

Любий Є.В., Ковцур К.Г., Цинь Сяосюань
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ВИПАДКОВОГО ЗАПОВНЕННЯ МАТРИЦІ ПАСАЖИРСЬКИХ КОРЕСПОНДЕНЦІЙ

Основним спрямуванням статті є формалізація процесу випадкової генерації елементів матриці пасажирських кореспонденцій в рамках реалізації інтервальної концепції моделювання транспортного попиту на пересування пасажирів. Для досягнення основної мети в роботі проаналізовано існуючі методи моделювання матриць пасажирських кореспонденцій, за результатами якого обґрунтовано доцільність розробки нового методу моделювання матриці пасажирських кореспонденцій в рамках інтервальної концепції формування транспортного попиту на пересування пасажирів, а також зроблено його формалізацію. Перевагою використання інтервальної концепції моделювання попиту на пересування пасажирів є можливість формування сукупності матриць пасажирських кореспонденцій, які максимально широко охоплюють можливі стани попиту в рамках відомих обмежень. Запропонований алгоритм заповнення випадкової матриці пасажирських кореспонденцій базується на методі поетапної генерації кореспонденцій, доповнення якого можливістю врахування групових обмежень може подолати проблему виникнення тупикових ситуацій в процесі моделювання матриці пасажирських кореспонденцій. Результати проведеного дослідження повинні стати основним підґрунтям для реалізації методу генерації матриць, який при наявності несуперечливих додаткових обмежень дозволяє гарантовано отримувати задану кількість випадкових матриць, достатню для практичної реалізації інтервальної концепції моделювання транспортного попиту на пересування пасажирів, і при цьому для максимального збереження ступеню випадковості елементів матриць, що генеруються. Подальші дослідження в цьому напрямку спрямовані на розробку методики оцінювання результатів генерації кореспонденцій за запропонованим методом.

Ключові слова: матриця пасажирських кореспонденцій, моделювання, пасажирські перевезення, попит, транспортне планування.

ВСТУП

Прогнозування попиту є важливою частиною етапу планування і оцінки будь-якого проєкту, пов'язаного з інфраструктурою різних типів і систем транспорту. Достовірні результати прогнозування попиту на перевезення є ключовими вихідними даними для планування, проєктування та оцінювання транспортних систем. Тому завдання отримання точних прогнозів щодо змін обсягів транспортного попиту має велике значення у загальній оцінці інфраструктурних проєктів.

У даний час одним із найбільш проблемних питань в області ефективного функціонування міських пасажирських маршрутних систем є формування (розрахунок) моделі транспортного попиту, яка в більшості випадків представляється матрицею пасажирських кореспонденцій (МПК). В свою чергу, основною проблемою на шляху формування реальної міської МПК є відсутність можливості та відповідних дієвих інструментів у українських фахівців галузі транспортного планування в отриманні точної, якісної і надійної інформації про фактичні пасажирські кореспонденції, які є вихідною інформацією при моделюванні матриці кореспонденцій (МК) і, найчастіше в українських реаліях, розраховуються на даних, отриманих за рахунок реалізації трудоемних натурних спостережень за роботою громадського транспорту (ГТ). Особливо гостро ця проблема проявляється при необхідності моделювання МПК великих міст і територіальних громад, маршрутні системи яких характеризуються значними розмірами і різноманіттям напрямків перевезення пасажирів. До того ж, слід відзначити, що відомі і розповсюджені на даний час методи формування МПК (гравітаційний, ентропійний метод тощо) не гарантують необхідної точності результатів моделювання попиту на перевезення пасажирів у містах і є лише джерелом отримання якогось проміжного стану попиту, який зафіксовано в результаті обстеження пасажиропотоків на маршрутній мережі. Отримані в такий складний спосіб МПК використовуються фахівцями лише для отримання первинних якісних оцінок функціонування системи ГТ в місті, їх використання для прогнозування розвитку систем ГТ практично неможливо через необхідність суттєвого оновлення вхідної інформації про місткості транспортних районів (ТР). Все це підтверджує той факт, що процес моделювання транспортного попиту на перевезення пасажирів є складним до кінця невирішеним питанням як з практичної, так й наукової точки зору,

вирішення якого потребує подальшого розвитку методів формування МПК з урахуванням сучасних тенденцій розвитку галузі транспортного планування [1].

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Підходячи до аналізу літературних джерел слід розуміти, що проблема моделювання попиту на пересування пасажирів ГТ не нова і доволі не складна з погляду на її формалізацію, що підтверджується значною цікавістю науковців і практиків галузі пасажирських перевезень і транспортного планування та, відповідно, великим різноманіттям розроблених ними підходів і методик розрахунку МПК [2-8].

Моделі формування МПК можна об'єднати в основні три групи: статистичні, синтетичні та ймовірнісні [2-6]. Використання моделей першої групи ґрунтується на результатах проведення натурних спостережень за роботою ГТ, отримана інформація про перевезення пасажирів в рамках обстежень, характеризується достовірністю, надійністю та точністю, але для її отримання потрібні значні трудові та часові витрати на їх реалізацію. Простота розрахунків кореспонденцій з використанням статистичних моделей дуже часто призводять до негативних результатів їх розрахунку, що проявляється значними відхиленнями розрахункових і фактичних значень кореспонденцій. Цей недолік робить їх практично непридатними для отримання адекватної оцінки роботи системи ГТ та визначення якості транспортного обслуговування її користувачів [2-6].

Моделі другої групи (синтетичні, теоретичні, апріорні) засновані на використанні припущень про відносну схожість процесів, що відбуваються в міських транспортних системах, із законами природи [2-7]. Основною перевагою моделей цієї групи є їх відносна простота і значно менша трудомісткість реалізації, а недоліком є значні неточності в розрахунках кореспонденцій. Найбільше розповсюдження в галузі транспортного моделювання серед синтетичних отримала гравітаційна модель [3-5], для якої розроблено багато модифікацій.

До ймовірнісних моделей, що відносяться до третьої групи, можна віднести: моделі дискретного вибору; моделі множинної кореляції; моделі безпосереднього попиту; рівноімовірнісна модель; інтервальна концепція (ІК) моделювання МК [4, 6]. Основним недоліком моделей дискретного вибору є доволі ускладнена процедура оцінювання точності розрахунку кореспонденцій через необхідність проведення натурних обстежень за пересуваннями пасажирів. Обмеженістю використання моделей множинної кореляції можна вважати необхідність встановлення всіх можливих факторів, що впливатимуть на виникнення потреб у пересуваннях, а також їх впливу на формування пасажиропотоків. Недоліком моделей безпосереднього попиту є необхідність отримання досить великої кількості параметрів емпіричним шляхом і їх обмеженість використання на прикладі систем міського ГТ. Рівноімовірнісна модель передбачає розрахунок кореспонденцій матриці без урахування впливу на її величину транспортних, часових, планувальних та інших характеристик перевізного процесу. Розмір кореспонденції між ТР залежатиме лише від потужності місткостей відповідних ТР. Слабкою стороною моделей цієї групи слід вважати наявність однозначного алгоритму розрахунку кореспонденцій та отримання в результаті точкової оцінки МК, виключенням тут є ІК. Головною ідеєю цієї концепції є опис пересування пасажирів як випадкової величини та представлення моделі попиту не однією МК, а їх сукупністю. Кожна МК цієї сукупності характеризує один із можливих станів транспортного попиту для об'єкту, що розглядається. Недоліком ІК можна вважати широкий діапазон зміни станів МК, що робить оцінку транспортного попиту доволі «розмитою». Ліквідація цього недоліку можлива за рахунок визначення шляхів звуження зазначеного діапазону для різних за масштабами об'єктів, наприклад, за рахунок розробки імітаційної моделі визначення попиту на послуги ГТ, яка гарантує випадковий характер вибіркової сукупності матриць та забезпечують можливість реалізації ІК [2, 5]; за рахунок формування МПК на основі об'єднання фактичних рейсових МК, що отримані на основі натурних обстежень роботи системи ГТ [3]; за рахунок генерації МПК з використанням емпірично визначеної функції розселення населення [6, 7].

Окремої уваги заслуговує робота [8], де запропоновано метод випадкової генерації елементів МК в рамках ІК. За умов накладання обмежень лише за місткістю ТР розроблений метод гарантує повний їх розподіл за максимального рівня випадковості МК. Але за умов необхідності врахування додаткових обмежень (значень реальних кореспонденцій, функції розселення населення тощо) пошук бажаного результату далеко не завжди закінчується успіхом. Для повної реалізації ІК необхідна розробка методу випадкової генерації елементів МПК, який би враховував обмеження за місткістю ТР та іншими можливими додатковими обмеженнями, а також гарантував би отримання заданої кількості МК.

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Основною метою дослідження є створення методу випадкового заповнення МПК, в якому усунути недоліки існуючого методу генерації матриць з врахуванням можливості передбачення тупикових ситуацій, які виникають внаслідок накладання додаткових обмежень на неї. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі: проаналізувати існуючі методи розрахунку МПК; формалізувати модель генерації матриць при реалізації ІК моделювання транспортного попиту з врахуванням обмеження по місткості ТР за прибуттям та відправленням при формуванні моделі попиту; розробити метод генерації матриць при реалізації ІК моделювання транспортного попиту, який враховує додаткові групові обмеження, такі як відомі характеристики транспортного процесу (певні значення кореспонденції, пасажиропотоку на окремих ділянках ВДМ, відома функція розподілу дальності пересувань тощо).

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Аналіз існуючих методів розрахунку МПК показав, що основною проблемою в цьому питанні є точність відображення попиту на перевезення пасажирів, який у реальності вочевидь має випадковий характер, розрахунковими матрицями, які використовуються в процесі транспортного планування. Ця випадковість обумовлена як непов'язаними з транспортним процесом причинами виникнення необхідності здійснення поїздок, так й з вільним вибором напрямів поїздок користувачами транспортної системи. Та, якщо перший фактор може бути подоланий завдяки великій кількості користувачів, яка приводить до стабілізації попиту на рівні групових характеристик транспортної системи, на кшталт місткостей ТР або пасажиропотоків, то другий фактор являється постійно діючим, завдяки різноманіттю сполучень місць генерації та поглинання пересувань. Тому спроба описати випадковий попит деяким одним варіантом МПК априорі є не зовсім продуктивним, а у найбільш складних випадках моделювання транспортних систем великих міст, існуючі методи розрахунку матриць взагалі не в змозі надати такий її варіант, який би відповідав усім відомим характеристикам транспортного процесу, до яких у мінімальному варіанті відносяться все ті ж місткості ТР і пасажиропотоки на деяких ділянках ВДМ.

У такій ситуації єдиним шляхом забезпечення достатньої точності моделювання транспортного попиту є реалізація ІК, яка передбачає створення декількох різних варіантів МПК, які відповідають всім відомим груповим характеристикам транспортного процесу, список яких не обмежується лише місткостями ТР і пасажиропотоками, а може бути доповнений іншими характеристиками, наприклад відомою функцією розподілу дальності пересувань, тощо. Тоді наявність декількох різних варіантів МПК, що відповідає випадковому характеру попиту, дозволить отримати відповідну кількість шуканих оцінок ефективності альтернативних варіантів транспортної системи і, тим самим, забезпечить осіб, відповідальних за прийняття рішень комплексною оцінкою наслідків реалізації альтернатив, яка буде відображати не лише власне ефективність системи за обраними показниками, а ще її надійність та, в деякому сенсі стійкість.

Задля досягнення цієї мети, багатоваріантна модель попиту має забезпечувати максимальний рівень випадковості результатів генерації, яка дозволить досягти максимально широкого охоплення можливих станів попиту в межах відомих обмежень. Тому, при звичайній генерації випадкових матриць, з обмеженнями лише на місткості ТР з прибуття та відправлення, використовується прямокутний (рівномірний) розподіл, генератор випадкових чисел за яким, вбудований у всі сучасні комп'ютерні операційні системи. Він забезпечує максимально рівномірний розкид випадкових чисел у заданому діапазоні, що власне й вимагається. Сам генератор видає послідовність випадкових чисел, рівномірно розподілених у межах інтервалу $[0; 1]$, а для переходу до іншого, фіксованого інтервалу необхідно зробити невеликий перерахунок. При визначенні випадкових чисел, рівномірно розподілених в межах інтервалу $[0; Y]$, які безпосередньо потрібні для генерації матриць, кінцевий результат досить просто визначається через множення виданого генератором випадкового значення відомої на величину правої границі розподілу Y .

При розрахунках номеру поточної клітинки МПК, сама матриця представляється у вигляді лінійного вектору, як послідовність розташованих одного за іншим її рядків у порядку зростання їх номерів, а права границя визначається через поточну розмірність матриці:

$$Y = N^2 - 1, \quad (1)$$

де N – кількість ТР (транспортних районів) в МПК.

Перехід від згенерованого випадкового номеру до індексів, які визначають місце поточної клітинки в МПК здійснюється за наступними формулами:

$$i = \frac{y - \text{MOD}(y; N)}{N} + 1, \quad j = \text{MOD}(y; N), \quad (2)$$

де y – згенерований у межах $[0; N^2 - 1]$ випадковий номер поточної клітинки;

i – номер рядку (ТР відправлення) поточної клітинки в МПК;

j – номер стовпця (ТР прибуття) поточної клітинки в МПК;

$\text{MOD}(y; N)$ – залишок від цілочисельного ділення y на N .

Для визначення величини кореспонденції в поточній клітинці МПК h_{ij} права границя випадкового рівномірно розподіленого числа визначається як

$$Y = \min(D_i; A_j). \quad (3)$$

де D_i – місткість ТР i за відправленням;

A_j – місткість ТР j за прибуттям.

Після генерації поточної кореспонденції обидві місткості, яких вона стосується, зменшуються на згенероване значення

$$A'_i = A_i - y; \quad D'_j = D_j - y, \quad (4)$$

де A_i, A'_i – місткість ТР i з відправлення відповідно до та після чергової генерації;

D_j, D'_j – місткість ТР j з прибуття відповідно до та після чергової генерації;

y – величина згенерованої кореспонденції.

Після такого корегування, процес продовжується генерацією нового номеру наступної поточної кореспонденції та її значення. Цей метод подвійної генерації, у подальшому – базовий метод, забезпечує максимально можливий рівень випадковості при генерації матриць, який може вважатися еталонним для всіх альтернативних методів, необхідність створення яких обумовлена тим, що наявність додаткових обмежень на МПК призводить до виникнення ситуацій, коли повне заповнення матриці стає неможливим.

Для подолання цієї проблеми необхідно створити новий метод генерації матриць, який гарантовано забезпечить формування нових МПК при всіх відомих додаткових обмеженнях. Для цього доцільно скористатися пропозицією, яка відображена в роботі [8] і спирається на здатність базового методу забезпечувати повне заповнення матриць, при відсутності інших обмежень, окрім місткостей ТР з прибуття та відправлення. При цьому процедура виконання додаткових обмежень відокремлюється від процедури генерації значень кореспонденцій, а їх дотримання забезпечується вже після того, коли вся МПК була заповнена. Тобто в запропонованому в роботі [8] методі генерації, МПК заповнюється так само, як у першому випадку, а це безперешкодна процедура з гарантованим результатом, але потім, з метою виконання обмежень, з неї видаляються кореспонденції із заздалегідь відомими значеннями, які являються одним з можливих видів обмежень. І тут слід відзначити, що цей метод [8] спрямований на подолання лише однієї з причин виникнення тупикових ситуацій у процесі генерації матриць, яка виникає, наприклад при генерації рейсових МПК за результатами табличних обстежень пасажиропотоків [2]. Цим прикладом всі аналогічні ситуації не обмежуються, оскільки вони також поширюються на випадки не нульових, заздалегідь відомих значень кореспонденцій, але без втрати спільності ці значення також можна вважати нульовими тому що коректним є шлях виділення їх в окрему матрицю та формування моделі попиту як суми двох МПК – випадкової та заданої, заздалегідь відомої. Але дане обмеження на відомі значення окремих кореспонденцій не охоплює інших ситуацій, з груповими обмеженнями, які є сумою декількох кореспонденцій. До числа таких відносяться відомі пасажиропотоки на окремих ділянках ВДМ, відома функція розподілу дальності пересувань або інші групові характеристики транспортного процесу, які не можуть бути подолані шляхом простого видалення зайвих кореспонденцій.

Тому цей метод [8] не може претендувати на повноту вирішення проблеми генерації випадкових матриць з додатковими обмеженнями, до чого слід додати відсутність в інформаційному просторі результатів його практичного застосування, але він надає можливості для поетапного формування МПК, які доцільно використовувати при створенні нового, практично придатного методу реалізації ІК моделювання попиту. Це обумовлене тим, що для проміжних матриць, які отримуються на кожному етапі генерації, можуть бути розраховані деякі оцінні показники, які потенційно зможуть дозволити передбачити виникнення на наступному етапі генерації можливих тупикових ситуацій із заповненням матриць і, відповідно, уникнути їх перед тим, як виконувати цей наступний етап. Уникнути тупикових ситуацій із заповненням матриць можливо шляхом виконання критичних на даному етапі розрахунку обмежень, через спрямоване заповнення необхідних для цього значень кореспонденцій і відповідного корегування місткостей ТР.

При реалізації базового методу і наявності заборони на заповнення деяких клітин МПК, після видалення з матриці заборонених для заповнення кореспонденцій, у випадковій МПК залишаються лише ті з них, які не підпадають під заборону, що й вимагається в підсумку. А при врахуванні групових додаткових обмежень, з матриці мають видалятися ті кореспонденції, позитивні значення яких призводять до порушення цих обмежень.

Таким чином метод поетапної генерації матриць [8], доповнений можливістю врахування групових обмежень, може забезпечити подолання проблеми невідомого заздалегідь результату генерації матриць, за умови знаходження показників, які дозволять в процесі генерації визначити критичні обмеження, задля виконання яких слід спрямовано заповнювати декілька кореспонденцій відповідними значеннями. Очевидно, що такі дії в деякому ступені знижують випадковість процесу формування МПК, що має бути досліджено далі, але також зрозуміло, що ця втрата випадковості є неминучою платою за можливість врахування об'єктивно існуючих і відомих транспортним планувальникам характеристик транспортного процесу при реалізації ІК моделювання транспортного попиту.

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Головною вимогою в ІК моделювання транспортного попиту є забезпечення випадкового характеру МПК. При використанні запропонованого методу унеможлиблюється отримання негативних результатів генерації елементів МПК при використанні додаткових обмежень, при цьому розміри такої матриці можуть бути доволі значними. Єдиним залишається питання щодо відповідності між результатами випадкової генерації МПК без врахування додаткових обмежень, та аналогічними результатами, отриманими за допомогою запропонованого методу, що можливо за рахунок проведення оцінювання різниці між кореспонденціями.

ВИСНОВКИ

Прогнозування пасажирських потоків може бути використане як ефективний інструмент для створення обґрунтованих рішень під час планування комплексного розвитку міст, а випадковий характер поведінки пасажирів має бути врахований при побудові моделі попиту, зважаючи на безліч різноманітних факторів, при побудові більш точних моделей.

Результати аналізу методів моделювання МПК свідчать про те, що основною проблемою при їх реалізації є точність отриманих результатів, адекватність яких суттєво впливає на вибір заходів, спрямованих на підвищення ефективності функціонування системи ГТ в місті. Для забезпечення достатньої точності моделювання транспортного попиту доцільна реалізація ІК, яка передбачає створення певної кількості різних варіантів МПК, що максимально широко охоплюють можливі стани попиту в межах відомих обмежень. Використання ІК дозволяє комплексно оцінити наслідки реалізації альтернатив, яка буде відображати не лише ефективність системи за обраними показниками, а ще і її надійність.

Доповнення методу поетапної генерації можливістю врахування групових обмежень може подолати проблему виникнення тупикових ситуацій в процесі моделювання МПК. Подальшим напрямком дослідження є розробка методики порівняння результатів генерації МК за запропонованим методом.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Горбачов П.Ф., Любий Є.В., Ковцур К.Г., Цинь Сясюань. Щодо питання моделювання елементів матриць кореспонденцій в рамках інтервальної концепції формування моделей транспортного попиту. *Напрямки розвитку технологічних систем і логістики в АПК*. Матеріали V-ї

Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції (23 травня 2024). Харків: ДБТУ. 2024. С. 48-49.

2. Гончаренко С.Ю. Визначення попиту на послуги пасажирського маршрутного транспорту в середніх містах : дис. на здоб. наук. ступ. канд. техн. наук : спец. 05.22.01 «Транспортні системи». Харків: ХНАДУ, 2015. 182 с.

3. Любий Є.В. Визначення попиту на пересування населення малих міст маршрутним пасажирським транспортом : автореф. дис. здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.22.01 «Транспортні системи». Харків: ХНАДУ, 2012. 22 с.

4. Горбачов П.Ф. Концепція формування систем маршрутного пасажирського транспорту в містах : дис. ... докт. техн. наук : спец. 05.22.01 «Транспортні системи». Харків: ХНАДУ, 2009. 370 с.

5. Россолов О.В. Удосконалення інтервальної концепції визначення попиту на послуги пасажирського маршрутного транспорту в великих містах : автореф. дис. здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.22.01 «Транспортні системи». Харків: ХНАДУ, 2012. 21 с.

6. Горбачов П.Ф., Свічинський С.В. Інтервальне моделювання потреб населення міст у перевезеннях громадським транспортом на основі функції розселення : монографія. Харків: ХНАДУ, 2016. 148 с.

7. Пашкевич С.М. Дослідження впливу розташування міжміської автостанції на розподіл міських пасажиропотоків : дис. на здоб. наук. ступ. докт. філософії : спец. 275.03 «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)». Харків: ХНАДУ, 2024. 224 с.

8. Івахнік В.С. Новий метод реалізації інтервальної концепції моделювання транспортного попиту. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 6, 2022, с. 57–64. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2022-165-6-57-64>.

REFERENCES

1. Horbachov P., Liubyi Ye., Kovtsur K., & Qin X. (2024). On the issue of modeling the elements of OD-matrices within the framework of interval concept of transport demand models forming. *Napriamky rozvytku tekhnolohichnykh system i lohistyky v APV. Materialy V-yi Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi internet-konferentsii (23 travnia 2024)*. Kharkiv: DBTU. P. 48-49.

2. Honcharenko S. (2015). *Vyznachennia popytu na posluhy pasazhyrskoho marshrutnoho transportu v serednikh mistakh : dys. na zdob. nauk. stup. kand. tekhn. nauk : spets. 05.22.01 «Transportni systemy»*. Kharkiv: KhNAHU. 182 p.

3. Liubyi Ye. (2012). *Vyznachennia popytu na peresuvannia naseleння malykh mist marshrutnym pasazhyrskym transportom : avtoref. dys. zdobuttia nauk. stupenia kand. tekhn. nauk : spets. 05.22.01 «Transportni systemy»*. Kharkiv: KhNAHU. 22 p.

4. Horbachov P. (2009). *Kontseptsiiia formuvannia system marshrutnoho pasazhyrskoho transportu v mistakh : dys. ... doktora tekhn. nauk : spets. 05.22.01 «Transportni systemy»*. Kharkiv: KhNAHU. 370 p.

5. Rossolov O. (2012). *Udoskonalennia intervalnoi kontseptsii vyznachennia popytu na posluhy pasazhyrskoho marshrutnoho transportu v krupnykh mistakh : avtoref. dys. zdobuttia nauk. stupenia kand. tekhn. nauk : spets. 05.22.01 «Transportni systemy»*. Kharkiv: KhNAHU. 21 p.

6. Horbachov P., & Svichynskiy S. (2016). *Intervalne modeliuвання potreb naseleння mist u perevezenniakh hromadskym transportom na osnovi funktsii rozselennia : monohrafiia*. Kharkiv: KhNAHU. 148 p.

7. Pashkevych S. (2024). *Research of the influence of an intercity bus station location on the distribution of urban passenger flows : PhD dissertation : spec.. 275.03 «Transport Technologies (in Road Transport)»*. Kharkiv: KhNAHU. 224 p.

8. Ivakhnik V. (2022). *A New Method for Implementing the Interval Concept of Transport Demand Modeling*. *Visnyk of Vinnytsia Polytechnical Institute*, (6), 57-64. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2022-165-6-57-64>.

Ye. Liubyi, K. Kovtsur, X. Qin Formulation of the problem of random completion of the OD-matrix

The main focus of the article is to formalize the process of random generation of elements of the passenger correspondence matrix within the framework of the interval concept of modeling transport demand for passenger movement. To achieve the main goal, the paper analyzes the existing methods of modeling passenger correspondence matrices, based on the results of which the expediency of developing a new method of modeling the passenger correspondence matrix within the interval concept of forming transport

demand for passenger movement is substantiated, and its formalization is made. The advantage of using the interval concept of modeling the demand for passenger transportation is the possibility of forming a set of passenger correspondence matrices that cover possible demand states as widely as possible within known constraints. The proposed algorithm for completing in a random matrix of passenger correspondences is based on the method of stepwise generation of correspondences, which, when supplemented with the possibility of taking into account group constraints, can overcome the problem of deadlocks in the process of modeling the matrix of passenger correspondences. The results of the study should become the main basis for the implementation of the matrix generation method, which, in the presence of consistent additional constraints, allows to guarantee a given number of random matrices sufficient for the practical implementation of the interval concept of modeling transport demand for passenger movement, and at the same time to maximize the degree of randomness of the elements of the generated matrices. Further research in this area is aimed at developing a methodology for evaluating the results of generating correspondences using the proposed method.

Key words: passenger correspondence matrix, modeling, passenger transportation, demand, transport planning.

ЛЮБИЙ Євген Володимирович, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри транспортних систем і логістики, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: lion_khadi@ukr.net. <https://orcid.org/0000-0003-0681-0920>.

КОВЦУР Катерина Григорівна, кандидат технічних наук, доцент кафедри транспортних систем і логістики, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: kovtsyr@ukr.net. <https://orcid.org/0000-0002-0445-5438>.

ЦИНЬ Сяосюань, аспірантка кафедри транспортних систем і логістики, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: xiaoxuan@ukr.net. <https://orcid.org/0009-0009-3736-619X>.

Yevhen LIUBYI, PhD in Engineering, Associate Professor, Head of Transport Systems and Logistics Department, Kharkiv National Automobile and Highway University, e-mail: lion_khadi@ukr.net. <https://orcid.org/0000-0003-0681-0920>.

Kateryna KOVTSUR, PhD in Engineering, Associate Professor of Transport Systems and Logistics Department, Kharkiv National Automobile and Highway University, e-mail: kovtsyr@ukr.net. <https://orcid.org/0000-0002-0445-5438>.

Xiaoxuan QIN, Post-Graduate Student of Transport Systems and Logistics Department, Kharkiv National Automobile and Highway University, e-mail: xiaoxuan@ukr.net. <https://orcid.org/0009-0009-3736-619X>.

DOI 10.36910/automash.v2i23.1537