

УДК 711.7; 625.42

І.Г. Міренський, А.М. Сосіпатров

ВПЛИВ ПОКАЗНИКІВ НЕОДНОРІДНОСТІ МІСЬКОГО ПРОСТОРУ НА РОЗПОДІЛЕННЯ ПАСАЖИРІВ ПОМІЖ ВЕСТИБУЛЯМИ СТАНЦІЙ МЕТРОПОЛІТЕНУ

Постановка проблеми. Визначальною складовою якості міської території є рівень розвитку транспортної інфраструктури та досконалості її функціонування. В той же час, урбанізоване середовище задає умови, в яких формується і експлуатується транспортний комплекс, зокрема основа транспортного каркаса найбільших міст – метрополітен. Важливим науковим завданням є вивчення зв'язків показників міського простору (як наземного, так і підземного) з характеристиками функціонування цього швидкісного рейкового транспорту. Це сприятиме вирішенню практичних завдань підвищення ефективності пасажироперевезень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогоднішній день достатньо обґрунтовано і опрацьовано методи оцінювання просторової нерівномірності пасажиропотоків у метрополітені [1]. Разом з тим, відомим є поняття "нерівноцінність території" різних зон міста, зокрема за транспортною доступністю основних об'єктів тяжіння [2]. Але треба створити інструментарій кількісного опису локальної неоднорідності міського простору, наприклад, поблизу станцій швидкісного рейкового транспорту, а також сформулювати комплекс показників, які характеризують неоднорідність простору, і розглянути їх вплив на нерівномірність розподілення пасажирів поміж вестибулями станцій.

Метою дослідження є розроблення методу оцінювання локальної неоднорідності міського простору з подальшим виявленням її впливу на нерівномірність розподілення пасажирів поміж вестибулями станцій метрополітену.

Для характеристики неоднорідності міського простору взагалі і, зокрема поблизу станцій метрополітену, залізниці, монорельсової транспортної системи, швидкісного трамвая, можна на основі класифікації вимірів простору, запропонованої М. Габрелем [3], сформулювати сукупність нижченаведених показників.

1. Множина показників простору території, прилеглої до виходів станційного вестибуля (аналогія з теорією поля – "потенціал")

1.1. Вимір геометричних характеристик:

- число виходів з даного вестибуля на поверхню;
- число вулиць (напрямків), що відходять від виходів вестибуля.

1.2. Функціональний вимір:

- тип прилеглої розпланувальної зони (житлова, промислова, комунально-складська, рекреаційна, торгова, загальноміський центр, а також комбінації наведених варіантів);
- переважне число поверхів житлової забудови;
- число видів зовнішнього транспорту;
- число видів міського наземного громадського транспорту;
- число маршрутів міського наземного громадського транспорту;
- число об'єктів масового відвідування;
- наявність значних за місткістю місць праці містоутворювального значення (наявність – "1", відсутність – "0");
- наявність об'єктів з екстенсивним використанням територій (парки, склади, автопідприємства) (наявність – "1", відсутність – "0").

1.3. Вимір умов:

- наявність вільного простору для пішоходів (окрім тротуарів) (наявність – "1", відсутність – "0").

2. Множина показників простору підвуличних пішохідних переходів і вестибуля (аналогія з теорією поля – "провідність-опір комунікацій")

2.1. Вимір геометричних характеристик:

- число підвуличних пішохідних переходів (напрямків), що відходять від вестибуля.

2.2. Функціональний вимір:

- число великих об'єктів попутного обслуговування в підвуличних пішохідних переходах;
- число виходів на поверхню з ескалаторами;
- наявність ескалаторів для входу на платформу (наявність – "1", відсутність – "0");
- те ж саме для виходу з платформи (наявність – "1", відсутність – "0").

2.3. Вимір умов:

- число виходів безпосередньо на рівень заглиблених об'єктів масового відвідування (без "втрачених підйомів");
- число пішохідних переходів великої довжини без травалатора, які відходять від вестибуля;
- наявність значних розширень підвуличних пішохідних переходів і вестибуля (наявність – "1", відсутність – "0").

Кожен з наведених показників є змінною числового або логічного, або символічного (текстового) типу.

Для простору поблизу кожного станційного вестибуля, використовуючи об'єктивні дані, можна визначити числове або певне текстове значення кожного показника простору.

Наразі розглядаються лише типові двовестибульні станції як найбільш поширені та придатні для порівняння. Що ж до одновестибульних станцій, то їх було виключено з розгляду, оскільки в цьому випадку не можна вести мову про розподілення пасажирів поміж вестибулями станції як таке.

Пару значень x_0 та y_0 кожного показника простору числового або логічного типу для вестибулів двовестибульної станції можна відобразити точкою в декартовій системі координат (див. точку А на рис. 1). Якщо числові значення x_0 , y_0 досліджуваного показника простору для обох вестибулів станції збігаються або відсутні взагалі (наприклад, "переважне число поверхів житлової забудови" у промисловій зоні), то простір поблизу цієї станції можна вважати локально-однорідним, а відповідна точка належить прямій $y = x$, що є бісектрисою першого квадранта. В більш поширеному випадку незбігу значень x_0 , y_0 ($x_0 > 0$; $y_0 > 0$) даного показника простору для вестибулів станції відповідна точка (А) відхиляється від прямої $y = x$ до осі абсцис або ординат, причому саме це відхилення можна вважати мірою відносної локальної неоднорідності простору поблизу станції (рис. 1). У випадку, коли значення досліджуваного показника простору для одного з вестибулів станції дорівнює нулю, то простір поблизу цієї станції можна вважати абсолютно локально-неоднорідним, а відповідна точка лежить на одній з осей координат (абсцис або ординат). З урахуванням викладеного, для кількісного оцінювання неоднорідності міського простору за двома пунктами (наприклад, вестибулями станції) можна запропонувати коефіцієнт $K_{\text{неодн}}$, якій чисельно дорівнює тангенсу кута α між прямою $y = x$ та радіус-вектором точки А (x_0 ; y_0). Для прямої, якій належить радіус-вектор згаданої точки, можна записати:

$$y = k x = x \operatorname{tg} \beta = x \frac{y_0}{x_0}, \quad (1)$$

де k – кутовий коефіцієнт;

β – кут між віссю абсцис і радіус-вектором точки А (x_0 ; y_0).

З урахуванням виразу (1) за відомою з курсу геометрії формулою для кута між двома прямими:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{1 - \frac{y_0}{x_0}}{1 + \frac{y_0}{x_0}} = \frac{x_0 - y_0}{x_0 + y_0}. \quad (2)$$

Виходячи з того, що знак коефіцієнта неоднорідності міського простору не має істотного значення, остаточно отримаємо:

$$K_{\text{неодн}} = \frac{|x_0 - y_0|}{x_0 + y_0}, \quad (3)$$
$$0 \leq K_{\text{неодн}} \leq 1.$$



Рисунок 1 – Геометрична інтерпретація коефіцієнта неоднорідності міського простору поблизу станцій метрополітену

Граничне значення $K_{\text{неодн}} = 0$ відповідає стану локальної однорідності, а $K_{\text{неодн}} = 1$ – абсолютної локальної неоднорідності простору поблизу досліджуваної станції метрополітену.

Показник простору може бути величиною символічною (текстовою), наприклад, "тип прилеглої розпланувальної зони" з переліком варіантів значень. Тоді якщо значення показника простору для обох вестибулів станції збігаються повністю, то простір поблизу цієї станції можна вважати локально-однорідним ($K_{\text{неодн}} = 0$). Якщо значення показника простору для вестибулів станції повністю відрізняються одне від одного, то його можна вважати абсолютно локально-неоднорідним ($K_{\text{неодн}} = 1$). При частковому збігу (наприклад, прилегла розпланувальна зона "промислова" і "промислова, житлова") простір поблизу цієї станції можна вважати відносно локально-неоднорідним (приймається $K_{\text{неодн}} = 0,5$). Таким чином, коефіцієнт неоднорідності міського простору поблизу станції метрополітену за певним показником кількісно відображає відносне відхилення від стану однорідності.

Для простору поблизу двовестибульних станцій Харківського метрополітену сформовано масив даних за кожним із запропонованих вище показників, після чого обчислено відповідні значення коефіцієнта неоднорідності міського простору.

В основу виконаного дослідження покладено гіпотезу, що збільшення неоднорідності міського простору поблизу станції метрополітену призводить до зростання нерівномірності розподілення пасажирів поміж вестибулями станції. Останній показник характеризується відсотковою часткою найбільш завантаженого входу або виходу (вестибуля) станції в загальній чисельності пасажирів, які входять на станцію або виходять з неї (надалі – частка найбільш завантаженого входу або виходу станції). Тобто змістовний аналіз (аналіз сутності) вказує на можливу наявність саме прямих парних кореляційних зв'язків між згаданими величинами з позитивними значеннями лінійного коефіцієнта кореляції, що створює передумови для побудови відповідної багатфакторної кореляційної моделі.

Кількісний аналіз статистичних зв'язків між коефіцієнтами неоднорідності міського простору і часткою найбільш завантаженого входу або виходу станції дозволив виявити вагомі показники неоднорідності міського простору, які мають прямий парний кореляційний зв'язок з часткою найбільш завантаженого входу або виходу станції. Саме такі показники неоднорідності міського простору складають більшість, що можна вважати попереднім підтвердженням висунутої раніше гіпотези.

При побудові багатфакторної кореляційної моделі однією з умов обґрунтованості кінцевих результатів є вимога можливо меншої корельованості присутніх у моделі ознак-факторів (відсутність мультиколінеарності) [4]. Для виключення цього явища можна застосувати емпіричний підхід: обчислити значення парних коефіцієнтів кореляції, за якими можна оцінити міру взаємної корельованості ознак-факторів; як критерій мультиколінеарності може бути застосовано такі нерівності:

$$r_{x_j y} > r_{x_j x_k},$$

$$r_{x_k y} > r_{x_j x_k}.$$

Якщо наведені нерівності (або хоча б одна з них) порушуються, то може бути виключеним той фактор x_j або x_k , зв'язок якого з результативним показником у виявиться менш тісним [4].

Після виключення мультиколінеарності в моделі впливу на частку найбільш завантаженого входу на станції залишилася лише одна факторна ознака: "тип прилеглої розпланувальної зони", а щодо впливу на частку найбільш завантаженого виходу зі станції, то залишилися дві ознаки-фактори: "число вулиць (напрямків), що відходять від виходів вестибуля" і "тип прилеглої розпланувальної зони". Характерним є те, що важливими для подальшого дослідження залишилися показники простору території, прилеглої до виходів станційного вестибуля (саме на поверхні).

За допомогою електронних таблиць “Microsoft Excel” на ЕОМ здійснено статистичну обробку даних щодо простору території, прилеглої до виходів станційних вестибулів, простору підвуличних пішохідних переходів і вестибуля, а також даних обстеження пасажиропотоків у Харківському метрополітені.

Із застосуванням методів кореляційно-регресійного аналізу встановлено характер і тісноту залежності частки найбільш завантаженого входу на станції ($S_{\text{вх}}$) від коефіцієнта неоднорідності міського простору за типом прилеглої розпланувальної зони ($K_{\text{неодн.зон}}$). Отримано статистичне підтвердження попередніх припущень, що тенденція до збільшення “в середньому” частки найбільш завантаженого входу на станції простежується при зростанні коефіцієнта неоднорідності міського простору за типом прилеглої розпланувальної зони.

Пропонується описати зв'язок, що досліджується, лінійним рівнянням регресії:

$$S_{\text{вх}} = 18,04 K_{\text{неодн.зон}} + 61,55. \quad (4)$$

Значна величина лінійного коефіцієнта кореляції (0,62) для даного випадку свідчить про те, що вибір функції (4) в якості рівняння регресії є достатньо обґрунтованим. Середня квадратична похибка рівняння регресії $S_e = 8,618$ є меншою ніж середнє квадратичне відхилення результативної ознаки $\sigma_0 = \sqrt{93,9} = 9,690$.

Із застосуванням методів множинного кореляційно-регресійного аналізу встановлено характер і тісноту залежності частки найбільш завантаженого виходу зі станції ($S_{\text{вих}}$) від таких коефіцієнтів неоднорідності міського простору:

- за числом вулиць (напрямків), що відходять від виходів вестибуля ($K_{\text{неодн.вул}}$);
- за типом прилеглої розпланувальної зони ($K_{\text{неодн.зон}}$).

Отримано статистичне підтвердження попередніх припущень, що тенденція до збільшення “в середньому” частки найбільш завантаженого виходу зі станції спостерігається при зростанні коефіцієнтів неоднорідності міського простору за числом вулиць (напрямків), що відходять від виходів вестибуля, і за типом прилеглої розпланувальної зони.

Запропоновано описати досліджуваний зв'язок лінійним рівнянням множинної регресії:

$$S_{\text{вих}} = 44,61 K_{\text{неодн.вул}} + 6,448 K_{\text{неодн.зон}} + 59,59. \quad (5)$$

Значна величина коефіцієнта множинної кореляції (0,65) в цьому випадку означає, що вибір функції (5) в якості рівняння регресії є достатньо обґрунтованим.

Коефіцієнт детермінації для досліджуваної залежності: $R_{123}^2 = 0,65^2 = 0,4198$.

Середня квадратична похибка рівняння регресії $S_e = 10,502$ є меншою ніж середнє квадратичне відхилення результативної ознаки $\sigma_0 = \sqrt{149,4} = 12,223$.

Отже, запропоновані рівняння кореляційних залежностей (4) і (5) можна вважати значущими та корисними.

Спираючись на отримані кореляційні залежності (4) і (5) можна сформулювати низку принципів.

Оскільки такий показник функціонального виміру, як неоднорідність міського простору за типом прилеглої розпланувальної зони впливає на розподілення пасажирів поміж вестибулями станцій метрополітену як за входом (визначальним чином), так і виходом, то перший принцип, що пропонується для досягнення більшої рівномірності пасажиропотоків, полягає у збалансованості розвитку прилеглої до станції розпланувальної зони. Тобто статистично обґрунтовано доцільність, починаючи ще з етапу розроблення генерального плану міста, передбачати трансформацію екстенсивно використовуваних територій, прилеглих до наявних і перспективних станцій метрополітену, з пріоритетним розвитком забудови того ж типу, що вже переважає у прилеглий розпланувальній зоні. Таким чином, треба досягати більшої однорідності міського простору за цією факторною ознакою.

Проте провідною факторною ознакою, що впливає на розподілення пасажирів поміж вестибулями станцій метрополітену за виходом є такий показник виміру геометричних характеристик, як неоднорідність міського простору за числом вулиць (напрямків), що відходять від виходів вестибуля. Для вже зведених станцій метрополітену цей показник змінити практично не можливо, а тому другий принцип, що пропонується для досягнення більшої рівномірності пасажиропотоків, полягає у симетричності розташування вестибулів перспективних станцій у плані відносно осей вулиць, поперечних до осі траси метрополітену. Як приклади такої симетричності розташування вестибулів вже експлуатованих станцій можна навести в м. Харкові двовестибульну станцію мілкого закладання "Маршала Жукова" у транспортному вузлі примикання проспекту з тією ж назвою до Московського проспекту, а також у м. Києві аналогічну станцію "Мінська" на перетині Оболонського проспекту з вул. Маршала Тимошенка. Однак згадана симетричність розташування, на жаль, поки що далеко не є правилом.

Висновки

1. Запропоновано набір показників для характеристики неоднорідності міського простору взагалі і, зокрема поблизу станцій швидкісного рейкового транспорту, у вигляді множини показників простору території, прилеглої до виходів станційного вестибуля, і множини показників простору підвуличних пішохідних переходів і вестибуля.
2. Неоднорідність міського простору за значеннями певного показника у двох пунктах (наприклад, поблизу двох вестибулів станції) рекомендовано

кількісно оцінювати відповідним коефіцієнтом $K_{\text{неодн}}$, що відображає відносне відхилення від стану локальної однорідності.

3. Тенденція до збільшення “в середньому” нерівномірності розподілення пасажирів поміж вестибулями станцій, зокрема Харківського метрополітену, за входом простежується при зростанні коефіцієнта неоднорідності міського простору за типом прилеглої розпланувальної зони.
4. Зростання “в середньому” нерівномірності розподілення пасажирів поміж вестибулями станції за виходом спостерігається при зростанні коефіцієнтів неоднорідності міського простору за числом вулиць (напрямків), що відходять від виходів вестибуля, і за типом прилеглої розпланувальної зони.
5. Для досягнення більшої рівномірності пасажиропотоків сформульовано принципи, які полягають у збалансованості розвитку прилеглої до станції розпланувальної зони, а також у симетричності розташування вестибулів перспективних станцій у плані відносно осей вулиць, поперечних до осі траси метрополітену.
6. Перспективи подальших досліджень полягають у виявленні та кількісному описанні впливу неоднорідності міського простору на інші характеристики пасажиропотоків на швидкісному рейковому транспорті в містах.

Список використаних джерел

1. Якушкин И.М. Пассажи́рские перевозки на метрополитенах. - М.: Транспорт, 1982. - 175 с.
2. Александер К.Э., Руднева Н.А. Скоростной рельсовый транспорт в градостроительстве. - М.: Стройиздат, 1985. - 139 с.
3. Габрель М.М. Просторова організація містобудівних систем / Інститут регіональних досліджень НАН України.- К.: Видавничий дім А.С.С, 2004.- 400 с.
4. Ефимова М.Р., Петрова Е.В., Румянцев В.Н. Общая теория статистики. - М.: ИНФРА-М, 1997. - 416 с.

Розглядається оцінювання локальної неоднорідності міського простору з подальшим виявленням її впливу на експлуатацію метрополітену, зокрема таку її характеристику, як нерівномірність розподілення пасажирів поміж вестибулями станцій.

Рассматривается оценивание локальной неоднородности городского пространства с последующим выявлением её влияния на эксплуатацию метрополитена, в частности такую её характеристику, как неравномерность распределения пассажиров между вестибюлями станций.