

УДК 656.025
UDC 656.025

СТВОРЕННЯ МАТРИЦІ КОРЕСПОНДЕНЦІЙ ПЕРЕСУВАНЬ ПАСАЖИРІВ
НА ОСНОВІ ДАНИХ ОПЕРАТОРІВ СТІЛЬНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ

Форнальчик Є.Ю., доктор технічних наук, Національний університет «Львівська політехніка»,
Львів, Україна

Демчук І.А., Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна

THE CREATION OF THE CORRESPONDENCE MATRIX OF PASSENGER MOVEMENTS
ON THE BASIS OF DATA OF CELLULAR COMMUNICATION OPERATORS

Fornalchik E.Yu., Doctor of Technical Sciences, National University «Lviv Polytechnic», Lviv,
Ukraine

Demchuk I.A., National University «Lviv Polytechnic», Lviv, Ukraine

СОЗДАНИЕ МАТРИЦЫ КОРЕСПОНДЕНЦИЙ ПЕРЕДВИЖЕНИЙ ПАССАЖИРОВ
НА ОСНОВАНИИ ДАННЫХ ОПЕРАТОРОВ СОТОВОЙ СВЯЗИ

Форнальчик Е.Ю., доктор технических наук, Национальный университет «Львовская
политехника», Львов, Украина

Демчук И.А., Национальный университет «Львовская политехника», Львов, Украина

Постановка проблеми. Для вдосконалення роботи міського пасажирського транспорту (МПТ) потрібна початкова інформація про рухомість населення й закономірності його розселення щодо об'єктів тяжіння. Таку інформацію можна отримати шляхом обстеження пасажиропотоків. У більшості випадків попит населення на пересування з різною метою формується у вигляді матриці кореспонденцій (МК) – кількісної характеристики пересувань у межах мережі МПТ.

Процес отримання МК утруднюється рядом чинників. Серед них визначальними є складність опису процесу пересування пасажирів у великих містах, що зумовлено розвиненістю міської транспортної і соціальної інфраструктури, значними розмірами території та великою кількістю альтернативних варіантів реалізації потреб у пересуванні за надзвичайно напруженої роботи МПТ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні теоретичні роботи з вивчення закономірностей пересування населення базуються в основному на статистичних матеріалах, отриманих у результаті вибіркового комплексного транспорного обстеження міста [1, 2]. Існують прямі методи отримання матриці через анкетні опитування мешканців міста (потребують тривалого часу, коштів та бажання людей брати участь в опитуванні) [3, 4, 5] та непрямі, що передбачають розрахунок МК через обсяги відправлення і прибуття рухомого складу громадського транспорту із використанням моделей розподілу поїздок між парами транспортних районів [6, 7].

При всьому різноманітті підходів до формування матриць досить чітко простежується поділ їх на три великих умовних класи: моделі коефіцієнтів росту, теоретичні та технологічні моделі [8].

Постановка завдання. Оскільки існуючі моделі визначення МК характеризуються масштабністю ресурсів та значними обсягами трудових ресурсів, тому на сьогодні не проводиться збір інформації та, як наслідок, не створюються транспортні моделі, які б дозволяли адекватно до запитів населення будувати транспортну мережу МПТ. У зв'язку з цим у роботі сформована мета: створити матрицю кореспонденцій пересувань пасажирів на основі даних операторів мобільного зв'язку. Відповідно до неї потрібно розробити методикку, яка дозволяла б в короткі терміни побудувати МК, за результатами якої можна вдосконалювати графіки руху МПТ з урахуванням його привабливості.

Виклад основного матеріалу дослідження. У плані мінімізації трудових ресурсів, грошових витрат та часу на дослідження пасажиропотоків і опрацювання результатів нами запропоновано методикку створення матриці кореспонденцій пасажирів з використанням масивів даних пересування користувачів стільникового зв'язку. Для її застосування немає потреби створювати власну систему збору та обліку інформації, потрібно лише отримати доступ до даних, які колектуються операторами стільникового зв'язку. Позитивним є і можливість аналізу даних в онлайн режимі. Крім цього, використання методу забезпечує анонімність даних користувачів стільникового зв'язку.

Пропонований підхід дозволяє отримати інформацію практично про всі пересування мешканців міста, оскільки мобільними телефонами користується близько 90% міського населення.

Особливість стільникового зв'язку полягає в тому, що зона покриття території міста ділиться на «стільники», що визначається зонами покриття територій окремих базових станцій. Мережу становлять рознесені в просторі антени, які працюють в одному частотному діапазоні, і комутувальне устаткування, що дозволяє визначати поточне місце розташування абонентів, які пересуваються, і забезпечувати безперервність зв'язку при переміщенні абонента із зони дії однієї антени в зону дії іншої.

Розглянемо фрагмент міської території (рис.1), що складається з n стільників, кожному з яких відповідає певна антена A_i ($A_i = A_1, A_2, \dots, A_n$, $i = 1, \dots, n$). Кожна антена характеризується місцезнаходженням – географічними східною і західною довготою та північною і південною широтою її розташування ($A_i \text{ lon}_i; \text{lat}_i$).

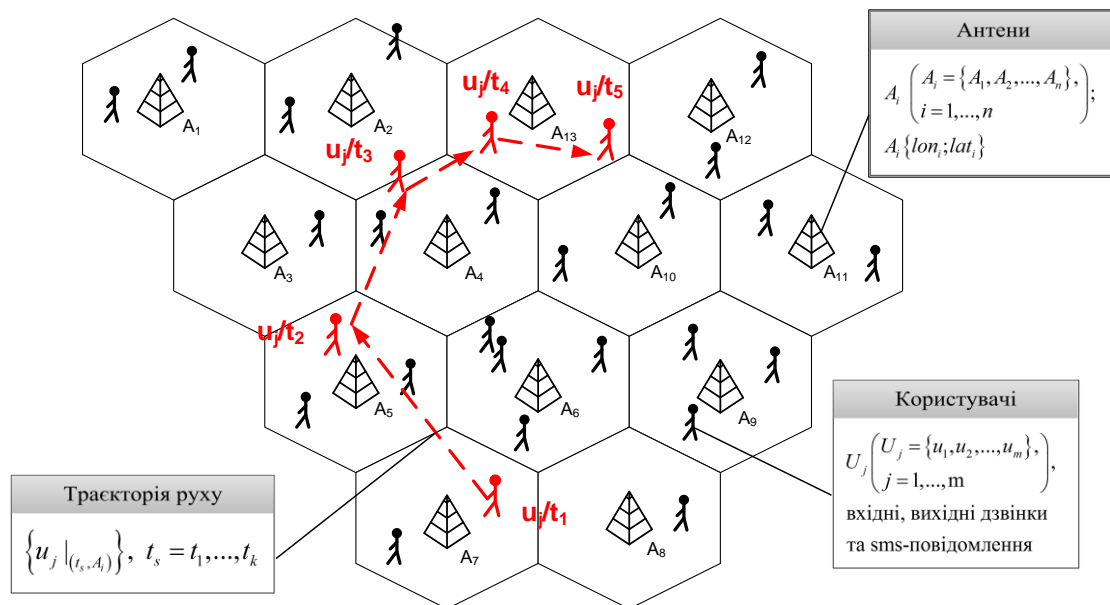


Рисунок 1 – Фрагмент міської території із траекторією руху абонента стільникового зв'язку

Об'єктом дослідження у роботі є користувачі стільникового зв'язку на території міста U_j ($U_j = u_1, u_2, \dots, u_m$, $j = 1, \dots, m$), які здійснюють трансакції (вхідні або вихідні дзвінки, надіслані або ж отримані sms-повідомлення). Кожна трансакція характеризується порядковим номером користувача u_j , номером антени A_i та часом здійснення (приймання) дзвінка t чи отримання (надсилання) повідомлення (u_j, A_i, t).

Траекторія руху кожного користувача u_j буде описуватися таким чином $u_j |_{t_s, A_i}$ - користувач стільникового зв'язку u_j у момент часу t_s знаходиться у зоні дії антени A_i (див. рис.1). Тоді порядок зміни місць перебування користувача на траекторії можна записати

$$u_j |_{t_s, A_i}, t_s = t_1, \dots, t_k, \tag{1}$$

де $u_j |_{t_s, A_i}$ - множина даних про зміну місцезнаходження користувачів стільникового зв'язку у часі.

Отже, переміщення мешканців міста різними траекторіями по території міста за даними трансакцій стільникового зв'язку формують пасажиропотоки. Пасажиропотоки переміщень мешканців (F_{ab}^T) можна охарактеризувати матрицею їх пересувань між антенами стільникового

зв'язку за кожен часовий інтервал, який може набувати значень від 1 год. до 1 доби $T = 1, \dots, C$. У цій роботі розглядався період - «ранковий пік» - 8.00-9.30 год. Із загальної інформації про транзакції опрацьовувалася лише та, що входить у ці часові рамки.

У результаті отримуємо множину користувачів стільникового зв'язку, потенційних пасажирів МПТ у кожний досліджуваний період часу, що описується їх порядковим номером, часом здійснення ними транзакції, номером антени, що зафіксувала цю транзакцію, та, власне, періодом часу

$$u_j |_{t_s, A_j, T}^T, T = 1, \dots, C \quad (2)$$

Тоді кількість користувачів стільникового зв'язку, які в межах періоду T перемістились з зони дії антени A_{n-1} у зону дії антени A_n (пасажиропотік між антенами стільникового зв'язку), описується виразом:

$$F_{A_{n-1}A_n}^T = \left\{ \sum_{u=1}^m u_j |_{A_{n-1}} t_s \rightarrow t_{\min}^T \right\} \cap A_n t_s \rightarrow t_{\max}^T, \quad (3)$$

де t_{\min}^T, t_{\max}^T - відповідно нижня та верхня межа часового інтервалу у періоді T .

Для створення матриці кореспонденцій пересувань мешканців міста використовували інформацію операторів мобільного зв'язку, приклад якої наведено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Інформація про здійснення транзакцій користувачами мобільного зв'язку

user_id	timestamp	site_id
1	2015-03-18 21:30:00	2
1	2013-03-18 21:40:00	4
1	2013-03-19 20:40:00	2
1	2013-03-19 20:40:00	2
1	2013-03-19 20:40:00	2
1	2013-03-19 20:40:00	2
1	2013-03-19 21:00:00	2
1	2013-03-19 21:30:00	4
1	2013-03-20 09:10:00	12
1	2013-03-21 13:00:00	12

У таблиці стовпець даних «user_id» - це порядковий номер абонента. Для кожного періоду дослідження з метою анонімності обирається нова вибірка користувачів та визначається їх порядковий номер.

Стовпець «timestamp» - це час, коли абонент здійснив транзакцію (рік, місяць та день місяця). Інші цифри – години, хвилини та секунди (частки хвилин і секунди не фіксуються і тому замінені нулями).

Стовпець «site_id» - номер антени стільникового зв'язку. Інформація про координати розміщення антени надається окремим файлом.

Для реалізації поставленого завдання було розглянуто фрагмент міської території, яку покриває мережа стільникового зв'язку із 13 антен. Використовуючи запропоновані у попередній роботі алгоритми поділу транзакцій абонентів мобільного зв'язку за періодами та алгоритм розрахунку пасажиропотоків між зонами дії антен [9], отримано матрицю кореспонденцій, наведену у таблиці 2. У клітинках «1-1», «2-2», «3-3» і т.д. інформація відсутня, оскільки переміщення в зоні дії однієї антени не розглядалось з огляду на те, що це зона пішохідної досяжності.

За допомогою даних про пасажиропотоки між зонами дії антен можна також визначити місця розташування об'єктів тяжіння, навіть не володіючи інформацією про транспортно-соціальну інфраструктуру міста. Відповідні графіки генерування та поглинання кореспонденцій розглянутого випадку наведено на рисунках 2 та 3.

Отже, в «ранковий пік» з 8.00 до 9.30 мешканці міста пересуваються до зони дії антен №8, 11-13. Очевидно, що там можуть бути розміщені такі об'єкти тяжіння як місця праці або ж навчання. У вихідні дні таким чином можна простежити культурно-побутові поїздки мешканців міста.

Таблиця 2 – Матриця кореспонденцій мешканців міста

Антени	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0	25	15	15	20	35	15	45	20	25	50	65	55
2	5	0	15	20	15	35	35	65	25	25	45	55	70
3	20	20	0	20	15	25	40	50	25	30	65	75	55
4	25	15	10	0	15	15	10	40	15	35	50	45	60
5	20	25	30	25	0	30	15	65	20	25	70	55	50
6	15	20	20	30	20	0	25	60	15	25	65	50	55
7	30	30	20	20	15	25	0	65	10	30	55	45	50
8	5	10	10	15	10	20	10	0	10	15	20	30	25
9	15	15	20	30	20	25	20	70	0	20	75	60	80
10	20	15	10	35	20	25	30	80	20	0	70	65	70
11	10	15	10	15	10	15	15	25	15	5	0	20	30
12	20	25	10	15	10	15	15	20	15	20	35	0	35
13	15	20	10	10	15	20	25	35	20	25	30	25	0

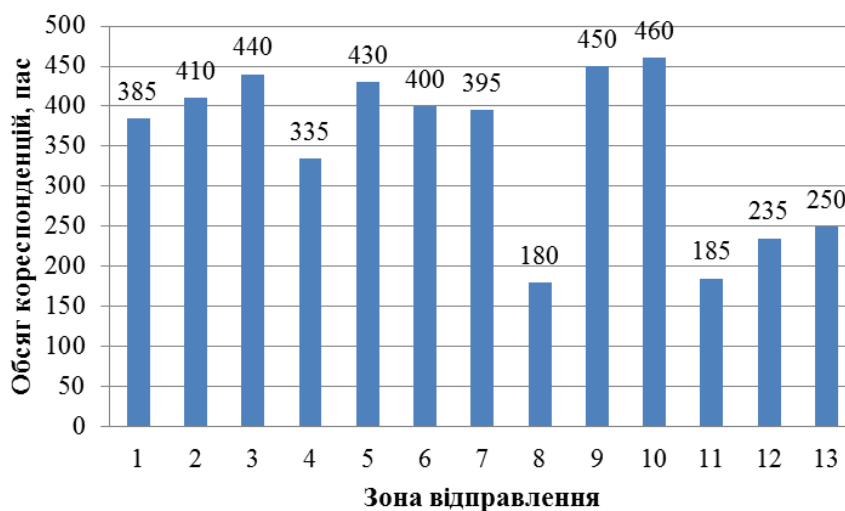


Рисунок 2 – Генерування кореспонденцій

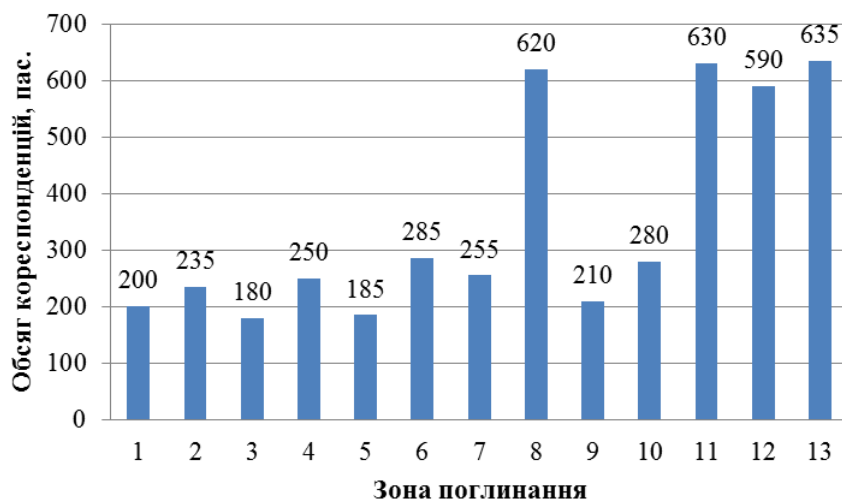


Рисунок 3 – Поглинання кореспонденцій

Висновки. У роботі наведено нову методику створення матриці кореспонденцій мешканців міста, потенційних пасажирів МПТ, що дозволяє без значних трудових та фінансових затрат обстежувати пасажиропотоки між зонами дій антен стільникового зв'язку та встановлювати розміщення об'єктів тяжіння. Перевагою її над чинними на сьогодні є і те, що використовувана у ній інформація постійно оновлюється та є повністю анонімною.

Описаний підхід повністю задовольняє вимогам, які ставляться до моделей отримання матриць, він є відносно простим у застосуванні, гнучким та універсальним, може використовуватися як для великих, так і для малих міст. Використання розробленої методики дасть можливість адекватно оцінити фактичні обсяги пересувань мешканців міста.

У подальшому запропонована методика побудови матриці кореспонденцій буде використовуватися для оптимізації маршрутів міського пасажирського транспорту за критерієм привабливості їх для пасажирів, або ж їх формування.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Norbert Oppenheim. *Urban Travel Demand Modeling* / Oppenheim Norbert. – John Wiley and Sons, 1995. – 480 p.
2. *Public Transport Assignment*. – Department for Transport, *Transport Analysis Guidance*. – London, 2013. – 23 p.
3. Брайловский Н.О. Моделирование транспортных систем / Н.О. Брайловский, Б.И. Грановский. – М.: Транспорт, 1978. – 124 с.
4. Гецович Є.М. Коригування матриці транзитних транспортних кореспонденцій у центральних частинах міст / Є.М. Гецович, Д.В. Засядько, В.М. Панін // *Весник ХНАДУ*. – 2013. – вып. 61-62. – С. 60-63.
5. Ortuzar J. de D. *Modelling transport*. Third edition / J. de D. Ortuzar, L.G. Willumsen. – John Wiley & Sons Ltd., 2006. – 499 p.
6. Sheffy Y. *Urban Transportation Networks. Equilibrium Analisis with Mathematical Programming Methods* / Y. Sheffy. – Engelwood Cliffs: Prentice-Hall, 1995. – 400 p.
7. Лагереv Р.Ю. Методы восстановления матриц корреспонденций по данным загрузки сети / Р.Ю. Лагереv // *Информационные технологии и проблемы математического моделирования сложных систем*. – Иркутск: ИИТМ ИрГУПС. – 2005. – Вып. 3. – С. 111-115.
8. Білоус А.Б. Аналіз методів та моделей розрахунку обсягу пасажирських кореспонденцій / А.Б. Білоус, І.А. Демчук // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. - 2014. - № 3(3). - С. 53-57.
9. Білоус А. Алгоритм розрахунку пересувань мешканців міста з використанням масиву даних транзакцій систем стільникового зв'язку / А. Білоус, І. Демчук // *Матеріали Всеукраїнської науково-теоретичної конференції: Проблеми з транспортними потоками і напрями їх розв'язання: тези доповідей*. - Львів, 2015.- С.82-84.

REFERENCES

1. Norbert Oppenheim. (1995). *Urban Travel Demand Modeling*. John Wiley and Sons, 480.
2. *Public Transport Assignment* (2013). London: Department for Transport, *Transport Analysis Guidance*, 23 p.
3. Brailovskyi N.O., Hranovskyi B.Y. (1978). *Modelyrovanye transportnykh system* [Simulation of transportation systems]. Moscow: Transport, 124 (Rus).
4. Hetsovych Ye.M., Zasiadko D.V., Panin V.M. (2013). *Koryhuvannia matrytsi tranzytnykh transportnykh korespondentsii u tsentralnykh chastynakh mist* [The adjustment matrix correspondence transit transport in central]. *Vesnyk KhNADU*, vip. 61-62, 60-63 (Ukr).
5. Ortuzar J. de D., Willumsen L.G. (2006). *Modelling transport*. Third edition. John Wiley & Sons Ltd., 499 p.
6. Sheffy Y. (1995). *Urban Transportation Networks. Equilibrium Analisis with Mathematical Programming Methods*. Engelwood Cliffs: Prentice-Hall, 400.
7. Laherev R. Yu. (2005). *Metodi vosstanovleniya matryts korrespondentsyi po dannim zahruzky sety* [Recovery methods according to correspondence matrices network load] *Ynformatsyonnie tekhnolohyy u problemi matematycheskoho modelyrovanyia slozhnykh system* (№ 3). Yrkutsk: YYTM YrHUPS, 111-115 (Rus).
8. Bilous A.B., Demchuk I.A. (2014). *Analiz metodiv ta modelei rozrakhunku obsiahu pasazhyrskykh korespondentsii* [Analysis of calculation methods and models of passenger correspondence] *Vostochno-Evropeyskyi zhurnal peredovykh tekhnolohiy* № 3(3), 53-57 (Ukr)

9. Bilous A.B., Demchuk I.A. (2015) Alhorytm rozrakhunku peresuvan meshkantsiv mista z vykorystanniam masyvu danykh transaktzii system stilnykovoho zviazku [Algorithm for calculating the movements of residents using panel data transactions cellular systems] Materialy Vseukrainskoi naukovo-teoretychnoi konferentsii: Problemy z transportnymy potokamy i napriamy yikh rozviazannia: tezy dopovidei. Lviv, 82-84.

РЕФЕРАТ

Форнальчик Є.Ю. Створення матриці кореспонденцій пересувань пасажирів на основі даних операторів стільникового зв'язку / Є.Ю. Форнальчик, І.А. Демчук // Економіка та управління на транспорті. – К.: НТУ, 2016. – Вип. 3.

У статті наведено розроблену методику формування матриці кореспонденцій мешканців міста, яка дає змогу без значних трудових та фінансових затрат обстежувати пасажиропотоки на основі масивів інформації абонентів стільникового зв'язку між зонами дій антен цього зв'язку та визначити розміщення об'єктів тяжіння.

Об'єкт дослідження – обсяги кореспонденцій пересування населення.

Мета роботи – створення матриці кореспонденцій пересувань пасажирів на основі даних операторів стільникового зв'язку, яка, порівняно, з побудовою матриць за традиційними підходами, є нересурсовитратною.

Метод дослідження – комп'ютерне програмування для опрацювання даних позиціонування користувачів мобільного зв'язку.

Розглянуто приклад фрагменту міста, територію якого покривають 13 антен стільникового зв'язку. З використанням інформації операторів мобільного зв'язку про здійснені трансакції абонентів, а також за допомогою відповідних алгоритмів опрацювання таких даних, побудовано матрицю кореспонденцій пересувань жителів міста. За допомогою графіків обсягів поглинання та генерування кореспонденцій зонами дій кожної з антен стільникового зв'язку, побудованих на основі створеної матриці, можна встановити і місце розташування об'єктів тяжіння міста.

Використання запропонованої методики побудови матриці кореспонденцій дасть змогу використовувати її для оптимізації маршрутів громадського транспорту за критерієм привабливості їх для пасажирів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: МАТРИЦІ, КОРЕСПОНДЕНЦІЇ, ПАСАЖИРИ, ЗВ'ЯЗОК, СТІЛЬНИКОВИЙ, ОПЕРАТОРИ.

ABSTRACT

Fornalchik E.Yu., Demchuk I.A. The creation of the correspondence matrix of passenger movements on the basis of data of cellular communication operators. Economics and management on transport. Kyiv. National Transport University. 2016. Vol. 3.

In the article there are given the developed technique of formation of correspondence matrix of residents, which allows to inspect without considerable labor and financial expenses passenger traffics, on the basis of information arrays of subscribers of cellular communication between zones of aerial operations of this communication and to define the placements of gravitation objects.

The object of research is the volumes of correspondences of population movement.

The purpose of research is the creation of the matrix of correspondence of passenger movements on the basis of these mobile operators, which, in comparison with construction of matrixes on traditional approaches, is not resource expense.

The method of research is the computer programming for data processing of positioning of users of mobile communication.

It is examined the example of the city fragment which territory is covered by 13 aeriels of cellular communication. It is constructed the matrix of correspondence of resident movements with using information of mobile operators about carried out transactions of subscribers and also by means of the corresponding algorithms of processing of such data. By means of schedules of volumes of absorption and generation of correspondence by zones of actions of each of the aeriels of cellular communication, constructed on the basis of the created matrix, it is also possible to establish the location of gravitation objects of the city.

The use of the offered technique of creation of the correspondence matrix will allow to use it for optimization of routes of public transport by criterion of attractiveness them for passengers.

KEYWORDS: MATRIXES, CORRESPONDENCES, PASSENGERS, COMMUNICATION, CELLULAR, OPERATORS.

РЕФЕРАТ

Форнальчик Е.Ю. Создание матрицы корреспонденций передвижений пассажиров на основании данных операторов сотовой связи / Е.Ю. Форнальчик, И.А. Демчук // Экономика и управление на транспорте. – К.: НТУ, 2016. – Вып. 3.

В статье представлена разработанная методика формирования матрицы корреспонденций жителей города, которая позволяет без значительных трудовых и финансовых издержек обследовать пассажиропотоки на основании массивов информации абонентов сотовой связи между зонами действий антенн этой связи и определять размещения объектов тяготения.

Объект исследования – объемы корреспонденций передвижения населения.

Цель работы – создание матрицы корреспонденций передвижений пассажиров на основании данных операторов сотовой связи, которая, по сравнению с построенной матрицей с традиционными подходами, оказывается малоресурсозатратной.

Метод исследования – компьютерное программирование для обработки данных позиционирования пользователей мобильной связи.

Рассмотрен пример фрагмента города, территорию которого покрывает 13 антенн сотовой связи. С использованием информации операторов мобильной связи о реализации транзакций абонентов, а также с помощью соответствующих алгоритмов обработки таких данных, построена матрица корреспонденций передвижения жителей города. С помощью графиков объемов поглощения и генерирования корреспонденций зонами действий каждой из антенн сотовой связи, построенных на основании созданной матрицы, можно установить места размещения объектов тяготения города.

Использование предлагаемой методики построения матрицы корреспонденций даст возможность применять её в оптимизации маршрутов общественного транспорта по критерию привлекательности их для пассажиров.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: МАТРИЦЫ, КОРРЕСПОНДЕНЦИИ, ПАССАЖИРЫ, СВЯЗЬ, СОТОВАЯ, ОПЕРАТОРЫ.

АВТОРИ:

Форнальчик Євген Юліанович, доктор технічних наук, професор, Національний університет «Львівська політехніка», завідувач кафедри «Транспортні технології», e-mail: yevgen.fornaltchuk@gmail.com, тел. +380974633364, Україна, 79013, м. Львів, вул. С. Бандери, 32, к. 211.

Демчук Інна Андріївна, аспірант кафедри «Транспортні технології», Національний університет «Львівська політехніка», e-mail: demchuk_inna@ukr.net, тел. +380967889742, Україна, 79013, м. Львів, вул. С. Бандери, 32, к. 212.

AUTHOR:

Fornalchuk Evgen Yu., Dr. Sc. (engineering), professor, National University «Lviv Polytechnic», head, department of «Transport technologies», e-mail: yevgen.fornaltchuk@gmail.com, tel. +380974633364, Ukraine, 79013, Lviv, S. Bandera str., 32, r. 211.

Demchuk Inna A., graduate student, department of «Transport technologies», National University «Lviv Polytechnic», e-mail: demchuk_inna@ukr.net, tel. +380967889742, Ukraine, 79013, Lviv, S. Bandera str, 32, r. 212.

АВТОРЫ:

Форнальчик Евгений Юлианович, доктор технических наук, профессор, Национальный университет «Львовская политехника», заведующий кафедрой «Транспортные технологии», e-mail: yevgen.fornaltchuk@gmail.com, тел. +380974633364, Украина, 79013, г. Львов, ул. С. Бандеры, 32, к. 211.

Демчук Инна Андреевна, аспирант кафедры «Транспортные технологии», Национальный университет «Львовская политехника», e-mail: demchuk_inna@ukr.net, тел. +380967889742, Украина, 79013, г. Львов, ул. С. Бандеры, 32, к. 212.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Крайник Л.В., доктор технічних наук, доцент, Національний університет «Львівська політехніка», професор кафедри «Автомобілебудування», Львів, Україна.

Бакуліч О.О., кандидат технічних наук, професор, Національний транспортний університет, декан факультету менеджменту, логістики та туризму, Київ, Україна.

REVIEWERS:

Kraynyk L.V., Dr. Sc. (engineering), associate professor, National University «Lviv Polytechnic», professor, department of «Automotive», Lviv, Ukraine.

Bakulich O.O, Ph.D. (engineering), professor, National Transport University, dean, faculty of Management, Logistics and Tourism, Kyiv, Ukraine.