

УДК 656.022.9

DOI: 10.15587/2312-8372.2017.115219

МОДЕЛЮВАННЯ ПОЛІГОНІВ МАКСИМАЛЬНОЇ ПАСАЖИРСЬКОЇ МАРШРУТНОЇ ТРАНСПОРТНОЇ ДОСТУПНОСТІ НА ПРИКЛАДІ ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ УКРАЇНИ

Доля К. В., Давідіч Ю. О., Доля О. Є., Лифенко С. Е., Угоднікова О. І.

1. Вступ

Забезпечення стабільного функціонування пасажирських транспортних систем можна вважати пріоритетним завданням для організаторів перевезень та перевізників. За умов забезпечення пасажирів можливістю у реалізації потреби з переміщення у найзручніший спосіб є основою для максимальної реалізації потенційної транспортної кореспонденції між вузлами транспортної мережі. До основних факторів, які впливають на фактичні показники обсягів перевезень пасажирів між вузлами транспортної мережі можна віднести:

- потенційну кореспонденцію;
- вартість проїзду;
- час їздки;
- час доби їздки;
- комфортність їздки;
- регулярність та частість їздки;
- соціальні та економічні характеристики розвитку населення у транспортних вузлах. Можна відзначити, що фактичні показники обсягів перевезень пасажирів потрібно корегувати з урахуванням характерних сезонних або добових коливань.

В свою чергу міжміська пасажирська маршрутна транспортна система для забезпечення своєї діяльності використовує грошові ресурси, які надходять від перевезень. Планомірне надходження грошового ресурсу для забезпечення стабільного функціонування та розвитку міжміських пасажирських маршрутних транспортних систем безперечно є важливим. При цьому, не менш важливим є розподіл грошових потоків між елементами транспортної системи в часі та кількості. За умов збалансованого руху фінансових потоків всередині системи, кількісної достатності даного ресурсу та його зваженого використання елементами системи можливе планування й розвиток галузі.

З викладеного, можна стверджувати, що актуальним є дослідження основи для розвитку міжміських пасажирських маршрутних транспортних систем, яка полягає у такій кореспонденції пасажирів надходження фінансового ресурсу, від якої є якісні характеристики.

2. Об'єкт дослідження та його технологічний аудит

Об'єкт дослідження – державна (регіональна) транспортна система на прикладі України. В роботі розглянуто дорожню мережу на прикладі залізничних шляхів України, яка складається з понад 30 тис. дуг та вузлів.

Модель дослідженої мережі побудовано із використанням засобів геоінформаційних технологій, цим забезпечується опис елементів мережі із географічною точністю.

Одне з найбільш проблемних місць аналізу інженерних й зокрема транспортних мереж є визначення їхніх максимальних потенціальних експлуатаційних показників. Формалізація визначених параметрів обумовлює планування технічних показників потоків в мережі.

3. Мета та задачі дослідження

Мета роботи полягає в прогнозуванні параметрів функціонування транспорту в існуючій дорожній мережі з врахуванням змін основних характеристик транспортного процесу.

Для досягнення поставленої в роботі мети передбачається вирішити наступні задачі:

1. Провести моделювання полігонів, що описують максимальні пасажирські маршрутні їздки для різних видів транспорту.
2. Визначити вплив швидкості руху та мережі на зміни полігонів транспортної доступності.

4. Дослідження існуючих рішень проблеми

На даний час науковцями досліджуються питання моделювання пасажирських маршрутних транспортних систем. За результатами їхньої роботи було вирішено окремі завдання при розгляді не лише державних (регіональних), а й міських, міждержавних та міжконтинентальних маршрутних пасажирських транспортних систем.

Розглядом питання інтелектуального планування міських пасажирських транспортних систем займалися автори роботи [1], якими запропоновано підхід, що базується на моделюванні попиту динамічного інтелектуального планування і оптимізації маршруту. Запропоноване авторами у роботі рішення дозволяє операторам системи приймати рішення щодо динамічного створення нових маршрутів на основі запитів від пасажирів. Модель запропонована для реалізації в проектах Smart City. Моделюванням маршрутів в межах міста займалися й автори роботи [2]. У даній роботі науковцями запропоноване моделювання, яке має на меті прогнозувати схеми маршрутної мережі із врахуванням максимальної взаємодії між автобусними та залізничними маршрутами. Питання необхідності врахування координованої взаємодії між різними видами транспорту займалися й автори роботи [3]. Ними винайдено рішення щодо утворення мультимодальної транспортної мережі, за допомогою алгоритму багатокритеріальної маршрутизації для моделювання.

У роботі [4] авторами розглянуте питання імовірності вибору маршруту пересування пасажиром за умов наявності набору варіантів. Визначено модель ймовірнісного процесу автобусного сполучення. Авторами роботи [5] вирішено питання моделювання загального часу проїзду пасажиром у маршрутній мережі в залежності від кількості транспортних вузлів та розташування зупиночних пунктів. Вирішення питань поліпшення ефективності функціонування

пасажирських маршрутів на залізничному транспорті висвітлено у роботі [6]. Авторами роботи [6] моделюються стани системи при зміні технічних параметрів маршруту.

Комплексним врахуванням ефективності функціонування маршрутної пасажирської транспортної системи займалися автори роботи [7]. Розроблена модель базується на врахуванні різних режимів транспортування та мультимодальної системи громадського транспорту. Запропоноване у роботі авторами рішення гнучкої оптимізації розкладу, заснованого на моделюванні гнучкого розміру автомобіля. Результати досліджень моделювання коливань попиту при транзитній експлуатації автобусного маршруту запропоновано авторами у роботі [8]. 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 [9–11].

Моделювання пасажирських транспортних кореспонденцій між вузлами транспортної мережі займалися автори роботи [12]. Дана робота присвячена прогнозуванню пасажирських кореспонденцій із застосуванням засобів гравітаційного підходу. У висвітленій авторами моделі кореспонденцію визначено враховуючи загальну економічну активність і географічні особливості міст:

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

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;

F_j – параметр привабливості факторів для поїздки.

$$H_{ij} = e^\varepsilon P_{ij}^\pi Z_i^\chi F_Q^\beta VVP_{ij}^\gamma L_m^\delta T_{tp}^\tau, \quad (2)$$

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_{tp} – час руху пасажирів у транспортному засобі;

$\varepsilon, \pi, \chi, \beta, \gamma, \delta, \tau$ – емпіричні коефіцієнти.

Обидві моделі використовують в основному геоеткономічні змінні як незалежні фактори.

Авторами роботи [13] розглянуто питання впливу обсягів пасажирських кореспонденцій, в якості основного ресурсу, що впливає на розвиток транспортної інфраструктури. Визначено вплив та модельовано оборонені процеси.

Авторами роботи [14] визначено алгоритм встановлення області розповсюдження маршрутів автобусного сполучення із урахуванням географічного розповсюдження залізничних пасажирських мереж. Опіраючись на запропонований алгоритм розроблено модель планування підвізних до залізничних станцій автобусних маршрутів. Авторами у роботі [15] розглядалось питання впливу величини попиту населення на швидкість переміщення. Розглядом змін показників функціонування пасажирських транспортних систем займались й інші автори у роботах [16–18].

Автор роботи [19] визначає, що основною характеристикою транспортної системи є доступність. У роботі представлено підхід до моделювання регіональної доступності. Автори [20] 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 [21] моделюється реальна поведінка пасажира при виборі між варіантами пересування, які поєднують поїзду у громадському транспорті з автомобілем чи велосипедом. В роботі визначення мережі ґрунтується на формуванні реалізованого набору варіантів маршрутів з вибором їх оптимальної комбінації. Запропоновано метод та показники оцінки якості маршрутної мережі.

Запропонований у [21] підхід 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.

$$H_{ei,j} = \frac{(H_{mi} H_{mj})}{(l_{i,j})^\tau} \exp(a + (c_{(i)} + c_{(j)}) P_{заз}^{H_{ei}} + g_{(i,j)} \gamma_c + V_{i,j}), \quad (3)$$

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

$a, P_{заг}^{Hvi} = (P_{заг1}^{Hvi} P_{заг2}^{Hvi} \dots P_{загm}^{Hvi})^T$ та $\gamma_c^{Hvi} = (\gamma_{c1}^{Hvi} \gamma_{c2}^{Hvi} \dots \gamma_{cm}^{Hvi})^T$ – невідомі параметри регресії;

$P_{заг}$ – загальна рухливість населення;

γ_c – коефіцієнт середньостатистичного використання місткості салону;

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

$V_{i,j}$ – незалежні і однаково розподілені випадкові величини 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.

Також встановлено вплив економічного розвитку регіону на параметри пасажирських кореспонденцій. Для цього авторами у роботі [22] для даного прогнозування використана гравітаційна модель Ньютона. На основі даної моделі авторами запропоновано привабливість між містами представити через адаптовану модель гравітації:

$$F_i = \frac{VVP_i \cdot H_{mi} \cdot VVP_j \cdot H_{mj}}{(L_m \cdot T_{серij})^2}, \quad (4)$$

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;

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

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

$$Q_{Дij} = \sqrt{(VVP_{ix} \cdot VVP_{my})^2 + (VVP_{jx} \cdot VVP_{ny})^2 + (H_{mix} \cdot H_{my})^2 + (H_{mjx} \cdot H_{mny})^2 + (T_{серx} \cdot T_{серy})^2 + (L_{ijx} \cdot L_{ijy})^2}. \quad (5)$$

Аналогічні підходи із використанням гравітаційного моделювання викладено й у інших наукових працях [23–26].

На думку автора роботи [27], для встановлення розподілу потенційної кореспонденції пасажирів між видами транспорту доречно використання наступної залежності:

$$P_k = \frac{e^{U_k}}{\sum_Z e^{U_k}}, \quad (6)$$

де p_k – частка поїздок, зроблених в режимі k ;

U_k – корисність режиму k ;

Z – індекс ефективності всіх режимів;

$e - 2,718281\dots$

5. Методи дослідження

Для встановлення наукових підходів щодо розрахунків пасажирських кореспонденцій між містами з урахуванням їх географічної розрахованості, соціальних та економічних показників використовувалися методи системного аналізу. За допомогою застосування методів комп'ютерного моделювання визначалися методи полігонів максимальної пасажирської маршрутної транспортної доступності для різних видів транспорту, які використовувалися для визначення параметрів технологічного процесу перевезення пасажирів.

6. Результати досліджень

Для проведення моделювання полігонів максимальної пасажирської маршрутної транспортної доступності для різних видів транспорту було використано географічну модель транспортної мережі України. У визначеній моделі мережі в якості транспортних вузлів обрано обласні центри, ланками обрано автомобільні шляхи державного й обласних значень та залізничні шляхи (рис. 1, 2).



Рис. 1. Модель автомобільної транспортної мережі України

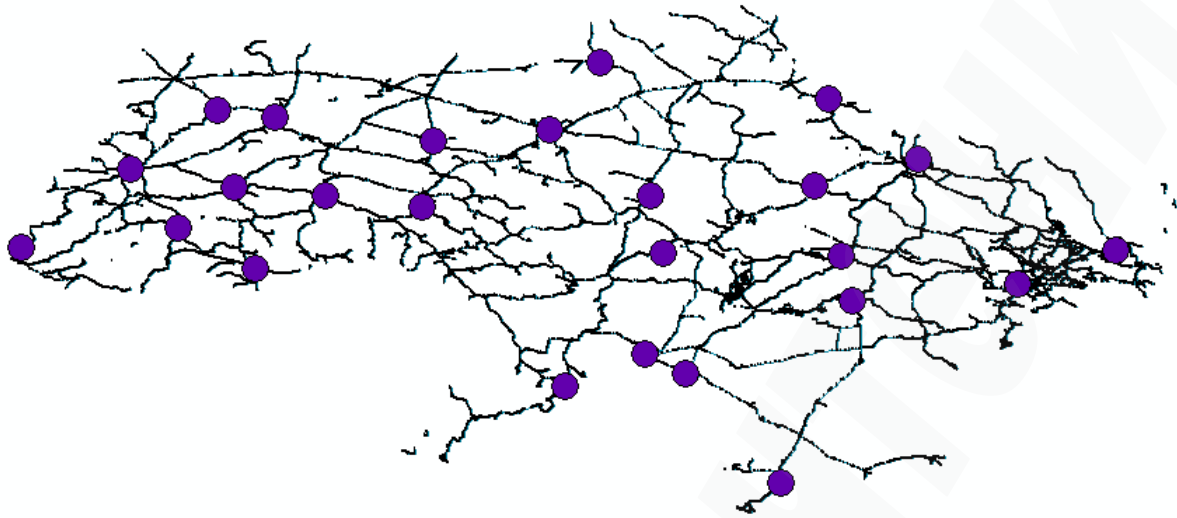


Рис. 2. Модель залізничної транспортної мережі України

З рис. 1, 2 можна визначити, що автомобільна та залізнична транспортні мережі відрізняються. Кількість ланок автомобільної мережі більша. Це призводить до можливості побудови полігонів, що відрізняються між собою. Обрані моделі транспортних мереж задовольняють вимогам щодо достовірності даних із допустимим географічним відхиленням. Це забезпечує можливість використання обраної моделі у подальшому дослідженні. Для проведення моделювання полігонів максимальної пасажирської маршрутної транспортної доступності для різних видів транспорту використано програмне забезпечення ArcGIS (додаток Network Analyst).

Для транспортних вузлів побудовано полігони транспортної доступності із урахуванням певних умов функціонування перевізного процесу – середнього часу їздки та середньої швидкості їздки. При моделюванні полігонів максимальної пасажирської маршрутної транспортної доступності транспортної системи для автомобільного транспорту обрано середнім часом їздки значення, що дорівнюють 1,5; 3; 5 та 8 год, а середню швидкість сполучення – 46 та 73 км/год. Це відповідає існуючим швидкостям міжобласного автобусного сполучення в піддослідній системі. Побудовано моделі полігони максимальної пасажирської маршрутної транспортної доступності на автомобільному транспорті для транспортних вузлів, яким відповідають такі обласні центри, як Луганськ, Одеса, Дніпро, Київ, Симферопіль. На рис. 3, 4 наведено результати моделювання на прикладі полігону, побудованого відносно транспортного вузла, що відповідає місту Дніпро.

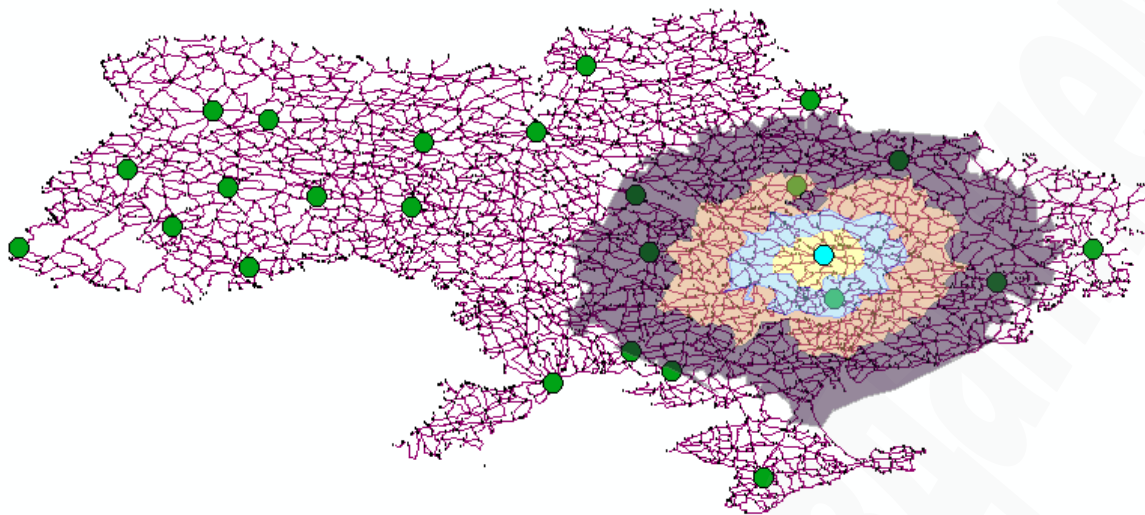


Рис. 3. Модель полігонів максимальної пасажирської маршрутної транспортної доступності на автомобільному транспорті при швидкості 46 км/год й часі їздки 1,5; 3; 5 та 8 годин відповідно

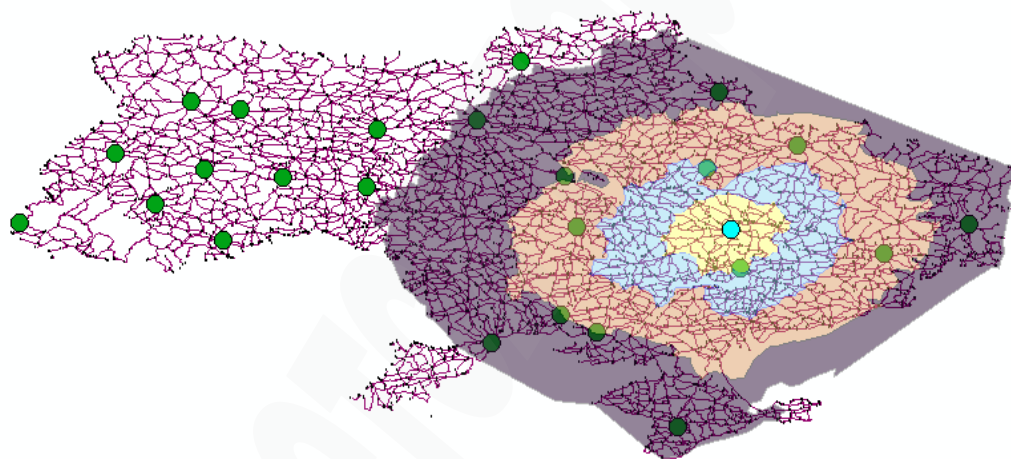


Рис. 4. Модель полігонів максимальної пасажирської маршрутної транспортної доступності на автомобільному транспорті при швидкості 73 км/год й часі їздки 1,5; 3; 5 та 8 годин відповідно

Аналогічні моделі будуюмо для залізничного транспорту із урахуванням обмежень транспортної доступності 1,5; 3; 5 та 8 годин. При моделюванні використано наступні швидкісні обмеження, а саме: 31, 68 та 98 км/год. Це відповідає існуючим швидкостям міжобласного залізничного сполучення в піддослідній системі. Результати моделювання наведено на рис. 5–7 на прикладі полігону побудованого відносно м. Дніпро.

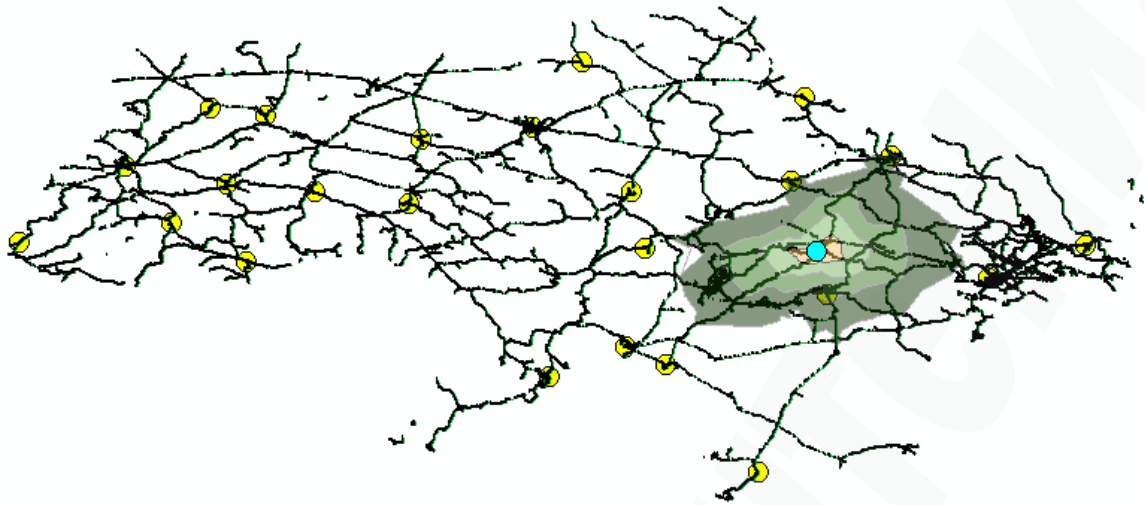


Рис. 5. Модель полігонів максимальної пасажирської маршрутної транспортної доступності на залізничному транспорті для визначених параметрів (31 км/год, 1,5, 3, 5, 8 годин)

З рис. 5 встановлено, що при моделюванні маршрутної мережі для перевезень пасажирів відносно обраного транспортного вузла можна забезпечити реалізацію пасажирських маршрутних транспортних кореспонденцій. Визначені кореспонденції мають можливість у реалізації між центром побудованого полігону та трьома іншими вузлами лише за умов їздки у термін до 8 годин.

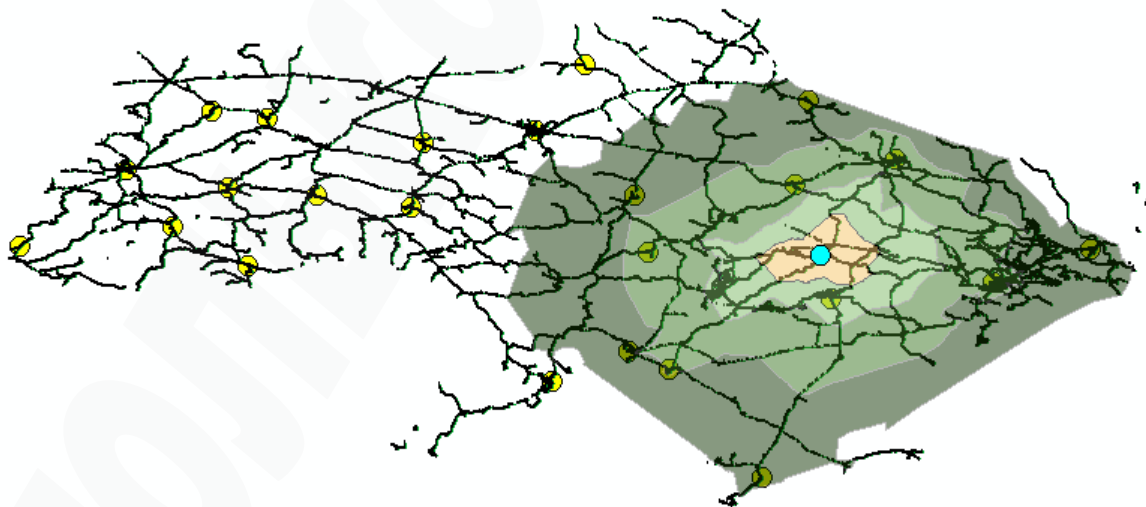


Рис. 6. Модель полігонів максимальної пасажирської маршрутної транспортної доступності на залізничному транспорті для визначених параметрів (68 км/год, 1,5, 3, 5, 8 годин)

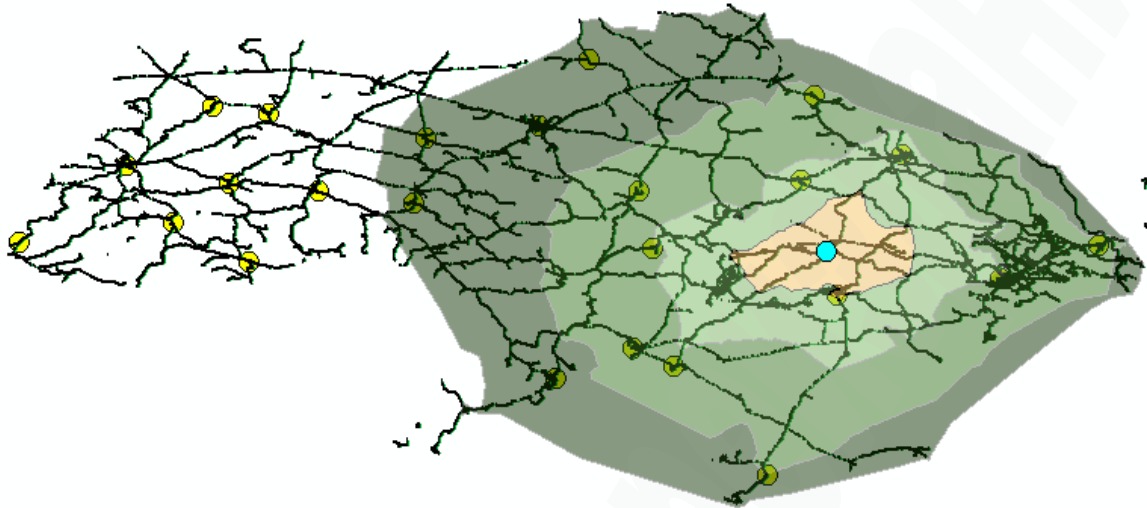


Рис. 7. Модель полігонів максимальної пасажирської маршрутної транспортної доступності на залізничному транспорті для визначених параметрів (98 км/год, 1,5, 3, 5, 8 годин)

З рис. 7 встановлено, що при моделюванні маршрутної мережі для перевезень пасажирів відносно обраного транспортного вузла можна забезпечити реалізацію пасажирських маршрутних транспортних кореспонденцій. При збереженні встановлених параметрів моделювання полігонів максимальної маршрутної транспортної доступності пасажирами визначено, що в межах 1,5 годинної їздки полігон містить лише один вузел окрім центру побудови полігону. При розгляді полігону, що відповідає транспортній доступності при їзді в межах від 1,5 до 3 год можна дістатись чотирьох транспортних вузлів. У разі організації маршрутних перевезень із визначенням середньої швидкості їздки у 98 км/год та часом їздки від 3 до 5 год з центру побудованого полігону можна дістатись до семи вузлів. Ще до шести вузлів можна дістатись за їзду від 5 до 8 год. Порівнюючи рис. 4 та рис. 6 можна стверджувати, що модель полігонів побудована, базуючись на мережу автомобільних шляхів, охоплює більшу кількість транспортних вузлів при середній швидкості сполучення більшій на 5 км/год.

На рис. 8 реалізовано моделювання полігонів з використанням моделі дорожньої мережі, яка на відміну від попередніх є поєднанням автомобільної та залізничної мереж.

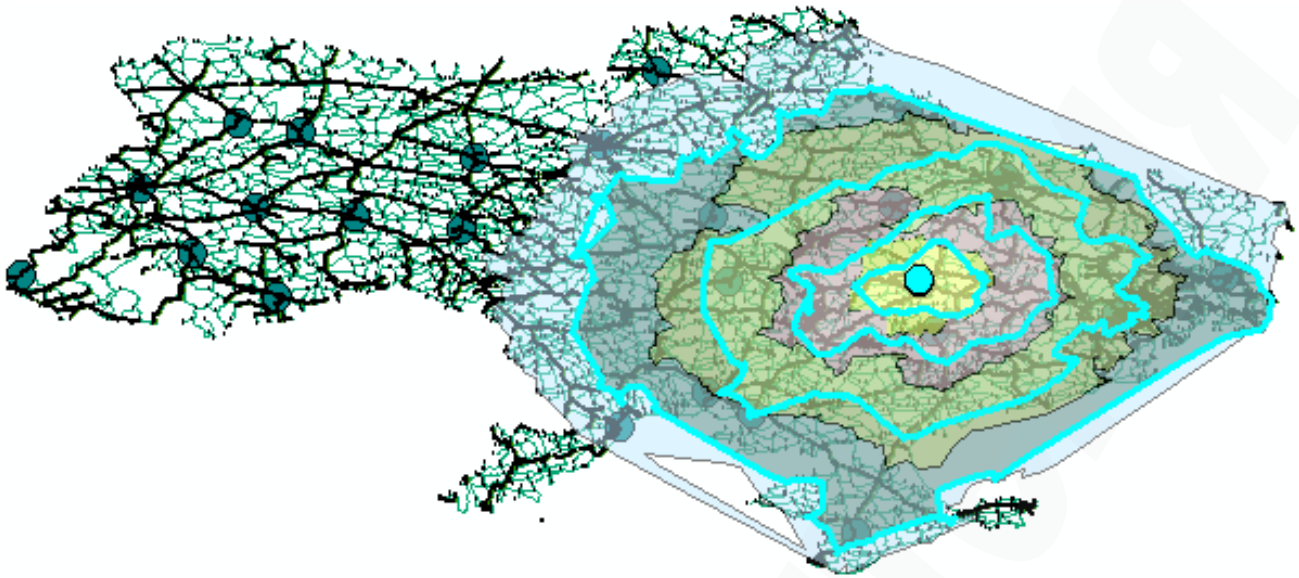


Рис. 8. Модель полігонів максимальної пасажирської маршрутної транспортної доступності в об'єднаній дорожній мережі

На рис. 8 висвітлено результати моделювання параметрів маршрутної доступності перевезень в обох дорожніх мережах одночасно. З'ясовано, що в межах 1,5 годинної їздки залізничний полігон зі швидкістю 68 км/год не досягає будь-яких вузлів (міст) в обох мережах, а автомобільний полігон із такою ж самою швидкістю містить один вузол (місто). Полігон побудований на залізничних шляхах при їзді в межах від 1,5 до 3 год містить один транспортний вузол, а автомобільний в даних умовах – два. При розгляді полігону, що відповідає транспортній доступності залізничними шляхами в межах їздки від 5 до 8 год містить одинадцять транспортних вузлів, а автомобільний в даних умовах – тринадцять. Порівнюючи залізничну та автомобільну транспортні доступності можна стверджувати, що автомобільна транспортна доступність має більшу територію обслуговування ніж залізнична.

7. SWOT-аналіз результатів дослідження

Strengths. До сильних сторін проведеного дослідження можна віднести проведення моделювання отриманих полігонів із географічною точністю, отримання результатів одночасної експлуатації залізничної та автомобільної мережі. На відміну від раніш запропонованих підходів до вирішення задач планування показників транспортного процесу засобами мережевого аналізу, запропоновано комплексний підхід із застосуванням сучасних засобів інформаційних технологій.

Weaknesses. До недоліків дослідження можна віднести незабезпечення врахування змін загального часу їздки при зміні мереж, якими здійснюється перевезення. Однак запропонованим підходом визначено, що можливе настання певних умов, при яких максимальна транспортна доступність мережами збільшиться при використанні обох мереж однією їздкою. Незабезпечення врахування збільшення часу їздки при зміні мереж, може

приведе зменшення середньої швидкості їздки. Це є підставою для зменшення визначеного в роботі полігону.

Opportunities. Подальший розвиток запропонованого дослідження можливо отримати у вирішенні питань планування витрат часового й енергетичного ресурсів, використовуваних в процесі транспортування.

Threats. Негативними сторонами використання запропонованого засобу планування параметрів є не забезпечення урахування особливостей кожної з дуг дослідженої мережі. Можливо, що при визначенні полігонів було застосовано для розрахунків швидкості руху нереальну для застосування на окремих ділянках залізничних та автомобільних шляхів. Це обумовлює вірогідність отримання розрахункових полігонів із нереальними характеристиками.

8. Висновки

1. Для проведення моделювання полігонів максимальної пасажирської маршрутної транспортної доступності для різних видів транспорту було використано географічну модель транспортної мережі України. У визначеній моделі мережі в якості транспортних вузлів обрано обласні центри, ланками обрано автомобільні шляхи державного й обласних значень та залізничні шляхи. Визначено, що автомобільна та залізнична транспортні мережі відрізняються. Кількість ланок автомобільної мережі більша. Це призводить до можливості побудови полігонів, що відрізняються між собою. Обрані моделі транспортних мереж задовольняють вимоги щодо достовірності даних із допустимим географічним відхиленням.

2. За результатами проведеного моделювання полігонів максимальної пасажирської маршрутної транспортної доступності для різних видів транспорту визначено, що на характеристики змодельованого набору полігонів впливають і обрана модель мережі, і швидкість сполучення. Доведено, що при однаковій швидкості руху полігони, побудовані в різних мережах відрізняються. Це зумовлено індивідуальними особливостями мереж, які у даному випадку описані рисунком й кількістю ланок мережі.

З'ясовано, що в межах 1,5 годинної їздки залізничний полігон зі швидкістю 68 км/год не досягає будь-яких вузлів (міст) в обох мережах, а автомобільний полігон із такою ж самою швидкістю містить один вузол (місто). Полігон побудований на залізничних шляхах при їзді в межах від 1,5 до 3 год містить один транспортний вузол, а автомобільний в даних умовах – два. При розгляді полігону, що відповідає транспортній доступності залізничними шляхами в межах їздки від 5 до 8 год містить одинадцять транспортних вузлів, а автомобільний в даних умовах – тринадцять. Порівнюючи залізничну та автомобільну транспортні доступності можна стверджувати, що автомобільна транспортна доступність має більшу територію обслуговування ніж залізнична.

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. 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)
6. 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)
7. 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)
8. 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)
9. 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)
10. 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)
11. 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 on Economics of Technology and Modelling Processes. – 2015. – Vol. 4, No. 2. – P. 59–64.

12. 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)

13. 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.

14. 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)

15. 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)

16. 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.2013.08.151](https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.08.151)

17. Dave, S. M. Modeling Trip Attributes and Feasibility Study of co-ordinated 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)

18. 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)

19. 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)

20. 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)

21. 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)

22. 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)

23. 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)

24. Grigorova, T. Development of distribution model of passenger transportation volumes among suburban transport modes [Text] / T. Grigorova,

Yu. Davidich, V. Dolya // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2015. – Vol. 3, No. 3 (75). – P. 10–14. doi:[10.15587/1729-4061.2015.43381](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.43381)

25. Grigorova, T. Development of the model of the change in the passenger transport fatigue when approaching stopping points of suburban bus routes [Text] / T. Grigorova, Yu. Davidich, V. Dolya // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2015. – Vol. 2, No. 3 (74). – P. 4–9. doi:[10.15587/1729-4061.2015.38583](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.38583)

26. 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)

27. Dolya, C. Investigation of approaches to modeling of intercity passenger transportation system [Text] / C. Dolya, A. Botsman, V. Kozhyna // Technology audit and production reserves. – 2017. – Vol. 4, No. 2 (36). – P. 24–28. doi:[10.15587/2312-8372.2017.108889](https://doi.org/10.15587/2312-8372.2017.108889)