

<https://doi.org/10.31649/1997-9266-2022-165-6-57-64>

УДК 656.072

В. С. Івахнік¹

НОВИЙ МЕТОД РЕАЛІЗАЦІЇ ІНТЕРВАЛЬНОЇ КОНЦЕПЦІЇ МОДЕЛЮВАННЯ ТРАНСПОРТНОГО ПОПИТУ

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Розглянуто особливості генерації випадкових матриць кореспонденцій в рамках інтервальної концепції моделювання транспортного попиту, які полягають у відсутності гарантій успішного розподілу по матриці відомих місткостей транспортних районів з відправлення і прибуття об'єкта транспортування, за наявності додаткових обмежень до місткостей. Проаналізовано можливості повного розподілу попиту по матриці транспортних кореспонденцій за наявності таких обмежень та запропоновано два методи вирішення цієї проблеми. Для невеликої кількості обмежень сформовано двоетапний алгоритм заповнення матриці. Перший етап полягає в звичайному розподіленні обсягів транспортного попиту за допомогою генератора випадкових чисел, другий — у перерозподілі до відкритих районів тих кореспонденцій, які потрапили в клітинки матриці, за допомогою замкнутих циклів, відомих з транспортної задачі. Для значної кількості обмежень, які виникають в процесі моделювання рейсових матриць маршрутних кореспонденцій, або в інших випадках, за яких моделювання транспортного попиту за допомогою замкнутих циклів стає неможливим, створено новий метод реалізації інтервальної концепції моделювання попиту. Він оснований на багаторазовому використанні базового методу розподілення транспортного попиту без обмежень, з використанням якого завжди відбувається повний розподіл місткостей по матриці кореспонденцій. Обмеження, які накладаються на матрицю, враховуються шляхом видалення з її поточного варіанта тих кореспонденцій, які підпадають під обмеження. Значення видалених кореспонденцій формують умови для генерації наступного екземпляра матриці, доки всі місткості транспортних районів з відправлення та прибуття не будуть розподілені по таких матрицях. Підсумкова матриця є сумою всіх проміжних матриць, створених таким чином. Цей спосіб формування матриць транспортних кореспонденцій дозволяє гарантувати позитивний результат генерації випадкових матриць з обмеженнями та забезпечити повноцінну реалізацію інтервальної концепції моделювання транспортного попиту.

Ключові слова: модель попиту, інтервальна концепція, матриця, кореспонденція, транспортний район.

Вступ

На сьогодні управління транспортною системою та маршрутною мережею міст стає все більш актуальною проблемою. Це пов'язано не тільки зі зростанням рівня автомобілізації, розвитком інфраструктури та транспортної мережі міст, але й зі зростанням вимог до якості транспортного обслуговування населення. Саме тому розробка ефективної структури та системи управління транспортним комплексом є одним з пріоритетних завдань транспортної науки. Вирішення цієї проблематики можливе за допомогою створення математичної моделі транспортної системи об'єкта дослідження. Найважливішим, та одночасно найважчим для оцінки, елементом моделі транспортної системи є матриця транспортних кореспонденцій (МТК). Саме вона відображає кількість переміщень об'єкта транспортування за певний час з i -го транспортного району (ТР) в j -й.

Моделювання попиту на транспортні пересування досі є не до кінця вирішеним питанням, що призводить до багатьох проблем у транспортному плануванні та вимагає подальших кроків у розвитку методів формування МТК. Це робить актуальним дослідження закономірностей транспортного попиту та подальший розвиток сучасних підходів до врахування об'єктивно існуючих особливостей певного об'єкта моделювання.

Аналіз літературних джерел

Створено багато методів математичного моделювання транспортного попиту, які поділяються на дві групи: емпіричні (метод одиничного темпу зростання, метод середнього темпу зростання, метод Детройта, метод Фратара) та синтетичні (ентропійний метод, гравітаційна модель, ентропійно-гравітаційна модель, модель конкуруючих центрів) [1]. Кожний з наведених методів формування МТК має як свої переваги, так і недоліки, але жоден з них не гарантує об'єктивного опису наявного попиту на перевезення пасажирів чи вантажів. Використовуючи ці методи математичного моделювання, можна створити прогнозну модель попиту на транспортні послуги у вигляді МТК.

На основі вже існуючих методів формування МТК, вчені вдаються до використання можливостей інформаційних систем. На нинішньому етапі розвитку науки і техніки, методи збору даних впевнено переходять від традиційних опитувань, до попередньо зібраних даних з інтелектуальних транспортних систем (ІТС). Ця зміна пояснюється високою вартістю проведення традиційних опитувань, різноманітністю різнорідних даних, які створюються ІТС, і можливістю отримання додаткових переваг під час обробки великих масивів даних. У наукових працях, іноземних вчених [2]—[4], описані методи імітаційного моделювання з використанням можливостей ІТС та математичного методу Монте-Карло. Серед проблем, які відображені в цих працях, можна виділити те, що будь-яка ІТС працює за заданими математичними алгоритмами, через що формування МТК відбувається в системі вже існуючих обмежень, тобто шляхом аналізу даних, отриманих від ІТС, транспортний попит в матриці виникає саме там, де ІТС його фіксує. Ця властивість з одного боку дозволяє відображати фактичний транспортний попит, але з іншого — ці методи втрачають можливість врахування випадкового характеру попиту, оскільки формують МТК за заданими алгоритмами. Це залишає необхідність доповнення даних ІТС випадковою складовою попиту. Попри це, вони мають низку переваг у порівнянні з традиційними методами збору інформації, серед яких є отримання детальних вхідних даних, що дозволяє ретельно проаналізувати стан транспортної мережі, а також зробити процес збору даних менш витратним і трудомістким. Основним обмеженням у широкому використанні цього підходу є наявність засобів ІТС лише у невеликій частині об'єктів, для яких необхідно створювати моделі транспортного попиту.

Використання найрозповсюдженіших у транспортному моделюванні синтетичних методів розрахунку МТК, фактично не забезпечує отримання адекватних результатів, про що зазначено в науковій праці [5], мета якої у визначенні попиту на пересування населення малих міст маршрутним пасажирським транспортом, на основі результатів суцільного обстеження всіх міських маршрутів табличним методом. В цій роботі автор створив підхід до формування загальноміської матриці кореспонденцій пасажирів, який засновується на повному обстеженні міських маршрутів табличним методом та призначений для маршрутних мереж малих міст.

Складність та навіть неможливість, у багатьох випадках, отримання даних про реальний транспортний попит викликала появу інтервальної концепції моделювання попиту [6], в рамках якої передбачається випадкова генерація декількох МТК, що відповідають всім відомим характеристикам попиту, таким як місткості ТР з прибуття та відправлення, відомі значення окремих кореспонденцій, функція розселення тощо. В рамках цієї концепції береться гіпотеза про те, що потреби у трудових пересуваннях носять випадковий характер і можуть бути описані не одною МТК, а їхньою сукупністю. Кожна матриця в ній — це один з можливих станів транспортного попиту. Діапазон їхньої зміни знаходиться в межах, котрим відповідають стани попиту з мінімальною та максимальною транспортною роботою, яка виконується в процесі пересування пасажирів по місту. На відміну від всіх інших моделей визначення МТК, концепція передбачає розрахунок оцінних показників, що визначають відмінності між матрицями сукупності [7] та забезпечує комплексну оцінку транспортного процесу. Генерація декількох МТК, як єдиної моделі транспортного попиту допомогла б у вирішенні низки проблем, пов'язаних зі створенням раціональної мережі громадського транспорту, маршрутів вантажного транспорту та інших питань регіонального планування.

Додаткові можливості інтервальної концепції зумовлені випадковим, з погляду транспортного інженера, характером транспортного попиту, який у процесі моделювання зазвичай має інформацію лише про параметри переміщень у транспортній системі. Будь-який з цих параметрів відображає лише видаткову частину переміщення, але не має нічого спільного з метою пересування людини чи переміщення вантажу. Це об'єктивно обмежує можливості аналітичних методів моделювання транспортного попиту та приводить до необхідності інтервального моделювання попиту, де він відображається декількома МТК, кожна з яких задовольняє всім відомим параметрам транспортної

системи. Але ця концепція ще не повністю забезпечена відповідним математичним апаратом і програмним забезпеченням, яке дозволяє гарантовано генерувати необхідну кількість випадкових МТК з урахуванням всієї відомої інформації, яка в такому випадку виступає як система обмежень.

В процесі генерації випадкових матриць, за наявності додаткових до місткостей ТР обмежень, виникає проблема неповного заповнення МТК за допомогою генератора ВЧ, що призводить до неадекватного відображення транспортного попиту. Зростання кількості додаткових обмежень, які дослідник вводить до МТК, може призводити до ситуацій, коли їхня випадкова генерація стає взагалі неможливою. А оскільки процес моделювання попиту потребує повних гарантій отримання бажаного результату, необхідно удосконалити методи випадкової генерації матриць задля точного відтворення транспортних зв'язків, властивих для об'єкта моделювання.

Найбільший розвиток інтервальна концепція отримала у сфері міських маршрутних перевезень пасажирів громадським транспортом, що пояснюється значною зацікавленістю органів місцевого самоврядування у вирішенні саме цього питання. Наприклад, у науковій праці [8] розроблені методика та програмне забезпечення формування матриці трудових кореспонденцій на основі закономірностей розселення міського населення, яка дозволяє за відомих місткостей ТР з відправлення та прибуття пасажирів, а також відомої функції розселення отримати матриці кореспонденцій, які їм відповідають. Закономірності розселення населення міст встановлені на основі просторового розташування зупиночних пунктів громадського транспорту, що, на відміну від відомих підходів, дозволило теоретично обґрунтувати можливість опису функції трудового розселення гамма-розподілом. Формування МТК відбувалося шляхом запуску генерації декілька разів. Для отримання бажаних матриць, автор вимушено навіть змінив алгоритм заповнення та генерував випадково лише частину матриці, а залишкова частина матриці заповнювалась цілеспрямовано, що означає втрату випадковості та різноманітності МТК в інтервальній моделі попиту.

Ці проблеми в генерації матриць обумовлені наявністю обмежень, які можуть суттєво ускладнити процес генерації, оскільки її випадковий характер не дозволяє передбачити наслідків призначення чергового елемента МТК, що часто призводить до ситуації, коли місткості ТР ще не вичерпані, але заповнити їх вже неможливо завдяки наявності системи додаткових обмежень. Такі складнощі виникають навіть у самих простих випадках, таких як заборона внутрішньорайонних кореспонденцій, наприклад. Для повноцінної реалізації інтервальної концепції моделювання попиту необхідно створити надійний метод генерації матриць кореспонденцій, який дозволить гарантовано імітувати нові матриці, без обмеження їхньої кількості в рамках одної системи обмежень.

Першим кроком на цьому шляху має стати пошук закономірностей у процесі інтервального моделювання попиту населення міст на пересування.

Постановка задачі дослідження

Матрицею транспортних кореспонденцій називається прямокутна таблиця, яка складається з n рядків та m стовпців, кожний осередок якої відображає кількість переміщень деякого об'єкта за заданий проміжок часу, між районами відправлення i та прибуття j . У МТК « i » позначає номер рядка та « j » — номер стовпця матриці. Найчастіше усього в транспортному плануванні використовуються квадратні МТК, в яких $n = m$. Для заповнення МТК будь-яким методом, обов'язковими вихідними даними завжди є місткості ТР з відправлення та прибуття об'єкта пересування. Ці значення можуть бути визначені відносно просто та з достатнім ступенем точності, інакше модель транспортного попиту створити буде неможливо. Але цього не можна стверджувати відносно значень власне кореспонденцій, кількість яких дорівнює множенню n на m . Виявити їхні справжні значення за допомогою обмежень дуже складно, враховуючи їхню кількість та випадковий характер, що завжди вимагає застосування деякої стратегії розподілу відомих місткостей ТР між осередками МТК з метою виконання умови

$$\sum_{j=1}^m h_{ij} = D_i; \quad \sum_{i=1}^n h_{ij} = A_j, \quad (1)$$

де n , m — кількість транспортних районів; h_{ij} — значення кореспонденції між районом відправлення i та районом прибуття j , пас; D_j — обсяг перевезення за відправленням, пас.; A_j — обсяг перевезень за прибуттям, пас.

Ці місткості можуть описувати різні пересування: пасажирів, різноманітних транспортних засобів, вантажів тощо. З погляду алгоритму заповнення матриці це неважливо, важливими є лише

власне значення цих обмежень. За відсутності інших обмежень, генерація (імітація) випадкових матриць не викликає складнощів. У разі імітаційного заповнення МТК на основі генерації випадкових чисел, максимальна випадковість процесу досягається за реалізації алгоритму, який полягає у випадковому виборі, між усіх доступних номерів, чергового осередку МТК для заповнення, з випадковими індексами i та j , та випадковому виборі значення цього осередку з інтервалу від нуля, до доступного на момент заповнення максимуму. Останній визначається як мінімальна величина з двох місткостей — з відправлення, для району i , та з прибуття для району j . Генерація обох випадкових значень виконується за допомогою прямокутного (рівномірного) розподілу. Після заповнення поточного осередку МТК, значення двох місткостей, з відправлення, для району i , та з прибуття для району j , зменшуються на величину згенерованого значення кореспонденції, та процедура повторюється допоки всі обмеження не будуть вичерпані.

Цей алгоритм працює без перешкод, коли для формування МТК використовуються лише місткості ТР з відправлення та прибуття. Але в транспортному плануванні частіше зустрічаються інші умови, для яких характерна наявність додаткових обмежень, таких як відома функція розселення населення міста або відомі значення окремих кореспонденцій, наприклад — матриці без внутрішньорайонних кореспонденцій, коли всі елементи головної діагоналі МТК дорівнюють 0, або рейсові матриці на міських маршрутах, коли доступними для заповнення є лише половина з усіх осередків МТК. Під час заповнення таких матриць виникають ситуації, коли описаний алгоритм до кінця не працює та виникають ситуації з неповним заповненням МТК. Необхідно з'ясувати причини цього явища, і на цій основі розробити відповідний алгоритм заповнення МТК за наявності додаткових обмежень на значення кореспонденцій.

Особливості заповнення МТК під час введення певної кількості обмежень

Розглянути особливості заповнення МТК під час введення додаткових обмежень доцільно на прикладі найпростішого варіанта генерації матриці, який не забезпечує повного рівня випадковості, але є зрозумілішим, саме завдяки зменшенню рівня випадковості результату. Він передбачає випадковий вибір лише номера чергового осередку МТК для заповнення, а значення кореспонденції в осередку береться, без розіграшу, рівним мінімуму з місткостей відповідних ТР. На рис. 1 показаний приклад повністю заповненої таким чином МТК, розміром $n = m = 10$. Послідовність її заповнення подана в табл. 1, разом зі згенерованими випадковими числами та значеннями транспортних кореспонденцій.

$h_i \backslash h_j$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	D_i
1	0	0	0	0	0	75	0	0	0	0	75
2	0	0	25	100	25	0	0	0	0	0	150
3	0	75	0	0	25	0	25	0	0	0	125
4	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	100
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	50
6	0	0	0	0	50	0	0	30	0	0	80
7	0	0	0	0	0	0	0	120	0	0	120
8	0	0	100	0	0	0	0	0	50	0	150
9	0	0	0	0	0	0	50	0	0	0	50
10	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
A_j	100	75	125	100	100	175	75	150	50	50	1000
	1000										ІСТИНА

Рис. 1. Приклад заповненої матриці за допомогою генерації випадкового номера кореспонденції

Отримана матриця заповнена повністю, тобто всі місткості ТР розподілені по матриці, що означає відображення транспортного попиту в ній у повному обсязі. Відсутність додаткових обмежень в матриці не викликає складнощів у її заповненні.

Введення до МТК обмежень, які в більшості випадків зводяться до заборони заповнення певної кількості клітинок в матриці, викликає те, що на останніх етапах генерації залишкові місткості ТР з відправлення та прибуття можуть бути розподілені лише між закритих клітинок матриці. Саме через це виникає проблема повного заповнення і збереження закономірності рівності розподілених обсягів по матриці.

На рис. 2 подано приклад випадкового заповнення матриці, в якій обмеження забороняють використовувати виділені жовтим кольором клітинки. Випадковий порядок заповнення матриці привів до того, що єдиною можливістю для повного розподілу місткостей ТР є клітинка h_{99} .

Таблиця 1 За невеликої кількості обмежень, що до- сить часто зустрічається в транспортному плануванні, до прикладу, заборона внутріш- ньорайонних кореспонденцій, які розташовані на головній діагоналі матриці, цю проблему можна усунути достатньо просто. Для цього доцільно доповнити процедуру формування МТК, ще одним етапом, який дозволить пере- розподілити значення кореспонденцій таким чином, щоби подолати наявні обмеження. Тобто, після першого етапу генерації на осно- ві випадкових послідовності номерів кліти- нок, що заповнюються, коли всі можливості для використання незаборонених клітинок вичерпані, а місткості ТР з прибуття та відп- равлення — ще ні, необхідно провести другий етап розподілу обсягів, які залишилися нероз- поділені по МТК за допомогою замкнутих циклів. Ці цикли добре відомі з методу розв’язання транспортної задачі, вони дозво- ляють переміщувати значення кореспонден- цій між клітинками, не змінюючи місткостей ТР, до яких вони відносяться.

Результати заповнення матриці за допомогою генерації ВЧ

Згенеровані випадкові числа	Номер		Значення кореспонденції
	рядка, i	стовпця, j	
36	4	6	100
22	3	2	75
6	1	6	75
50	5	10	50
91	10	1	100
68	7	8	120
87	9	7	50
14	2	4	100
79	8	9	50
58	6	8	30
27	3	7	25
73	8	3	100
55	6	5	50
13	2	3	25
15	2	5	25
25	3	5	25

$h_i \backslash h_j$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	D_i
1			0	0	0	50	25	0	0		75
2				0	0	0	0	150		0	150
3	0				0	125	0		0	0	125
4	100	0				0		0	0	0	100
5	0	0	0				50	0	0	0	50
6	0	0	80	0				0	0	0	80
7	0	75	45		0				0	0	120
8	0	0		100	0	0				50	150
9	0		0	0	0	0	0				0
10		0	0	0	100	0	0	0			100
A_j	100	75	125	100	100	175	75	150	0	50	ХИБНІСТЬ
950											

Рис. 2. Заповнення матриці з певною кількістю обмежень

В цьому випадку, для реалізації переміщення кореспонденцій по циклу, нерозподілений обсяг відправлень слід вважати існуючим. Для показаного на рис. 2 прикладу значення забороненої для заповнення кореспонденції h_{99} дорівнює 50 одиницям. Для нього в матриці необхідно знайти інші обсяги, завдяки яким можна перерозподілити його в матриці шляхом перенесення по циклу. Це має бути ненульова кореспонденція з величиною більшою або рівною нерозподіленому по матриці значенню, номери рядка та стовпчика якої не збігаються з відповідними номерами забороненої клітинки h_{99} . У розглянутому прикладі цим умовам відповідає декілька клітинок, з яких можна вибрати будь-яку. Хай це буде h_{57} , яка дозволяє створити простий замкнутий цикл з чотирьох клітинок та перенести 50 одиниць до нових клітинок у циклі (рис. 3).



Рис. 3. Приклад проведення другого етапу формування МТК

Після проведення такої операції всі вихідні місткості ТР розподіляються по матриці, і процес її формування успішно закінчується (рис. 4).

Але шлях вирішення проблеми неповного заповнення випадкових МТК за допомогою замкнених циклів не є універсальним і остаточним, адже він добре працює за умови не дуже значної частки заборонених клітинок та невеликої розмірності самої матриці. Зі збільшенням частин, заборонених для заповнення клітинок частини матриці, не розподілені місткості зростають, а виконання другого етапу формування МТК ускладнюється і швидко стає неможливим, через відсутність у багатьох випадках клітинок, які підходять для створення відповідних циклів.

$h_i \backslash h_j$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	D_i
1			0	0	0	50	25	0	0		75
2				0	0	0	0	150		0	150
3	0				0	125	0		0	0	125
4	100	0				0		0	0	0	100
5	0	0	0				0	0	50	0	50
6	0	0	80	0				0	0	0	80
7	0	75	45		0				0	0	120
8	0	0		100	0	0				50	150
9	0		0	0	0	0	50				50
10		0	0	0	100	0	0	0			100
A_j	100	75	125	100	100	175	75	150	50	50	ІСТИНА
	1000										

Рис. 4. Заповнення матриці після виконання другого етапу генерації

Окрім цього, кожний спрямований перерозподіл кореспонденцій між клітинками матриці позбавляє її деякої частини випадковості. Тому, зі зростанням розмірності матриці та відповідним збільшенням замкнутих циклів перерозподілу, рівень випадковості остаточної матриці буде значно меншим порівняно з МТК, згенерованої на першому етапі, а сама матриця стає суттєво залежною від вибраного алгоритму відбору клітинок до циклу.

Заповнення МТК новим методом реалізації інтервальної концепції

Забезпечення випадкового характеру МТК є дуже важливою вимогою в інтервальної концепції моделювання транспортного попиту, а вимоги щодо максимальної розмірності матриці за попередньою оцінкою знаходяться на рівні 20...30 ТР. Це робить метод остаточного формування матриці, за допомогою відомого засобу зміни матриць шляхом переносу кореспонденцій по замкненим циклам, вельми обмеженим для використання. Для повного подолання описаної вище проблеми необхідно створити інший, новий метод генерації матриць, який гарантовано забезпечить створення нових МТК, за всіх відомих додаткових обмежень, будь-яких розмірів матриці та без суттєвої втрати її випадкового характеру.

З цією метою доцільно скористатися здатністю базового методу забезпечувати повне заповнення матриць за відсутності інших обмежень, окрім місткостей ТР з прибуття та відправлення об'єкта пересування. При цьому процедуру виконання додаткових обмежень, варто відокремити від процедури імітації значень кореспонденцій та забезпечувати їхнє дотримання вже після заповнення всієї МТК. Тобто в новому методі генерації, МТК 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 є найрозповсюдженішим видом обмежень. Ці значення можна вважати нульовими, оскільки у випадку ненульових, заздалегідь відомих значень кореспонденцій, коректним є виділення їх в окрему матрицю та формування моделі попиту як суми двох МТК — випадкової та заданої, заздалегідь відомої.

Після видалення з матриці заборонених для заповнення кореспонденцій, у випадковій МТК залишаються лише ті з кореспонденцій, які не попадають під обмеження, що й вимагається в підсумку. Але ж місткості ТР після цієї операції залишаються не до кінця вичерпаними, оскільки частину кореспонденцій видалено з матриці, а деякі з них у загальному випадку мали ненульові значення. З цих, ненульових значень видалених кореспонденцій формуються нові місткості ТР, як залишок від попередніх місткостей та місткостей МТК, очищеної від зайвих значень задля виконання обмежень

$$|A_{k+1}| = |A_{k-1}| - |A_k|; \quad |D_{k+1}| = |D_{k-1}| - |D_k|, \quad (2)$$

де $|A_k|$, $|D_k|$ — відповідно матриці-вектори з місткостей ТР з відправлення та прибуття на k -му кроці моделювання попиту, $k \geq 1$.

На першому кроці моделювання, коли $k = 1$, значення $|A_0|$ та $|D_0|$ відображають початкові місткості ТР з відправлення та прибуття, які є вихідними даними для моделювання. Ці початкові місткості мають бути повністю вичерпаними по закінченню процесу формування підсумкової випадкової МТК. Вона у цьому методі є сумою всіх МТК, згенерованих за залишковими місткостями до досягнення нульових векторів відправлення та прибуття

$$K = k, \text{ якщо } |A_{k+1}| = |D_{k+1}| = 0, \quad (3)$$

де K — випадкова кількість кроків на шляху імітації підсумкової випадкової МТК за новим методом, од.

Таким чином цей метод дозволяє вирішити проблему невідомого заздалегідь результату генерації матриць, яка призводить до негативних результатів за появи додаткових обмежень на стан МТК та гарантовано отримувати задану кількість випадкових матриць, достатню для реалізації інтервальної концепції моделювання попиту. Він не залежить від розмірності МТК та реальної кількості обмежень, але залишає питання щодо відповідності між результатами випадкової генерації МТК у чистому вигляді, без обмежень, та аналогічними результатами, отриманими за допомогою нового методу.

В обох випадках базою для імітації матриць виступає описаний раніше метод подвійної генерації, де на першому кроці випадково визначається поточний номер клітинки МТК, на другому — ця клітинка заповнюється кореспонденцією, шляхом доповнення її поточного значення новою випадковою величиною. Обидва методи імітації МТК, базовий та новий, формують у підсумку випадкові матриці, кожна клітинка в яких містить випадкову величину. Але ж отримані в такі способи кореспонденції є різними випадковими величинами, оскільки методи їхньої генерації помітно відрізняються між собою. Для розуміння можливостей застосування нового методу генерації матриць у разі реалізації інтервальної концепції моделювання транспортного попиту, у подальшому необхідно оцінити цю різницю між кореспонденціями та розробити рекомендації щодо його використання.

Висновки

Процес генерації матриць у рамках інтервальної концепції моделювання попиту має забезпечувати якомога більший рівень випадковості результатів генерації задля забезпечення максимально широкого охоплення можливих станів попиту в межах відомих обмежень. За умови відсутності додаткових, до місткостей транспортних районів, обмежень на формування матриці, розподіл цих місткостей між кореспонденціями відбувається за допомогою генерації випадкових чисел, які визначають номери чергових клітинок матриці та поточне значення кореспонденції. При цьому гарантується повний розподіл місткостей, а рівень випадковості матриці є максимальним. Але необхідність врахування додаткових обмежень в розрахунку матриць призводить до того, що цей випадковий процес не завжди закінчується бажаним результатом.

За невеликих розмірів матриці та незначної кількості наявних обмежень, процес генерації МТК може бути доповнений етапом перерозподілу неврахованих місткостей між забороненими та незабороненими для заповнення клітинками матриці за допомогою їхнього переміщення по замкнутих циклах за аналогією з відомим методом розв'язання транспортної задачі.

У складніших випадках потрібно використовувати інший, новий метод послідовної генерації випадкових матриць транспортного попиту, який дозволяє гарантовано отримувати задану кількість випадкових матриць, достатню для реалізації інтервальної концепції моделювання попиту. Задля доведення цього методу до практичного застосування необхідно оцінити різницю між матрицями, отриманими випадковим чином без додаткових обмежень та новим методом, а також реалізувати його у програмному вигляді.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Я. А. Селиверстов, и С. А. Селиверстов, «Методы и модели построения матриц транспортных корреспонденций,» *Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление*, № 2-3 (217-222), с. 49-70, 2015.
- [2] S. Afandizadeh Zargari, A. Memarnejad, and H. Mirzahosseini, *Hourly Origin-Destination Matrix Estimation Using Intelligent Transportation Systems Data and Deep Learning*, 2021.
- [3] E. S. Park, L. R. Rilett, and C. H. Spiegelman, "A Markov Chain Monte Carlo-Based Origin Destination Matrix Estimator that is Robust to Imperfect Intelligent Transportation Systems Data," *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 2008.
- [4] K. Shamsigul, K. Rustam, and A. Perizat, "Methods for creating Intelligent transportation systems using dynamic microlevel model of the city based on a qualitative correspondence matrix," in *ICEMIS'20: Proceedings of the 6th International Conference on Engineering & MIS 2020*. Article no. 78, 2020.
- [5] С. В. Любий, «Визначення попиту на пересування населення малих міст маршрутним пасажирським транспортом.» дис. канд. техн. наук, 05.22.01, Харків, Україна, 2012, 191 с.
- [6] П. Ф. Горбачов, «Концепція формування систем маршрутного пасажирського транспорту в містах.» дис. д-ра техн. наук, 05.22.01, Харків, Україна, 2009, 370 с.
- [7] С. В. Любий, і О. С. Колій, «Оцінка точності синтетичних моделей розрахунку пасажирських кореспонденцій на прикладі малих міст,» *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*, с. 98-106, 2019.

- [8] С. В. Свічинський, «Формування функцій розселення міського населення для визначення потреб у перевезеннях громадським транспортом.» дис. канд. техн. наук, спец. 05.22.01, Харків, Україна, 2015, 225 с.
- [9] П. Ф. Горбачев, і Н. В. Мосьпан, «Імітаційна модель обслуговування разових замовлень на міжміські вантажопереваження.» *Вестник ХНАДУ*, № 76, с. 32-39, 2017.
- [10] А. А. Кочина, «Формування пасажиропотоків у приміському сполученні на автомобільному транспорті.» дис. канд. техн. наук, 05.22., Харків. нац. автомоб.-дор. ун-т. Харків, Україна: Стиль-издат, 2020, 20 с.
- [11] Міністерство транспорту України, Наказ «Про затвердження Порядку і умов організації перевезень пасажирів та багажу автомобільним транспортом». [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1282-13#Text..>
- [12] T. J. Fratar, "Vehicular Trip Distribution by Successive Approximation," *Traffic Quarterly*, № 8, pp. 53-65, 1954.
- [13] J. D. Ortuzar, and L. G. Willumsen, *Modelling Transport*, Fourth Ed. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2011, 586 p.
- [14] J. de D. Ortuzar, and L. G. Willumsen, *Modelling transport*, Third Ed. Chichester: John Wiley & Sons Ltd., 2006, 499 p.

Рекомендована кафедрою автомобілів та транспортного менеджменту ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 27.10.2022

Івахнік Владислав Станіславович — аспірант кафедри транспортних систем і логістики, e-mail: vlad.ivakhnik96@gmail.com.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків

V. S. Ivakhnik¹

A New Method for Implementing the Interval Concept of Transport Demand Modeling

¹Kharkiv National Automobile and Highway University

The article examines the peculiarities of the OD-matrix generation within the framework of the interval concept of transport demand modeling, which consist in the absence of guarantees of successful distribution of known departure and arrival capacities of transport districts of the transportation object among the matrix cells, in the presence of additional, to capacities, restrictions. The possibilities of full distribution of demand on the OD-matrix in the presence of such restrictions are analyzed and two methods to overcome the existing problem are proposed. For a small number of restrictions, a two-stage matrix filling algorithm is formed. The first stage consists in the usual distribution of transport demand volumes using a random number generator, the second is in the redistribution to open cells of those values that fell into closed matrix cells using closed cycles known from the transport task. For a significant number of restrictions that arise when modeling matrices of route correspondences, or in other cases in which the modeling of transport demand using closed loops becomes impossible, has been created a new method of implementing the interval concept of demand modeling. It is based on repeated use of the basic method of distribution of transport demand without restrictions, which always leads to a complete distribution of capacities according to the OD-matrix. Restrictions imposed on the matrix are taken into account by removing from its current instance those values that are subject to restrictions. The deleted values form the conditions for the generation of the next instance of the matrix until all the departure and arrival capacities of the transport districts are distributed among such matrices. The final matrix is the sum of all the intermediate matrices created in this way. This method of forming OD-matrices allows guarantying a positive result of the generation of random matrices with restrictions and to ensure the full implementation of the interval concept of transport demand modeling.

Keywords: demand model, interval concept, matrix; correspondence, transport district.

Ivakhnik Vladyslav S. — Post-Graduate Student of the Chair of Transport Systems and Logistics, e-mail: vlad.ivakhnik96@gmail.com