

УДК 65.011.56

*В статті відображено розвиток нового підходу в моделюванні попиту на перевезення до туристичних міст, який поєднує поведінкову модель попиту на перевезення і модель прямого попиту. Він об'єднує теорію дискретного вибору і багатofакторний нечіткий аналіз*

*Ключові слова: багатofакторний аналіз, теорія нечітких множин, прогнозування попиту на перевезення*

*В статье отобразено развитие нового подхода к моделированию спроса на перевозки к туристическим городам, который соединяет поведенческую модель спроса на перевозки и модель прямого спроса. Он объединяет теорию дискретного выбора и многофакторный нечеткий анализ*

*Ключевые слова: многофакторный анализ, теория нечетких множеств, прогнозирование спроса на перевозки*

*In work is represented improvement of new approach in tourist travel demand modeling, which combines behavioral travel demand model and direct demand model. This approach combines discrete choice theory and multifactorial fuzzy analysis*

*Key words: multifactorial analysis, fuzzy set theory, transportation demand predicting*

# БАГАТОФАКТОРНИЙ НЕЧІТКИЙ АНАЛІЗ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ПОПИТУ НА ПЕРЕВЕЗЕННЯ ДО ТУРИСТИЧНИХ МІСТ

**А.Б. Білоус**

Кандидат технічних наук, доцент\*

Контактний тел.: 050-802-41-16

E-mail: andrij.bilous@gmail.com

**І.А. Могила**

Аспірант\*

Контактний тел.: 063-394-60-94

E-mail: yorko@ukr.net

\*Кафедра транспортних технологій

Національний університет «Львівська політехніка»  
вул. Степана Бандери, 12, м. Львів, Україна, 79013

## 1. Вступ

В сучасних умовах розвитку транспортної галузі важливим є будівництво, реконструкція та ремонт доріг, зважаючи на об'єктивні показники транспортних потоків. Існує гостра необхідність розробки простої, зручної і відносно недорогої методики визначення обсягів пасажирських (а відповідно і транспортних) потоків для оцінки потрібних параметрів доріг. Відомі моделі вимагають великої кількості реальних детальних даних про використання територій і соціо-економічні характеристики споживачів. В роботі запропоновано ввести в існуючі моделі попиту на перевезення елементи теорії нечітких множин, що дозволить розширити кількість факторів, які включаються в модель і значно скоротити бюджет проектів з дослідження пасажирських потоків.

## 2. Постановка проблеми у загальному вигляді

Основним результатом процесу транспортного планування, так само як і оцінкою транспортного проекту є користь, яку отримує споживач, на якого був націлений проект. Таким чином дані попиту на перевезення, а також модель прогнозування попиту на перевезення є ключовими у всьому процесі. Базою для будь-якого

процесу транспортного планування є модель прогнозу попиту на перевезення, яка також називається розрахунком матриць походження-призначення (П-Пр), що в першу чергу цікавить транспортних інженерів перед проведенням яких-небудь транспортних досліджень і проектів.

Існує багато моделей, придатних для передбачення попиту на перевезення. Вони поділяються за двома критеріями, перший з яких це кількість споживачів, яку враховує модель і другий – дані, використані в моделі (рис. 1). В залежності від кількості врахованих споживачів є два класи моделей. Перший називається узагальненим або моделі першого покоління, які також можуть називатись моделями зонального рівня. Моделі першого покоління репрезентують поведінку більш як одного споживача, а точніше «середнього» споживача. До другого класу відносяться деталізовані моделі або моделі другого покоління, які іноді відносять до поведінкового підходу. Ці моделі намагаються представити поведінку кожного споживача зокрема [14].

Моделі першого покоління були піддані критиці як такі, що позбавлені поведінкової основи [13], але вони досі використовуються в багатьох дослідженнях, особливо в країнах, які розвиваються [19]. Зокрема в [14] зазначено, що ніяка модель не забезпечує закінченого підходу до всіх ситуацій. Це твердження призвело до

суперечки, в яких випадках кращим буде застосування деталізованого чи узагальненого підходу. Більш того, в огляді національних транспортних моделей з'ясувалось, що застосування узагальненої моделі у Великобританії є успішнішим, ніж застосування деталізованих моделей в інших країнах Європи [12].

В залежності від використаних даних моделі також поділяються на два класи. До першого відносяться стандартні моделі. В цьому класі джерелом даних, які застосовуються в транспортному плануванні є головним чином результати опитувань різних видів. До другого класу відносяться нетрадиційні моделі, які також називаються спрощені або експрес моделі визначення попиту на перевезення. Нетрадиційні моделі використовують в більшості доступні готові дані, такі як обсяги транспортних потоків і соціально-економічні дані, їх головною перевагою є зниження вартості та уникнення інших проблем, що присутні в стандартних моделях. Застосування нетрадиційних моделей попиту на перевезення відбувається в основному на узагальненому рівні. Більш того нетрадиційні моделі можуть бути поділені на дві різні групи в залежності від використаних в них методик. До першої групи відносяться моделі, в яких матриці П-Пр отримуються синтезом досліджених потоків на ділянках мережі (також називаються моделі готових потоків), до другої відносяться гравітаційні моделі кореспонденції поїздок, моделі прямого попиту і т.п. [6, 7, 18].

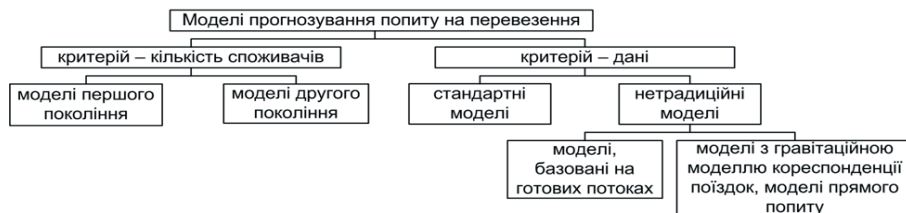


Рис. 1. Класифікація моделей прогнозування попиту на перевезення

### 3. Аналіз останніх досліджень і публікацій

В цій роботі розглядається одна із спрощених (нетрадиційних) моделей, які є моделями прямого попиту або синхронними моделями. Моделі прямого попиту як одні з нетрадиційних моделей мають практичні переваги, оскільки вони використовують доступні готові дані і підходять для швидкого застосування. Ця модель також має потенціал поєднання з моделями готових потоків. Головною критикою в адрес цих моделей є те, що вони вимагають велику кількість параметрів і, теоретично, вони важкі для опису, тобто ґрунтуються на методиках статистичного моделювання [13, 14]. Іншим недоліком є те, що моделі прямого попиту не можуть включати якісні змінні, наприклад рівень сервісу.

З другого боку моделі другого покоління, які мають поведінкову основу, можуть мати наступні негативні сторони:

- моделі можуть бути непридатними для країн, які розвиваються в багатьох випадках, оскільки потребують значних вхідних даних [19]. Моделі також потребують від того, хто здійснює аналіз високого рівня статистичних і економетричних знань [14];

- моделі не можуть розрахувати кількість потенційних споживачів на перевезення зони походження (генерування поїздок). За звичай вважається, що така інформація задана і має бути отримана з інших моделей: моделі розміщення житлової забудови, моделі зайнятості і т.д. [13];

- інженер повинен знайти вірний метод для узагальнених результатів моделі так як в багатьох випадках індикатори попиту і потужностей транспортних елементів повинні бути забезпечені на узагальненому рівні, і також багато моделей не придатні для прогнозування, інколи тому, що дані попиту в моделі не можуть бути коректно прогнозовані [14].

### 4. Постановка задачі досліджень

В цій роботі модель прямого попиту модифікується шляхом підведення під неї поведінкової основи для прогнозування перевезень до туристичних міст. Використана поведінкова основа подібна до тієї, яка використовується в деталізованих моделях, що розглядають попит на перевезення як результат процесу прийняття рішень. Головною відмінністю є те, що багатофакторний нечіткий аналіз застосовується в розробці детермінованої частини функції корисності.

Запропонований підхід також компонує дві різні теорії в моделюванні індивідуального вибору, а саме теорію дискретного вибору (базується на теорії ймовірності) і багатофакторний нечіткий аналіз (базується на теорії нечітких множин), які до цього часу застосовувались окремо. Теорія нечітких множин застосовувалась в проблемах вибору транспорту з різними підходами. Наприклад, в [16] нечітка методика застосовувалась для визначення часток потоків, які використовують окремі маршрути в задачі поведінкового вибору маршруту. В [17] представлено нечітку модель в задачі розподілу потоків на мережі, щоб більш реалістично відтворити прийняття рішення здійснюючих поїздку.

Відповідно до [21] теорія нечітких множин і теорія ймовірностей не є взаємозамінними, а навпаки вони доповнюють одна одну. Досліджено, що теорія нечітких множин ймовірніше більш придатна до різних ситуацій, які вимагають підгонки теорії до існуючих обставин для створення відповідного інструменту моделювання, в той же час теорія ймовірності є добре розвинутою і одночасно спрямованою на те, що стосується операцій і структури.

В [4] зазначено, що ймовірність це шлях до неповної інформації про зовнішнє середовище, яке оточує людей і вона не охоплює неточності в людській поведінці. З іншої сторони теорія нечітких множин є прекрасним засобом для моделювання індивідуальності людської поведінки. Тоді було припущено, що хороший інструмент визначення прийнятого рішення буде брати до уваги людську індивідуальність, навіть коли він буде оперувати тільки об'єктивними ймовірнісними одиницями виміру.

Повсякденним явищем для людей є процес вибору чогось (серед кількох альтернатив або пропозицій) або процес сортування альтернатив за якимось критерієм. У сфері прийняття рішень задачі в більшості вирішуються з використанням методу багатofакторного аналізу величин [4]. Метод широко використовувався і ефективно впроваджувався в розв'язанні задач з точними даними в багатьох сферах. Наприклад, багатofакторний аналіз використовувався для ряду проєктів міських транспортних систем [10].

В будь-якому процесі прийняття рішень звичайним є те, що один або більше критеріїв є неточними, серед яких можуть бути не кількісна інформація (наприклад, безпека, комфорт і т.п.), неточна інформація (наприклад, швидкість, така як «біля 100 км/год., і т.п.), недоступна інформація (наприклад, дуже секретна інформація, дані високої вартості і т.п.) і частково невідома інформація (наприклад, лише частина фактів) [4]. З використанням теорії нечітких множин у багатofакторному аналізі стало можливим включити критерії невизначеності, суб'єктивності і якості в процес прийняття рішення. Багатofакторний нечіткий аналіз також широко застосовувався, наприклад для оцінки продуктивності автобусних перевізників [20] і для оцінки впливу транспортних потоків на оточуюче середовище [11].

Задача багатofакторного аналізу може бути виражена в матричній формі, за допомогою так званої матриці рішень. Наприклад, суб'єкт  $H$  повинен прийняти рішення, тоді формується матриця  $H$ , де повинні бути альтернативи/варіанти  $A_l$  ( $l=1,2,3,\dots,s$ ) по вертикалі і критерії  $X_m$  ( $m=1,2,3,\dots,p$ ) по горизонталі. Матриця містить величини  $x_{lm}$ , які оцінюють альтернативу  $A_l$  по відношенню до критерію  $X_m$ :

$$H = \begin{matrix} & \begin{matrix} X_1 & X_2 & \dots & X_p \end{matrix} \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \dots \\ A_s \end{matrix} & \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1p} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2p} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{s1} & x_{s2} & \dots & x_{sp} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Альтернативи у багатofакторному аналізі успішно оцінюються за допомогою багатьох методів [8]. Включення нечітких величин для опису деяких атрибутів в класичному методі розширило його до багатofакторного нечіткого аналізу.

Перед формуванням матриці рішень і перед встановленням значень для кожної альтернативи  $A_l$  відповідно до атрибутів, необхідно виконати кілька кроків: визначити атрибути, нечіткі атрибути  $X_m$  і вагу атрибутів. По відношенню до транспорту атрибути можуть включати рівень обслуговування транспортної системи і соціально-економічні характеристики здійснюючих поїздки. Можливим є також включення до атрибуту підатрибутів, наприклад, рівень обслуговування маршрутів як атрибут вибору місця призначення звичайно складається з довжини маршруту, складності дороги і т.п. В роботі з нечіткими атрибутами присутні два функціональні кроки: конвертування лінгвістичних термінів до нечітких величин і призначення точних значень нечіткій величині.

В [4] було запропоновано вісім шкал конвертації для переведення лінгвістичних термінів в нечіткі ве-

личини, використання кожної шкали залежить від загальної кількості лінгвістичних термінів. Там же зазначено, що у випадку, коли особі, яка приймає рішення відома задача рішення, детальна конвертація буде дуже доречною.

Нечіткі величини прикріплюються до конкретних значень за методом, описаним в [4], який базується на припущенні, що точне значення для нечіткої величини може бути знайдено методикою максимізації множини  $\mu_{\max}(x)$  і мінімізації множини  $\mu_{\min}(x)$ . Після цього кроку прийняття рішення може бути виконане за допомогою будь-яких методів багатofакторного аналізу, оскільки матриця рішень містить лише точні дані. Вага атрибуту, чисельна міра відносної важливості критеріїв у визначенні множини альтернатив є важливою частиною багатofакторного нечіткого аналізу. Вона може бути знайдена за допомогою багатьох методів таких як максимізація ентропії або використанням процесу аналітичної ієрархії. У випадку наявності підатрибутів, вага кожного з них повинна бути також визначеною.

В якості ваги атрибуту застосовується коефіцієнт кореляції  $r_m$  між атрибутом і обстеженим попитом на перевезення поділений на суму коефіцієнтів кореляції  $r_m$ . З такого визначення очевидно, що загальна вага атрибутів для альтернативи рівна 1. Так як коефіцієнт кореляції  $r_m$  показує близькість двох змінних, то відповідно чим більшим він буде, тим більшим буде вага атрибуту в матриці рішень.

$$w_m = \frac{|r_m|}{\sum_{m=1}^p |r_m|}, \quad \sum_{m=1}^p w_m = 1. \tag{1}$$

Для розрахунку чисельних значень кожної альтернативи по відношенню до всіх атрибутів в матриці рішень використовувалась наступна формула:

$$C_l = \sum_{m=1}^p \left( \left( \frac{x_{lm}}{\max x_{lm}} \right)^{w_m} \right), \quad l=1,2,\dots,s, \quad m=1,2,\dots,p \tag{2}$$

В цій формулі вибрані атрибути в матриці рішень спочатку нормалізуються максимальною величиною  $\max x_{lm}$  кожного атрибуту (таким чином вони стають співрозмірними і зміни атрибуту для альтернативи не вплинуть на інші альтернативи). Ці величини підносяться до степеня їх ваг атрибутів. Наприклад, при коефіцієнтах кореляції: -0,2; 0,3 і 0,3 – ваги атрибутів будуть відповідно -0,25; 0,375 і 0,375.

Моделі прямого попиту подібні до основних економічних моделей попиту. Застосування цих моделей викликане необхідністю уникнення кількох недоліків традиційної чотирьохетапної моделі попиту на перевезення (застосовується в моделях першого покоління). Привабливість моделей прямого попиту полягає у їх здатності одночасно досліджувати генерацію поїздок, кореспонденцію поїздок і вибір типу пересування, включаючи атрибути типів пересування та широкий набір змінних по рівню обслуговування і діяльності населення. Моделі прямого попиту головним чином спрямовані на міжміські задачі з рідким застосуванням, оскільки ці моделі добре підходять для аналізу попиту при великих розмірах транспортних зон. В [15] зроблено одне з найбільших досліджень в моделях прямого попиту, яке називається попит абстрактного типу пересувань. Застосування кількох моделей різної

форми для міжміських задач показали, що модель прямого попиту дає кращий результат, ніж гравітаційна модель [14]. Загальною формою моделі прямого попиту є лінійна або квазілінійна регресія:

$$T_{ijmr} = \alpha_{ijmr} \prod X_{ijmr}^k \beta_{ijmr}^k, \quad \forall i, j, m, r, \quad (3)$$

де  $T_{ijmr}$  - обсяг перевезень з місця походження  $i$  до місця призначення  $j$  використовуючи тип пересування  $m$  за маршрутом  $r$ ;  $\alpha_{ijmr}$ ,  $\beta_{ijmr}$  - параметри калібрування,  $X_{ijmr}^k$  - різні атрибути зон попиту, призначення, типів пересування і маршрутів [13].

Моделі другого покоління базуються на точному принципі людської поведінки; вони розглядають попит на перевезення як результат процесу прийняття рішень споживачами. В даній моделі є два основних припущення:

- перше, вважається, що споживачі оберуть визначену альтернативу (тобто рішення про пересування, або визначений пункт призначення, тип пересування, або маршрут, або комбінацію цих елементів) зважаючи на величину переваги (корисності), яку вони отримають від альтернативи або комбінації альтернатив з максимальною вигідністю;

- друге, що споживач здатний оцінити перевагу (корисність), але інженер має неповну інформацію, тому повинна враховуватись неточність.

Щоб врахувати цих два головних припущення, функція корисності  $U_{hl}$  в цій моделі повинна включати дві частини – детерміновану частину  $V_{hl}$  і випадкову частину  $\epsilon_{hl}$ .

$$U_{hl} = V_{hl} + \epsilon_{hl}. \quad (4)$$

$U_{hl}$  більш точно описує корисність особи  $h$  щодо альтернативи  $l$  в множині рішень  $C_i$ . Лінійність в параметрах функції детермінованої частини вигідності записується як

$$V_{hl} = \sum_k \beta_k X_{hlk}, \quad (5)$$

де  $X_{hlk}$  представляє собою атрибути альтернативи, які означають соціально-економічні характеристики і рівень обслуговування.

В [13] зауважено, що невизначеність, виражена випадковою частиною корисності може походити від неповного обстеження або неможливості виміру атрибутів альтернатив (наприклад, «сила традицій»), або помилок у вимірюванні включених атрибутів. Для охоплення невизначеності деталізовані моделі повинні передбачати ймовірнісний розподіл вектору похибок функції корисності. Існує два сімейства деталізованих моделей, які ґрунтуються на цьому припущенні. Перше називається логіт (одиниця логістичної ймовірності) сімейство, в ньому вектор похибок є незалежним і розподілений за розподілом Гумболя. Друге називається пробіт сімейство, в якому вектор похибок нормально розподілений. Таким чином теорія головним чином зосереджена на передбаченні ймовірності вибору споживачем альтернативи з наявної множини рішень. Повністю ця теорія пізніше отримала назву теорії випадкової корисності або теорії дискретного вибору, яка ґрунтується на правилах детермінованих

рішень, в яких корисності представлені випадковими змінними [1, 2, 13].

В цій роботі застосована структура деталізованих моделей, але детермінована частина функції корисності досліджена на узагальненому рівні. Використання узагальнених даних в методі дискретного вибору може бути зв'язком між деталізованими і узагальненими моделями. Як в будь-якій узагальненій моделі цей підхід передбачає, що здійснюючі поїздки в певній транспортній зоні мають подібні соціально-економічні характеристики, тобто, їх поведінка відносно пересування буде також подібною і буде залежати від узагальнених соціально-економічних характеристик транспортної зони. З іншого боку, множина варіантів також узагальнена до рівня зон, в яких привабливість зони представлена узагальненими соціально-економічними характеристиками зон призначення.

Таким чином, соціально-економічні характеристики зони походження і соціально-економічні характеристики множини варіантів (зони призначення) визначають рішення щодо пересування. Приймаючи до уваги те, що соціально-економічні характеристики впливають на рішення про пересування лінійно, тоді поїздка від зони походження до зони призначення є функцією потужності генерації поїздок в кожній зоні  $V_i$  і привабливості зони  $V_{ij}$ . Багатофакторний нечіткий аналіз застосовується для визначення величин  $V_i$  і  $V_{ij}$ .

Так як всі споживачі в зоні походження  $i$  мають одну й ту ж характеристику  $V_i$ , тоді ймовірність обрання зони призначення буде залежати лише від її привабливості  $V_{ij}$ . Беручи до уваги випадкову складову (вектор похибок) для врахування невизначеностей, корисність, яку отримує споживач в зоні походження  $i$ , обравши альтернативу  $j$  у виборі призначення  $C_j$  має таку ж саму форму як (2).

Беручи до уваги, що вектор похибок є незалежним і однозначно розподіленим за розподілом Гумбеля, ймовірність обрання споживачем в зоні  $i$  призначення  $j$  в множині варіантів  $C_j$  буде рівна:

$$P_{ij} = \frac{e^{\beta_d V_{ij}}}{\sum_{j=1}^J e^{\beta_d V_{ij}}}. \quad (6)$$

Дана залежність більш відома як мультиноміальна логістична модель ( $\beta_d$  - параметр варіанту призначення). Опис мультиноміальної логістичної моделі добре описано в [1, 2, 13, 14].

При заданих величинах привабливості зони очікувані отримані корисності  $W_i$  пересування із зони  $i$  [13]:

$$W_i = \frac{1}{\beta_d} \ln \sum_{j=1}^J e^{\beta_d V_{ij}}. \quad (7)$$

Таким чином ймовірність людей в зоні  $i$  вирішитись здійснити поїздки буде рівна

$$P_i = \frac{e^{\beta_i (V_i + W_i)}}{1 + e^{\beta_i (V_i + W_i)}}, \quad (8)$$

де  $\beta_i$  - параметр вирішення здійснити поїздки. Якщо значення  $P_i$  мають близьке узгодження з спостереженими значеннями генерації поїздок  $T_i$ , тоді модель генерації поїздок є простою функцією  $P_i$ :

$$T_i = f(P_i) \tag{9}$$

$i$  змодельовані поїздки між  $i$  та  $j$  отримуються з:

$$T_{ij} = T_i \times P_{ij}.$$

В структурі моделі розраховуються параметр зони призначення  $\beta_a$  і параметр рішення здійснення поїздки  $\beta_t$ .  $\beta_t$  визначається методом, описаним в [9], який звичайно використовується для калібрування параметрів гравітаційної моделі. Одночасно  $\beta_t$  приймається виходячи з величини, при якій величина коефіцієнту кореляції між обстеженою генерацією поїздок і  $P_i$  досягає максимального значення.

### 5. Висновки з дослідження

Розроблений підхід був застосований для створення моделі попиту на перевезення до туристичних міст України. Транспортними зонами вважаються області України, таким чином для моделі акумулювалась інформація обласного рівня, взята з статистичних збірників [22, 23].

Для визначення потужності попиту на перевезення кожної зони  $V_i$  були обрано наступні атрибути: щільність населення  $\Pi$  і величина середнього доходу  $D$ . Разом з тим атрибути, які впливають на привабливість зони  $V_{ij}$ : вартість дороги для споживача  $\Pi$  шлях і кількість готельних номерів Готель. Щільність населення і величина доходу дають найбільшу кореляцію з кількістю людей, які здійснили поїздку на курорт (інформація з статистичних збірників) (табл. 3), кількість готельних номерів дає найбільшу кореляцію з кількістю відпочиваючих (інформація з статистичних збірників) (табл. 4). Загальна вартість шляху для споживача має три підатрибути, а саме відстань від зони походження до всіх зон призначення, геометрія дороги і якість пересування. Ці три підатрибути є вхідними величинами для розрахунку якості пересування в моделі Highway Development and Management version 4 (HDM-4) [3]. Вартість пересування споживача між походженням і до призначення  $j$  Шлях<sub>ij</sub> є добутком відстані  $d_{ij}$  на геометрію дороги  $g_{ij}$  і якість пересування  $q_{ij}$ . Шлях<sub>ij</sub> визначається методом присвоєння «все або нічого» (тобто, маршрут з найменшою вартістю шляху оберуть всі споживачі):

$$\text{Шлях}_{ij} = d_{ij} \cdot g_{ij} \cdot q_{ij}. \tag{11}$$

Всі підатрибути загальної вартості шляху для споживача є нечіткими, одночасно інші два атрибути є конкретними. Відстані конвертовані в 11 нечітких величин, такі як менше 50 км, близько 50 км, близько 100 км, і остання більш як 1100 км (рис. 2, табл. 1). Відстань розглядається як нечітка величина з наступних причин: більшість здійснюючих поїздку не знають точної відстані між містами і фактично кожен споживач починає поїздку з різних точок зони походження до різних точок в зоні призначення, тобто нечітка відстань може врахувати дані умови. Це також означає, що нечітка відстань може подолати недолік моделей, в яких походження і призначення поїздки зафіксовані у вузлах, як наприклад в гравітаційній моделі. Використання

нечіткої відстані також дає можливість враховувати в підході зовнішні поїздки.

Геометрія доріг і якість пересування розглядаються як нечіткі, оскільки це неповні дані і знову ж таки споживачі не можуть знати точні умови цих двох атрибутів. Геометрія доріг конвертована до 5 нечітких змінних: А (прямолінійні і плоскі), Б (переважно прямолінійні, з плавними поворотами і в основному плоскі), В (звивисті і легко горбисті), Г (звивисті і доволі горбисті) і Д (дорога з поворотами і горбиста) (рис. 3, табл. 2). Якість пересування конвертована в 5 нечітких змінних: відмінна, добра, задовільна, незадовільна і погана (рис. 4, табл. 2). Функції належності цих нечітких змінних наведені нижче.

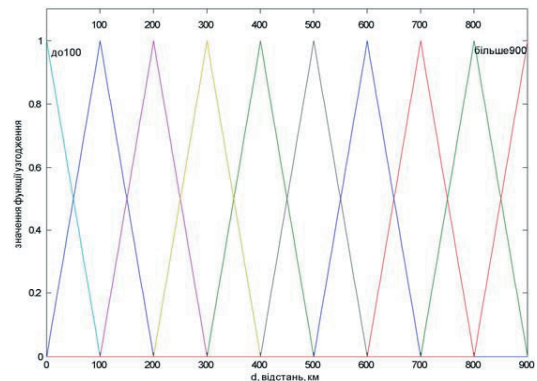


Рис. 2. Функції узгодження для нечітких змінних лінгвістичної змінної «відстань»

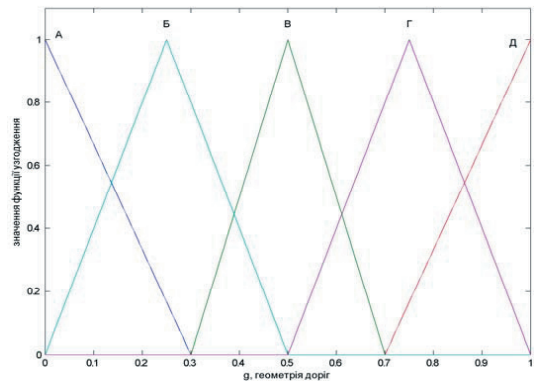


Рис. 3. Функції узгодження для нечітких змінних лінгвістичної змінної «геометрія доріг»

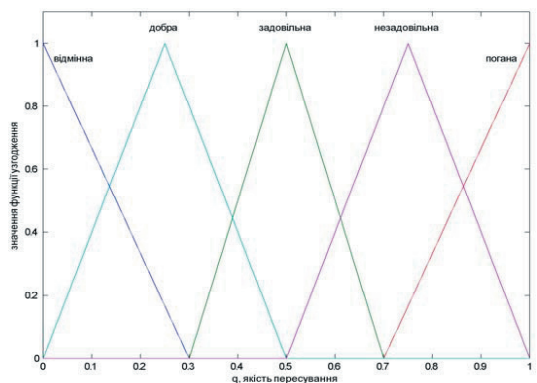


Рис. 4. Функції узгодження для нечітких змінних лінгвістичної змінної «якість пересування»

**Таблиця 1**

**Таблиця конвертації нечітких змінних до чисельних значень для лінгвістичної змінної «відстань»**

Нечітка змінна	Чисельна величина
до 100 км	0,045
біля 100 км	0,135
біля 200 км	0,255
біля 300 км	0,335
біля 400 км	0,410
біля 500 км	0,500
біля 600 км	0,590
біля 700 км	0,665
біля 800 км	0,745
біля 900 км	0,865
більше 900 км	0,955

**Таблиця 2**

**Таблиця конвертації нечітких змінних до чисельних значень для лінгвістичних змінних «геометрія доріг» і «якість пересування»**

Лінгвістична змінна «геометрія доріг»	Лінгвістична змінна «якість пересування»	Чисельна величина
А (прямолінійні і плоскі)	відмінна	0,115
Б (переважно прямолінійні, з плавними поворотами і в основному плоскі)	добра	0,295
В (звивисті і легко горбисті)	задовільна	0,495
Г (звивисті і доволі горбисті)	незадовільна	0,695
Д (дорога з поворотами і горбиста)	погана	0,895

Шлях<sub>ij</sub> розраховується після отримання нечіткими величинами конкретних значень за допомогою методу нечітких множин. Цей новий підхід був запропонований зважаючи на досвід, який виявив, що застосування нечіткої математики призводить до втрати інформації або більшої нечіткості і в результаті вносить помилки в прийняття рішень [5].

**Таблиця 3**

**Коефіцієнти кореляції для показників обсягів генерації поїздок**

Показник	Коефіцієнт кореляції з кількістю людей, які здійснили поїздку на курорти
Середній дохід, Дохід	0,563
Щільність населення, Щ	0,403

**Таблиця 4**

**Коефіцієнти кореляції для показників обсягів поглинання поїздок**

Показник	Коефіцієнт кореляції з кількістю туристів
Вартість шляху для споживача, Шлях	0,912
Кількість готельних номерів, Готель	0,874

Виходячи з коефіцієнтів кореляції в табл. 4, вага Шлях<sub>ij</sub> - 0,51 (0,912/1,786) і вага Готель<sub>j</sub> - 0,49 (0,874/1,786). Привабливість зони V<sub>ij</sub> розраховується за наступною залежністю:

$$V_{ij} = \left( \frac{\text{Шлях}_{ij}}{\max \text{Шлях}_{ij}} \right)^{-0.51} + \left( \frac{\text{Готель}_j}{\max \text{Готель}_j} \right)^{0.49}, \quad (12)$$

використовуючи метод [9], значення β<sub>d</sub> рівне 1,12. β<sub>d</sub> використовується для розрахунку W<sub>i</sub>.

Виходячи з табл. 3 вага Дохід<sub>i</sub> рівна 0,58 (0,563/0,966) і вага Щ<sub>i</sub> рівна 0,42 (0,403/0,966), тоді формула для розрахунку потужності генерування поїздок кожної зони V<sub>i</sub>:

$$V_i = \left( \frac{\text{Дохід}_i}{\max \text{Дохід}_i} \right)^{0.58} + \left( \frac{\text{Щ}_i}{\max \text{Щ}_i} \right)^{0.42}. \quad (13)$$

β<sub>i</sub> значенням 0,32 дає найбільший коефіцієнт кореляції між P<sub>i</sub> і T<sub>i</sub>, значення якого 0,924. Модель продокування поїздок:

$$T_i = 8935,327 + 1,764P_i. \quad (14)$$

## 6. Висновки

Цей підхід значно розширив продуктивність моделі. Можливе покращення може бути досягнуте розділенням матриць П-Пр на різні способи пересування (наприклад, користувачів громадським транспортом і користувачів приватним транспортом), розділенням здійснюючих поїздки на соціально-економічні групи, а також введенням нових змінних, які б відповідали за рівень урбанізації, рівень розвитку країни, пересадки, абстрактну вартість способів здійснення поїздки і інші важливі елементи [19].

В загальному сильні сторони цього підходу наступні:

- об'єднуючи дві теорії разом ця ідея може охопити всі джерела нечіткості. Теорія нечітких множин може усунути нечіткість, яка випливає з невизначеності (походить від людської суб'єктивності), а теорія ймовірності може усунути нечіткість, яка випливає з випадковості (проблема недетермінованості задачі). Застосування цієї ідеї може дозволити розрахувати кількість потенційних споживачів кожної зони походження.

- теоретично цей підхід має поведінкову базу, яка застосовується в деталізованій моделі і понижає нечіткість. Таким чином, цей підхід знижує вартість, простоту застосування.

- цей підхід здатний показати, що соціально-економічні характеристики і зон походження, і зон призначення так само як вплив на здійснення поїздки можуть бути об'єднані для зв'язку етапів визначення обсягів генерування поїздок та їх кореспонденцій, а можливо й аналізу типів пересувань і вибору маршруту, що не може бути реалізоване моделями першого покоління.

Таким чином, будь-які соціально-економічні зміни в зонах призначення так само як і вплив на здійснення поїздки можуть розглядатись на етапі визначення обсягів генерування поїздок.

- використання нечіткої відстані може допомогти уникнути недосконалості моделей, в яких за місця походження і призначення поїздок вважаються центроїди зон.

- коли доступною є первинна матриця П-Пр, цей підхід може застосовуватись для вдосконалення структури моделей, які ґрунтуються на досліджених потоках.

Одночасно основною недосконалістю цього підходу є та ж, що й для інших узагальнених моделей, а

саме використання в розрахунках середніх зональних змінних, які вносять в моделі упередженість і значні кореляції середніх величин.

В роботі показано, що застосування багатофакторного нечіткого аналізу в моделях прямого попиту може ввести в модель поведінкову основу і дати кращі результати, ніж стандартна модель. Наступні дослідження передбачають введення нових атрибутів, різних шкал конвертування, різних методів прив'язки поїздок до мережі і іншої логіт або пробіт моделі.

## 7. Література

1. Ben-Akiva, M.E. and Lerman, S.R. *Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand*. The MIT Press, Cambridge, Mass.
2. Ben-Akiva, M.E. and Bierlaire, M. [Online, accessed 25 September 2002] *Discrete Choice Methods and Their Applications to Short Term Travel Decisions*, available at URL: <http://dmawww.epfl.ch/roso.mosaic/mbi/handbook-final.htm>.
3. Bennett, C.R. and Paterson, W.D.O. *The Highway Development and Management Series Volume Five: A Guide to Calibration and Adaptation*, The World Road Association (PIARC), Paris and The World Bank, Washington, DC
4. Chen, S.J., and Hwang, C.L. *Fuzzy Multiple Attribute Decision Making*. Lecture Notes in Econom. and Math. System 375, Springer-Verlag, New York.
5. Cheng, C.H., Yang, K.L., and Hwang, C.L. Evaluating attack helicopters by AHP based linguistic variable weight, *European Journal of Operational Research*, Vol. 116, 425-435.
6. Easa, S.M. Urban transportation in practice I: conventional analysis, *Journal of Transportation Engineering*, ASCE, Vol. 119, No. 6, 793-815.
7. Easa, S.M. Urban transportation in practice II: quick response and special topics, *Journal of Transportation Engineering*, ASCE, Vol. 119, No. 6, 816-834.
8. Hwang, C.L., and Yoon, K. *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. Springer-Verlag.
9. Hyman, G.M. The calibration of trip distribution models, *Environment and Planning*, Vol. 1, No. 3, 105-112.
10. Gomes, L.F.A.M. Multicriteria ranking of urban transportation system alternatives, *Journal of Advanced Transportation*, Vol. 23, No. 1, 43-52.
11. Klungboonkrong, P. and Taylor, M.A.P. An integrated planning tool for evaluating road environmental impacts, *Journal of Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, Vol. 14, 335-345.
12. Lundqvist, L. and Mattson, L.G. National transport models: Introduction and comparative analysis, in Lundqvist, L. and Mattson, L.G. (eds), *National Transport Model: Recent developments and Prospects*. Springer, Berlin, Germany.
13. Oppenheim, N. *Urban Travel Demand Modelling: From Individual Choice to General Equilibrium*. John Wiley & Sons, USA.
14. Ortuzar, J de D. and Willumsen, L.G. *Modelling Transport* (2nd ed.). John Wiley & Sons, England.
15. Quandt, R. and Baumol, W. The demand for abstract transport modes: theory and Measurement, *Journal of Regional Science*, Vol. 6, No. 2, 13-26.
16. Reddy, K.H., and Chakroborty, P. A fuzzy inference based assignment algorithm to estimate O-D matrix from link volume counts, *Comput., Environ. and Urban Systems*, Vol. 22, No. 5, 409-423.
17. Ridwan, M. Fuzzy preference based traffic assignment problem. Paper accepted for presentation in the International Workshop on Intelligent Transport System, Adelaide, 19 July 2002.
18. Taylor, M.A.P., Young, W. and Bonsall, P.W. *Understanding Traffic System: Data, Analysis and Presentation*. Avebury Technical Books, England.
19. Wirasinghe, S.C. and Kumarage, A.S. An aggregate demand model for intercity passenger travel in Sri Lanka, *Transportation*, Vol. 25, 77-98.
20. Yeh, C.H., Deng, H., and Chang, Y.H. Fuzzy multiple attribute decision making for performance evaluation of bus companies, *European Journal of Operational Research*, Vol. 126, 459-473.
21. Zimmerman, H.J. *Fuzzy Sets Theory and Its Application*. Kluwer Academic, Boston.
22. Україна в цифрах 2008 // Статистичний збірник. – К.: ДП «Інформаційно-аналітичне агентство», 2009. – 260 с.
23. Регіони України // Статистичний збірник. – К.: ДП «Інформаційно-аналітичне агентство», 2009. – 369 с.