розрахунку показників функціонування системи не є можливим без попереднього вивчення корегувальних коефіцієнтів. Використання отриманих даних відносно оптимальних значень винайдених параметрів значень складових функції тяжіння забезпечує можливість розрахунку якісних показників функціонування та планування параметрів розглянутої транспортної системи.

Weaknesses. Недоліком проведеного дослідження й отриманих результатів можна визначити, що на даний час науковцями у неповній мірі вивчено питання комплексного врахування впливу різноманітних факторів на показники перерозподілу пасажирських кореспонденцій між видами транспорту. Одночасно, встановлені методи визначення пасажирських транспортних кореспонденцій між вузлами мережі не спираються на комплексне врахування технічних, економічних та соціальних показників.

Opportunities. Точно розраховане значення пасажирської міжміської транспортної кореспонденції на маршрутах загального користування надає можливість забезпечити планування взаємодії між системами різних видів транспорту. Для забезпечення потреб населення країни в задоволенні потреб її мешканців з пересування в межах дослідженої системи. Одночасно мається можливість підвищення якості фінансових потоків виробництв за рахунок оптимізації розподілу ресурсів в часі по всій пасажирській системі.

Threats. Є труднощі, пов'язані із застосуванням отриманих результатів дослідження. Це пов'язано із тим, що для застосування обраних підходів розрахунку потенційної кореспонденції мається потреба в визначенні фактичних показників калібрувальних коефіцієнтів.

8. Висновки

1. Досліджено наукові підходи щодо розрахунків пасажирських кореспон-

денцій між містами, які спираються на моделюванні транспортних процесів із використанням методик гравітаційного моделювання. Урахування географічної розташованості транспортних вузлів, їхні соціальні та економічні характеристики використовуються в якості факторів привабливості або ж супротив пасажирським кореспонденціям. Одночасно із цим, на даному етапі розвитку наукових підходів до формалізації параметрів пасажирських транспортних кореспонденцій, на недостатньому рівні визначено комплексне врахування впливу технічних та економічних параметрів їздки на задоволення попиту.

2. Визначено сучасні методи прогнозування розподілу кореспонденції між видами транспорту спираються на вірогідності вибору способу пересування з запропонованих варіантів. При цьому визначення параметрів такої вірогідності запропоновано здійснювати з підходу конкретної ефективності їздки.

Література

1. Spichkova, M. Formal Model for Intelligent Route Planning [Text] / M. Spichkova, M. Simic, H. Schmidt // *Procedia Computer Science*. – 2015. – Vol. 60. – P. 1299–1308. doi:[10.1016/j.procs.2015.08.196](https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.08.196)
2. Deri, A. Efficient Usage of Transfer based System in Intracity Bus Transit Operation: Sample of Izmir [Text] / A. Deri, A. Kalpakci // *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. – 2014. – Vol. 111. – P. 311–319. doi:[10.1016/j.sbspro.2014.01.064](https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.064)
3. Dib, O. A multimodal transport network model and efficient algorithms for building advanced traveler information systems [Text] / O. Dib, M.-A. Manier, L. Moalic, A. Caminada // *Transportation Research Procedia*. – 2017. – Vol. 22. – P. 134–143. doi:[10.1016/j.trpro.2017.03.020](https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.03.020)
4. Vissat, L. L. Finding Optimal Timetables for Edinburgh Bus Routes [Text] / L. L. Vissat, A. Clark, S. Gilmore // *Electronic Notes in Theoretical Computer Science*. – 2015. – Vol. 310. – P. 179–199. doi:[10.1016/j.entcs.2014.12.018](https://doi.org/10.1016/j.entcs.2014.12.018)
5. Zhu, W. Generating route choice sets with operation information on metro networks [Text] / W. Zhu, R. Xu // *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*. – Vol. 3, No. 3. – P. 243–252. doi:[10.1016/j.jtte.2016.05.001](https://doi.org/10.1016/j.jtte.2016.05.001)
6. Arhin, S. Optimization of transit total bus stop time models [Text] / S. Arhin, E. Noel, M. F. Anderson, L. Williams, A. Ribisso, R. Stinson // *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*. – 2016. – Vol. 3, No. 2. – P. 146–153. doi:[10.1016/j.jtte.2015.07.001](https://doi.org/10.1016/j.jtte.2015.07.001)
7. Kalaanidhi, S. Estimation of Bus Transport Ridership Accounting Accessibility [Text] / S. Kalaanidhi, K. Gunasekaran // *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. – 2013. – No. 104. – P. 885–893. doi:[10.1016/j.sbspro.2013.11.183](https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.11.183)
8. Sun, Y. Joint Optimization of a Rail Transit Route and Bus Routes in a Transit Corridor [Text] / Y. Sun, X. Sun, B. Li, D. Gao // *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. – 2013. – Vol. 96. – P. 1218–1226. doi:[10.1016/j.sbspro.2013.08.139](https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.08.139)
9. Menukhova, T. Using of Regionalization Techniques to Select Optimal Routes Based on Criteria of Road Features [Text] / T. Menukhova, A. Vyushkova // *Transportation Research Procedia*. – 2017. – Vol. 22. – P. 436–442. doi:[10.1016/j.trpro.2017.01.071](https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.01.071)

10. Bakas, I. A Flexible Transportation Service for the Optimization of a Fixed-route Public Transport Network [Text] / I. Bakas, R. Drakoulis, N. Floudas, P. Lytrivis, A. Amditis // *Transportation Research Procedia*. – 2016. – Vol. 14. – P. 1689–1698. doi:[10.1016/j.trpro.2016.05.134](https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.134)
11. Youlong, L. Route Optimization Algorithm and Solution for Web Service Engineering [Text] / L. Youlong, N. Guihua // *Systems Engineering Procedia*. – 2012. – Vol. 5. – P. 427–436. doi:[10.1016/j.sepro.2012.04.065](https://doi.org/10.1016/j.sepro.2012.04.065)
12. Briem, L. Integrating public transport into mobiTopp [Text] / L. Briem, H. S. Buck, N. Mallig, P. Vortisch, B. Strasser, D. Wagner, T. Zundorf // *Procedia Computer Science*. – 2017. – Vol. 109. – P. 855–860. doi:[10.1016/j.procs.2017.05.401](https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.05.401)
13. Aparicio, A. Exploring the Sustainability Challenges of Long-distance Passenger Trends in Europe [Text] / A. Aparicio // *Transportation Research Procedia*. – 2016. – Vol. 13. – P. 90–99. doi:[10.1016/j.trpro.2016.05.010](https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.010)
14. Bohari, Z. Improving the Quality of Public Transportation System: Application of Simulation Model for Passenger Movement [Text] / Z. A. Bohari, S. Bachok, M. M. Osman // *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. – 2014. – Vol. 15. – P. 542–552. doi:[10.1016/j.sbspro.2014.10.087](https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.10.087)
15. Haar, S. A Hybrid-Dynamical Model for Passenger-flow in Transportation Systems**This research work has been carried out under the leadership of the Technological Research Institute SystemX, and therefore granted with public funds within the scope of the French Program «Investissements d’Avenir» [Text] / S. Haar, S. Theissing // *IFAC-PapersOnLine*. – 2015. – Vol. 48, No. 27. – P. 236–241. doi:[10.1016/j.ifacol.2015.11.181](https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.11.181)
16. Sun, D. Timetable optimization for single bus line based on hybrid vehicle size model [Text] / D. Sun, Y. Xu, Z.-R. Peng // *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*. – 2015. – Vol. 2, No. 3. – P. 179–186. doi:[10.1016/j.jtte.2015.03.006](https://doi.org/10.1016/j.jtte.2015.03.006)
17. Vrtic M. Two-dimensionally constrained disaggregate trip generation, distribution and mode choice model: Theory and application for a Swiss national model [Text] / M. Vrtic, P. Frohlich, N. Schussler, K. W. Axhausen, D. Lohse, C. Schiller, H. Teichert // *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. – 2007. – Vol. 41, No. 9. – P. 857–873. doi:[10.1016/j.tra.2006.10.003](https://doi.org/10.1016/j.tra.2006.10.003)
18. Rwakarehe, E. E. Development of a Freight Demand Model for the Province of Alberta Using Public Sources of Data [Text] / E. E. Rwakarehe, M. Zhong, J. Christie // *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. – 2014. – Vol. 138. – P. 695–705. doi:[10.1016/j.sbspro.2014.07.263](https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.07.263)
19. Fornalchyk, Ye. The Model of Correspondence of Passenger Transportation on the Basis of Fuzzy Logic [Text] / Ye. Fornalchyk, A. Bilous, I. Demchuk // *Econtechmod. An International Quarterly Journal*. – 2015. – Vol. 4, No. 2. – P. 59–64.
20. Grosche, T. Gravity models for airline passenger volume estimation [Text] / T. Grosche, F. Rothlauf, A. Heinzl // *Journal of Air Transport Management*. – 2007. – Vol. 13, No. 4. – P. 175–183. doi:[10.1016/j.jairtraman.2007.02.001](https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2007.02.001)
21. Wu, C. The impact of route network expansion on airport attractiveness: a case study of Chubu international airport in Japan [Text] / C. Wu, J. Han,

Y. Hayashi // Proceedings of the 2011 World Conference of Air Transport Research Society. – 2011. – P. 1–14.

22. Moreno, E. G. A First Step to Diagnostic of Urban Transport Operations by Means of GPS Receiver [Text] / E. G. Moreno, M. G. Romana, O. Martinez // Procedia Computer Science. – 2016. – Vol. 83. – P. 305–312. doi:[10.1016/j.procs.2016.04.130](https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.04.130)

23. Hu, Y. A Model Layout Region Optimization for Feeder Buses of Rail Transit [Text] / Y. Hu, Q. Zhang, W. Wang // Procedia – Social and Behavioral Sciences. – 2012. – Vol. 43. – P. 773–780. doi:[10.1016/j.sbspro.2012.04.151](https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.04.151)

24. Fonzone, A. A Model of Bus Bunching under Reliability-based Passenger Arrival Patterns [Text] / A. Fonzone, J.-D. Schmocker, R. Liu // Transportation Research Procedia. – 2015. – Vol. 7. – P. 276–299. doi:[10.1016/j.trpro.2015.06.015](https://doi.org/10.1016/j.trpro.2015.06.015)

25. Raturi, V. Analyzing Inter-modal Competition between High Speed Rail and Conventional Transport Systems: A Game Theoretic Approach [Text] / V. Raturi, K. Srinivasan, G. Narulkar, A. Chandrashekharaiyah, A. Gupta // Procedia – Social and Behavioral Sciences. – 2013. – Vol. 104. – P. 904–913. doi:[10.1016/j.sbspro.2013.11.185](https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.11.185)

26. Tuaycharoen, N. Bangkok Bus Route Planning API [Text] / N. Tuaycharoen, A. Sakcharoen, W. Cha-aim // Procedia Computer Science. – 2016. – Vol. 86. – P. 441–444. doi:[10.1016/j.procs.2016.05.075](https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.05.075)

27. Zhang, C. Bus Dwell Time Estimation and Prediction: A Study Case in Shanghai-China [Text] / C. Zhang, J. Teng // Procedia – Social and Behavioral Sciences. – 2013. – Vol. 96. – P. 1329–1340. doi:[10.1016/j.sbspro.2013.08.15](https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.08.15)

28. Qazi, A.-N. Demand variations and evacuation route flexibility in short-notice bus-based evacuation planning [Text] / A.-N. Qazi, Y. Nara, K. Okubo, H. Kubota // IATSS Research. – Elsevier BV, 2017. doi:[10.1016/j.iatssr.2017.01.002](https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2017.01.002)

29. Zhang, X. Modeling the Effects of Low-carbon Emission Constraints on Mode and Route Choices in Transportation Networks [Text] / X. Zhang, P. Liu, Z. Li, H. Yu // Procedia – Social and Behavioral Sciences. – 2013. – Vol. 96. – P. 329–338. doi:[10.1016/j.sbspro.2013.08.040](https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.08.040)

30. Dave, S. M. Modeling Trip Attributes and Feasibility Study of coordinated Bus for School Trips of Children [Text] / S. M. Dave, D. P. Raykundaliya, S. N. Shah // Procedia – Social and Behavioral Sciences. – 2013. – Vol. 104. – P. 650–659. doi:[10.1016/j.sbspro.2013.11.159](https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.11.159)

31. Richter, C. Modelling Mode Choice in Passenger Transport with Integrated Hierarchical Information Integration [Text] / C. Richter, S. Keuchel // Journal of Choice Modelling. – 2012. – Vol. 5, No. 1. – P. 1–21. doi:[10.1016/s1755-5345\(13\)70045-9](https://doi.org/10.1016/s1755-5345(13)70045-9)

32. Kabashkin, I. Modelling of Regional Transit Multimodal Transport Accessibility with Petri Net Simulation [Text] / I. Kabashkin // Procedia Computer Science. – 2015. – Vol. 77. – P. 151–157. doi:[10.1016/j.procs.2015.12.373](https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.12.373)

33. Essadeq, I. Modelling Passenger Congestion in Transit System – Benchmark and Three Case Studies [Text] / I. Essadeq, E. Dubail, E. Jeanniere // Transportation Research Procedia. – 2016. – Vol. 14. – P. 1792–1801. doi:[10.1016/j.trpro.2016.05.145](https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.145)

34. Brands, T. Modelling public transport route choice, with multiple access and egress modes [Text] / T. Brands, E. de Romph, T. Veitch, J. Cook // *Transportation Research Procedia*. – 2014. – Vol. 1, No. 1. – P. 12–23. doi:[10.1016/j.trpro.2014.07.003](https://doi.org/10.1016/j.trpro.2014.07.003)
35. Panasyuk, M. V. Optimization of regional passenger bus traffic network [Text] / M. V. Panasyuk, E. M. Pudovik, M. E. Sabirova // *Procedia Economics and Finance*. – 2013. – Vol. 5. – P. 589–596. doi:[10.1016/s2212-5671\(13\)00069-5](https://doi.org/10.1016/s2212-5671(13)00069-5)
36. Hadas, Y. Public Transport Systems' Connectivity: Spatiotemporal Analysis and Failure Detection [Text] / Y. Hadas, R. Rossi, M. Gastaldi, G. Gecchele // *Journal of Transportation Research Procedia*. – 2014. – Vol. 3. – P. 309–318. doi:[10.1016/j.trpro.2014.10.011](https://doi.org/10.1016/j.trpro.2014.10.011)
37. Baik, H. Forecasting Model for Air Taxi, Commercial Airline, and Automobile Demand in the United States [Text] / H. Baik, A. Trani, N. Hinze, H. Swingle, S. Ashiabor, A. Seshadri // *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. – 2008. – Vol. 2052. – P. 9–20. doi:[10.3141/2052-02](https://doi.org/10.3141/2052-02)
38. Terekhov, I. A concept of forecasting origin-destination air passenger demand between global city pairs using future socio-economic scenarios [Text] / I. Terekhov, V. Gollnick // *53rd AIAA Aerospace Sciences Meeting*. – American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2015. – P. 1640. doi:[10.2514/6.2015-1640](https://doi.org/10.2514/6.2015-1640)
39. Dolya, C. Modeling of passenger transport correspondence between regional centers in Ukraine [Text] / C. Dolya // *Technology Audit and Production*. – 2017. – Vol. 1, No. 2 (33). – P. 44–48. doi:[10.15587/2312-8372.2017.93458](https://doi.org/10.15587/2312-8372.2017.93458)
40. Dolya, C. Modeling of intercity passenger transportation system [Text] / C. Dolya // *Technology Audit and Production Reserves*. – 2017. – Vol. 2, No. 2 (34). – P. 37–43. doi:[10.15587/2312-8372.2017.100465](https://doi.org/10.15587/2312-8372.2017.100465)
41. Xiao-qiang, L. The Passenger Demand Prediction for Airport Line of Rail Traffic [Text] / L. Xiao-qiang, W. Lei // *Metallurgical and Mining Industry*. – 2015. – No. 9. – P. 651–657.
42. Mao, L. Modeling monthly flows of global air travel passengers: An open-access data resource [Text] / L. Mao, X. Wu, Z. Huang, A. J. Tatem // *Journal of Transport Geography*. – 2015. – Vol. 48. – P. 52–60. doi:[10.1016/j.jtrangeo.2015.08.017](https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2015.08.017)
43. Park, M. Regional Freight Demand Estimation Using Korean Commodity Flow Survey Data [Text] / M. Park, J. Hahn // *Journal of Transportation Research Procedia*. – 2015. – Vol. 11. – P. 504–514. doi:[10.1016/j.trpro.2015.12.042](https://doi.org/10.1016/j.trpro.2015.12.042)
44. Schwieterman, J. Intercity Buses: 2015 Was A Smooth Ride [Electronic resource] / J. Schwieterman // *New Geography*. – 02.10.2016. – Available at: <http://www.newgeography.com/content/005157-intercity-buses-2015-was-a-smooth-ride>
45. Li, T. A Demand Estimator Based on a Nested Logit Model [Text] / T. Li // *Transportation Science*. – 2017. – Vol. 51, No. 3. – P. 918–930. doi:[10.1287/trsc.2016.0671](https://doi.org/10.1287/trsc.2016.0671)