

УДК 711.11

к.т.н., професор Осетрін М.М.,

Беспалов Д.О., Дорош М.І.,

Київський національний університет будівництва та архітектури

## ОЦІНКА ЯКОСТІ ТРАНСПОРТНОЇ МОДЕЛІ МІСТА

*Наводяться методи оцінки якості транспортної моделі міста.*

*Ключові слова: транспортна модель, транспортний попит, транспортна пропозиція, валідація, верифікація, калібрування, коефіцієнт кореляції.*

Аналіз літературних джерел, науково методичні розробки та практична діяльність дають можливість зробити висновок, що транспортна модель міста, являється інструментом для оцінки варіантів розвитку транспортної мережі, їх подальшого порівняння та обґрунтованих висновків про доцільність інвестицій у проекти з розвитку транспортної інфраструктури.

Заключним і найважливішим етапом розробки транспортної моделі є підвищення її якості. На цій стадії необхідно домогтися максимальної близькості результатів, отриманих на основі моделювання, і даних, зібраних в результаті проведених обстежень транспортних та пасажиропотоків.

Транспортна модель - це, насамперед, математична модель, яка складається з транспортної пропозиції (бази даних) та транспортного попиту (набору визначальних співвідношень), які взаємодіють один з одним (рис.1). Відповідно розрізняють методи, що дозволяють покращувати якість як однієї, так і іншої складової транспортної моделі.



Рис.1. Складові транспортної моделі

Процес підвищення якості транспортної моделі називається терміном «калібрування». Основою для калібрування є натурні дані існуючої інтенсивності транспортних та пасажирських потоків, на діючій магістральній мережі міста, (рис.2).

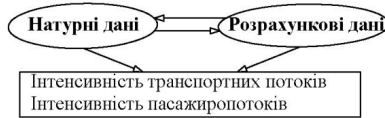


Рис.2. Інформаційна основа для калібрування

На всіх етапах розробки транспортних моделей виділяють такі основні види помилок, які визначають необхідність калібрування моделі [1]:

1. **Помилки специфікації моделі** - помилки, викликані недосконалим розумінням поведінки осіб, які здійснюють кореспонденції, або реакції на зміни в транспортній пропозиції.

2. **Помилки деталізації** - помилки, викликані якістю абстрагування та агрегування моделі. Зазвичай моделі агрегуються до осіб, що здійснюють кореспонденції (наприклад, агрегування по домашнім господарствам або зонам проживання), за цілями поїздки, періодами часу і способам поїздки.

3. **Помилки натурних даних** - помилки, пов'язані зі якістю збору і обробки даних для калібрування. Вони можуть бути пов'язані з випадковою помилкою при зборі, введенні, перевірці чи редагуванні натурних даних для калібрування.

4. **Помилки вхідних даних** - включають помилки у вхідних даних, що використовуються в моделі. Цей тип помилки може бути виявлений в процесі перевірки моделі: параметрів мережі, розрахункових процедур, даних статистики, таких, як населення, робочі місця.

Відповідно до складових транспортної моделі (на рис.1) виділяють наступні заходи підвищення якості транспортної моделі [4]:

#### ***Валідація (Validation).***

Мета етапу валідації моделі - порівняння даних, отриманих з натурних обстежень, із розрахунковими даними. За допомогою стандартних статистичних показників, наприклад, коефіцієнт кореляції, коефіцієнт детермінації, середньоквадратичного відхилення, середньої відносної помилки, і ін. Визначається якість результатів розрахунків транспортної моделі.

### **Верифікація (Verification).**

Мета етапу верифікації моделі полягає в перевірці правильності структури (логіки) моделі. На даному етапі виконується перевірка, відповідності отриманих результатів розрахунку моделі, набору вхідних параметрів, наскільки очікувані отримані результати.

### **Калібрування (Kalibration).**

Мета етапу калібрування моделі - домогтися ідентичності розрахункових і натурних характеристик функціонування транспортної системи міста. Якщо результати валідації показують неприпустимі відхилення між натурними спостереженнями та результатами розрахунків транспортної моделі, проводяться зміни в параметрах моделі (параметрах процедур розрахунку транспортного попиту та / або налаштуваннях транспортної пропозиції), наприклад, показники подвижності, характеристика мережі, і т.д.

Калібрування проводиться на кожному кроці чотирьох ступеневої транспортної моделі:

1. Генерація;
2. Розподілення;
3. Вибір режиму;
4. Перерозподіл.

Структура і послідовність заходів з калібрування транспортної моделі представлена на рис.3 [1].



Рис. 3. Структура і послідовність заходів з калібрування транспортної моделі.

Калібрування транспортної пропозиції проводиться окремо для систем індивідуального та громадського транспорту, оскільки вони мають ряд особливостей функціонування. Як показує досвід процес калібрування починається з індивідуального транспорту.

### **Калібрування моделі індивідуального транспорту**

Після створення моделі транспортної пропозиції необхідно, оцінити вірогідність результатів розрахунку, тобто відповідність моделі транспортного попиту, транспортної пропозиції та їх взаємодію, реальній ситуації, що спостерігається на вулицях міста.

Для цього необхідно зіставити значення інтенсивності руху, розрахованих при існуючому стані вулично-дорожньої мережі з фактичною інтенсивністю та умовами руху транспорту.

При калібруванні моделі індивідуального транспорту в першу чергу необхідно перевірити параметри транспортної пропозиції: кількість смуг, пропускну здатність, дозволена швидкість на відрізках, наявність одностороннього руху, затримки на вузлах і поворотах, а також інші характеристики відрізків та вузлів.

Також важливо правильно підібрати параметри CR-функції для відповідних елементів, порівнюючи натурні та розрахункові швидкісні характеристики транспортних потоків.

Особливу увагу слід приділити правильності розстановки «сполучень», («connector»). Сполучення в моделі повинні бути розставлені так, щоб вузли, з якими з'єднуються сполучення, відповідали місцям розташування парковок ПТ, виїздів з прибудинкової території (рис.4).



Рис.4. Сполучення центрів транспортних районів з виїздами для індивідуального транспорту

Розбіжність змодельованих параметрів ділянок ВДМ і параметрів існуючої ситуації також може бути пов'язане зі станом дорожнього покриття, обсягами припаркованого транспорту, наявністю одностороннього руху та іншими факторами.

Для виправлення зазначених помилок необхідно використати натурні дані про інтенсивність, пропускну здатність ділянок ВДМ і параметри функцій опору (CR-функцій).

Заміна розрахункових значень пропускну здатності для перегонів на спостережувані, проводиться для ділянок

ВДМ, на яких проводилися обстеження в період максимальної завантаженості [3].

### Калібрування моделі громадського транспорту

При калібруванні моделі громадського транспорту (ГТ), перевіряються правильність розстановки примикань до зупинок ГТ (рис.5), розрахункові данні пасажиропотоків зіставляються з даними натурних обстежень.



Рис. 5. Сполучення центрів транспортних районів з зупинками громадського транспорту

Для калібрування моделі ГТ використовуються два параметри: добове навантаження на маршрут і добове навантаження на перегон (тобто кількість всіх пасажирів, що проїхали через перегон на всіх маршрутах).

Як параметри локального калібрування можна використовувати дані про кількість пасажирів що входять, виходять і пересідають для кожної зупинки. В модель вносяться наявні натурні дані про пасажиропотік на зупинках ГТ. Далі розраховуються параметрами оцінки якості: коефіцієнт кореляції, абсолютна і середня помилка, RMSE (корінь із середнього зведеного в квадрат відхилення).

На першому етапі калібрування виконується за загальним обсягом пасажиропотоку - загальна кількість пасажирів що заходять і виходять на зупиночному пункті. В першу чергу, необхідно домогтися правильного відносного розподілу потоків пасажирів по зупинкам ГТ.

Адекватність відносного розподілу визначається коефіцієнтом кореляції. Коригування відносного розподілу пасажиропотоку проводиться зміною параметрів примикань (тривалість руху пішоходів від центру тяжіння району до зупинки ГТ і навпаки).

На другому етапі виконується оцінка пасажиропотоків по окремих маршрутах. Виконується перевірка загальної кількості пасажирів на кожному маршруті, потім пасажиропотоки за маршрутами звіряються з даними натурних обстежень на зупинках. При перевірці маршрутів виконується корегування розкладу та виду функцій оцінки для ГТ [3].

### Критерії оцінки якості дорожньо-транспортної моделі

Для оцінки якості транспортної моделі використовують загальноприйняті статистичні критерії, які дозволяють оцінювати основні якісні параметри створеної моделі [1,5].

Оцінка проводиться за такими параметрами:

1. **Середня абсолютна похибка** середнє відхилення абсолютних значень (різниця між розрахованим і спостережуваним значенням)

$$(\delta_a) = \frac{1}{N} * \sum abs(Z_i - U_i), \quad (1)$$

де  $Z_i$  – спостережуване значення;  $U_i$  – значення, отримане з моделі;  
 $N$  – кількість точок спостереження.

2. **Середня відносна помилка** - середнє відхилення абсолютних значень

$$(\delta_p) = \frac{\sum abs(Z_i - U_i)}{\sum Z_i} * 100\%, \quad (2)$$

де  $Z_i$  – спостережуване значення;  $U_i$  – значення, отримане з моделі;  
 $N$  – кількість точок спостереження.

3. **Абсолютне значення RMSE (root of mean squared error) - середньоквадратичне відхилення**

$$(\nu_a) = \left[ \sum_{i=1}^N (Z_i - U_i)^2 / N \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (3)$$

де  $Z_i$  – спостережуване значення;  $U_i$  – значення, отримане з моделі;  
 $N$  – кількість точок спостереження.

4. **Відносне значення RMSE (root of mean squared error) - відносне середньоквадратичне відхилення**

$$(\nu_s) = \frac{\nu_a}{\sum Z_i / N} = \frac{\sqrt{\sum (Z_i - U_i)^2 / (N - 1)}}{\sum Z_i / N}, \quad (4)$$

де  $Z_i$  – спостережуване значення;  $U_i$  – значення, отримане з моделі,  
 $N$  – кількість точок спостереження.

### 5. Коефіцієнт кореляції:

$$r = \frac{\sum (Z_i - \bar{Z}) * (U_i - \bar{U})}{\sqrt{\sum (Z_i - \bar{Z})^2 * \sum (U_i - \bar{U})^2}}, \quad (5)$$

$$\bar{Z} = \frac{1}{N} * \sum Z_i, \quad \bar{U} = \frac{1}{N} * \sum U_i, \quad (6)$$

де  $Z_i$  – спостережуване значення;  $U_i$  – значення, отримане з моделі;  
 $N$  – кількість точок спостереження.

Коефіцієнт кореляції – знаходиться в лінійному зв'язку між фактичними даними інтенсивності потоків на місцях підрахунку і розрахованими на основі моделі навантаженням. Значення коливається в діапазоні від -1 до +1.

Чим ближче значення коефіцієнта кореляції до 1, тим точніше ряд розрахункових значень навантаження апроксимує ряд фактичних даних інтенсивностей потоків, тобто модель точніше показує поведінку транспортного потоку.

В результаті виконаного калібрування, були отримані показники якості транспортної моделі міста Київ, табл. 3.

Табл. 1

Значення параметрів якості транспортної моделі міста Київ

Процедура якості розрахунку моделі	Значення параметрів якості
Кількість вузлів спостереження	80
Середня абсолютна помилка	4338,2
Середня відносна похибка, %	30,5
Абсолютне значення RMSE	5986
Відносне значення с	0,385
Коефіцієнт кореляції	0,823

Значення коефіцієнта кореляції 0,823 свідчить про сильний взаємозв'язок натурних і розрахункових значень інтенсивностей транспортних потоків. Значення середньої відносної похибки і відносного значення RMSE достатньо великі, оскільки обстеження проводилось не одномоментно по всій території міста, та використовувалась велика кількість натурних даних (80 вузлів спостереження).

### Література

1. Транспортное планирование: создание транспортных моделей городов: монография / Якимов М.Р. – М.: Логос, 2013. – 188 с.
2. Математическое моделирование распределения транспортного спроса в транспортной системе города. Якимов М.Р. / Транспорт: наука, техника, управление. 2010. – №10. С. 7–13.
3. Транспортное планирование: практические рекомендации по созданию транспортных моделей городов в программном комплексе PTV Visum: монография / Якимов М.Р., Попов Ю.А. – М.: Логос, 2014. – 200 с.
4. Ortúzar, J./ Willamsen, G.: „Modelling Transport”, 3. Edition, published by Wiley, ISBN 0-471-86110-3
5. VISUM 14 Fundamentals, VISUM 14 Manual, 2014 PTV AG, Karlsruhe.

### Аннотация

В статье приводятся методы оценки качества транспортной модели города.

Ключевые слова: транспортная модель, транспортный спрос, транспортное предложение, валидация, верификация, калибровка, коэффициент корреляции.

### Annotation

The article describes methods for evaluating the quality of the city transport model.

Keywords: transport model, transport demand, transport supply, validation, verification, calibration, correlation coefficient.