

УДК 656.13

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.148.2014.72871>

**ЗАКОНОМІРНОСТІ РОЗПОДІЛУ ПАСАЖИРСЬКИХ КОРЕСПОНДЕНЦІЙ МІЖ
АЛЬТЕРНАТИВНИМИ ВАРІАНТАМИ ШЛЯХУ ПЕРЕСУВАННЯ У МІСТАХ**

Кандидати техн. наук Д.П. Понкратов, Г.І. Фалецька

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПАССАЖИРСКИХ КОРЕСПОНДЕНЦИЙ
МЕЖДУ АЛЬТЕРНАТИВНЫМИ ВАРИАНТАМИ ПУТИ ПЕРЕДВИЖЕНИЯ В ГОРОДАХ**

Кандидаты техн. наук Д.П. Понкратов, Г.И. Фалецкая

**REGULARITIES OF PASSENGER TRIPS DISTRIBUTION AMONG ALTERNATIVE PATHS IN
THE CITIES**

Cand. of techn. sciences D. Ponkratov, G. Faletska

Проведено варіювання факторів, що впливають на розподіл кореспонденцій за шляхами пересування та здійснено оцінку їх впливу на залежну змінну. Як залежну змінну використовували частку кореспонденції, що реалізується за кожним шляхом пересування з множини альтернативних. В якості факторів були виділені: кількість транспортних засобів на маршруті; швидкість сполучення; середнє квадратичне відхилення від планового інтервалу руху; імовірність відмови пасажирів в посадці; коефіцієнт використання пасажиромісткості; величина тарифу.

Ключові слова: пасажирські кореспонденції, шлях пересування, кількість транспортних засобів, швидкість сполучення, імовірність відмови пасажирів в посадці.

Проведено варьирование факторов, которые влияют на распределение корреспонденций между путями передвижения и выполнена оценка их влияния на зависимую переменную. В качестве зависимой переменной использовали долю корреспонденции, которая реализуется по каждому пути передвижения из множества альтернативных. В качестве факторов были выделены: количество транспортных средств на маршруте; скорость сообщения; среднее квадратическое отклонение от планового интервала движения; вероятность отказа пассажира в посадке; коэффициент использования пассажироместимости; величина тарифа.

Ключевые слова: пассажирские корреспонденции, путь передвижения, количество транспортных средств, скорость сообщения, вероятность отказа пассажира в посадке.

Varying of factors that affect on the distribution of passenger trip distribution among alternative paths in the transit network was conducted. The aim of the factor variation was to estimate their influence on the dependent variable. As the dependent variable used share of passenger, which has been make trips by alternative paths of the alternative set. As the factors were identified: number of vehicles on the route; speed of movement; standard headway deviation; failure of the passenger boarding probability; degree of vehicle capacity use; fare size.

Varying factors was performed on a separate route which is part of the path at constant parameters of the transportation process on other routes. To evaluate the performance of alternative paths technique was used, which involves an assessment of the generalized travel cost. Generalized cost depends on the travel time, the level of transport fatigue of the passengers and the fare size.

As a result of the study showed the direction and strength of the influence of individual factors on the trip distribution among alternative paths.

Keywords: passenger trip, alternative paths, number of vehicles, speed of movement, failure of the passenger boarding probability.

Вступ. Основним завданням міського пасажирського транспорту є своєчасне й повне задоволення потреб населення в пересуваннях. При розробці заходів, спрямованих на удосконалення організації та планування пасажирських перевезень, першочергове значення має інформація про попит на транспортні послуги, тобто про транспортні потреби мешканців міста. Правильність вирішення всього комплексу завдань організації та планування міських пасажирських перевезень безпосередньо залежить від того, наскільки точно вдасться спрогнозувати потреби населення у транспортних пересуваннях (попит на транспортні послуги) у часі та просторі.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Забезпечення необхідного рівня транспортного обслуговування населення, як при удосконалюванні роботи діючої системи міського пасажирського транспорту, так і при розробці перспективних проектних рішень, можливе лише на базі глибокого і всебічного вивчення потреб жителів міста в пересуваннях. На підставі цих даних можливо обрати найбільш доцільні методи задоволення попиту мешканців міста на транспортні послуги. При цьому слід враховувати, що введення різних змін у параметри маршрутної мережі, що впливають на вибір пасажиром шляху пересування, призводить до перерозподілу пасажирських кореспонденцій між альтернативними варіантами шляху

пересування, унаслідок чого параметри пасажиропотоків змінюються. Відповідно, при розробці заходів, спрямованих на вдосконалення організації пасажирських перевезень, необхідно враховувати зворотні зв'язки між рівнем розвитку перевезень і попитом на них із боку пасажирів. Таким чином проблема визначення причинно-наслідкових зв'язків між параметрами, що характеризують рівень транспортного обслуговування та розподілом пасажирських кореспонденцій між альтернативними варіантами шляху пересування є актуальною та потребує вивчення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Найбільш складним питанням транспортного проектування, що вносить основну частку невизначеності у транспортний розрахунок і визначає основну частку помилки розрахунку кореспонденцій, є розподіл пасажиропотоків транспортною мережею. При загальній похибці розрахунку сумарного обсягу перевезень близько 15–20 % похибка розподілу пасажиропотоків ділянками мережі може досягати 100 % і більше [1].

Завдання вивчення і прогнозування пасажиропотоків має як наукову, так і практичну значущість. Із практичної точки зору вирішення цієї проблеми дає змогу визначити очікуваний пасажиропотік і на цій основі розраховувати технічні й експлуатаційні показники функціонування маршрутів. Наукова мета вирішення завдання вивчення і прогнозування пасажиропотоків полягає в дослідженні впливу різних факторів на формування пасажиропотоку [2].

У транспортних розрахунках існує два підходи до опису поточкових процесів: нормативний і дескриптивний. Нормативний підхід переважно застосовують для опису вантажопотоків у транспортних мережах. При дескриптивному підході структура потоків формується на основі індивідуальних рішень користувачів транспортної системи [3]. Виходячи з цих позицій, формування пасажиропотоків є наслідком колективної поведінки пасажирів, в основі якої лежить незалежна поведінка індивідумів, які прагнуть досягти власних цілей [4].

Існуючі підходи до розподілу пасажирських кореспонденцій (моделі вибору пасажиром шляху пересування) в якості факторів враховують: витрати часу на пересування за його складовими (час пішохідного руху, час чекання пасажиром на зупинному пункті, час поїздки в транспортному засобі), величину плати за проїзд, наявність пересадок та інші [5-10]. Разом з цим, недостатньо уваги приділено висвітленню

питань взаємозв'язку між параметрами транспортного обслуговування та характеристиками розподілу пасажирських кореспонденцій маршрутною мережею міського пасажирського транспорту.

Метою роботи є дослідження закономірностей розподілу пасажирських кореспонденцій між альтернативними варіантами шляху пересування у містах.

Основна частина дослідження. Оцінку впливу факторів на розподіл пасажирських кореспонденцій покажемо використовуючи в якості вхідних даних параметри пересування пасажирів за альтернативними шляхами пересування параметри яких наведені у табл. 1. Як альтернативні розглянуто 6 шляхів пересування, які включають різне поєднання пішохідної складової пересування, поїздки у транспорті з використанням різних маршрутів. Безпересадочного сполучення для цих пунктів відправлення та призначення немає, внаслідок цього всі шляхи пересування передбачають здійснення однієї пересадки (дві маршрутні поїздки).

Таблиця 1

Параметри пересування пасажирів за альтернативними шляхами пересування

Номер шляху пересування	Відстань пішохідного підходу до зупинного пункту, км	Кількість маршрутних поїздок, од.	Вид транспорту	Номер маршруту	Довжина маршруту, км	Експлуатаційна швидкість, км/год	Кількість транспортних засобів, од.	Плановий інтервал руху, хв	Середнє квадратичне відхилення від планового інтервалу, хв	Імовірність відмови пасажирів в посадці	Відстань маршрутної поїздки, км	Швидкість сполучення, км/год	Коефіцієнт використання пасажиромісткості	Тариф, грн	Час пішого руху під час пересадки, хв	Відстань пішохідного підходу від зупинного пункту, км
1	0,44	2	А	206	7,7	18,3	7	6,7	2,23	0,24	5,5	20,2	0,91	3,0	1,0	0,38
			А	10е	6,2	19,2	8	4,8	1,6	0,00	2,5	21,0	0,51	3,0	-	
2	0,44	2	А	206	7,7	18,3	7	6,7	2,23	0,24	5,5	20,2	0,91	3,0	1,0	0,55
			А	281	6,7	18,9	6	7,1	2,57	0,00	2,8	21,2	0,45	3,0	-	
3	0,44	2	А	107	16,	18,8	1	10,3	3,43	0,18	5,5	20,6	0,88	3,5	1,0	0,38
			А	10е	6,2	19,2	8	4,8	1,6	0,00	2,5	21,0	0,51	3,0	-	
4	0,44	2	Тл	31	9,9	15,2	8	9,8	3,27	0,09	7,6	16,3	0,84	2,0	1,0	0,42
			Тм	6	12,	14,1	9	11,6	3,87	0,00	2,9	15,1	0,49	2,0	-	
5	0,53	2	А	28	3,7	24,6	2	9,0	3,0	0,26	3,7	27,4	1,18	1,0	3,0	0,59
			А	215	21,	18,1	5	28,4	6,52	0,00	6,9	21,3	0,65	3,5	-	
6	0,44	2	А	107	16,	18,8	1	10,3	3,43	0,18	5,5	20,6	0,88	3,5	1,0	0,55
			А	281	6,7	18,9	6	7,1	2,57	0,00	2,8	21,2	0,45	3,0	-	

Оцінку характеристик альтернативних шляхів пересування виконували з використанням методики, що наведена у праці [11]. Згідно з нею значення узагальненої вартості пересування залежить від витрат часу на його здійснення, рівня транспортної стомлюваності пасажирів та величини плати за проїзд. У свою чергу, ці показники визначаються низкою факторів, що характеризують параметри транспортного обслуговування, рівень тарифів на послуги маршрутного пасажирського транспорту та соціально-економічні умови життя населення.

Частку кореспонденції, що реалізується k -им шляхом пересування з множини альтернативних визначали за формулою:

$$P_{ij}^k = \frac{\exp(\beta \Delta C_{nepij}^k)}{\sum_{k=1}^m \exp(\beta \Delta C_{nepij}^k)}, \quad (1)$$

де β - коефіцієнт моделі ($\beta = -0,0683$);

ΔC_{nepij}^k - відхилення величини узагальнених витрат на пересування для k -го шляху від критичного, %;

m - кількість шляхів пересування, що входять до множини альтернативних, од.

Для дослідження закономірностей розподілу кореспонденцій між альтернативними шляхами пересування проведено варіювання факторів моделі з метою оцінки їх впливу на залежну змінну. Як залежну змінну розглядали частку кореспонденції, що реалізується за кожним шляхом пересування з множини альтернативних.

В якості факторів (керованих змінних), що впливають на розподіл пасажирських кореспонденцій, було виділено наступні: кількість транспортних засобів на маршруті, швидкість сполучення, середнє квадратичне відхилення від планового інтервалу руху, імовірність відмови пасажирів в посадці, коефіцієнт використання пасажиромісткості, величина тарифу. Для цих змінних було визначено діапазон варіювання, згідно до якого виконували зміну параметрів транспортного процесу на маршруті 206 е. При цьому параметри пересування на інших маршрутах,

що формують альтернативні шляхи пересування, приймали як сталі.

Зі зростанням кількості транспортних засобів, що працюють на маршруті 206 е, частка кореспонденції, що реалізується за шляхами 1 та 2 збільшується, в той час як для шляхів 3 – 6 зменшується (рис. 1). Це пов'язано з тим, що маршрут 206 е входить як складник у шляхи пересування 1 та 2. Зміна кількості транспортних засобів на маршруті позначається на інтервалі руху та впливає на час очікування пасажирів на зупинному пункті. Як наслідок, зі зростанням кількості транспортних засобів зменшується час пересування та його вартісна оцінка. Крім цього зменшення часу очікування позначається на зменшенні транспортної стомлюваності пасажирів, що робить використання шляхів 1 та 2 більш привабливими для пересування пасажирів. Зменшення частки кореспонденції для інших шляхів (3-6) пояснюється перерозподілом кореспонденцій між шляхами, які розглядаються.

Підвищення швидкості сполучення транспортних засобів на маршруті 206 е призводить до зростання частки кореспонденцій, що реалізуються за шляхами 1 та 2 (рис. 2). Це пов'язано з тим, що існує зворотний зв'язок між швидкістю сполучення, тривалістю поїздки та рівнем транспортної стомлюваності пасажирів. Зміна швидкості сполучення з 12 до 30 км/год викликає зростання частки кореспонденцій, що реалізуються за шляхом пересування № 1, з 0,151 до 0,297 (на 96,7 %). Для другого шляху пересування відповідна зміна швидкості сполучення позначається на зростанні частки кореспонденцій на 81 %.

Таким чином, швидкість сполучення на маршруті є вагомим фактором, що характеризує привабливість шляху пересування для пасажирів. Підвищення швидкості сполучення можна досягти за рахунок оптимізації розміщення зупинних пунктів, надання пріоритету в русі маршрутному транспорту та ін.

Середнє квадратичне відхилення від планового інтервалу є показником регулярності руху транспортних засобів на маршруті. Більш регулярний рух характеризується меншою величиною середнього квадратичного відхилення. Таким чином, зростання цього показника призводить до зменшення частки

кореспонденцій, що будуть використовувати цей маршрут (рис. 3). Однак вплив регулярності руху на привабливість шляхів пересування є значно меншим у порівнянні з вище розглянутими факторами (кількістю транспортних засобів та швидкістю

сполучення). В результаті збільшення середнього квадратичного відхилення від 0,5 до 5 хв. частка кореспонденцій, що реалізується за першим та другим шляхом пересування, зменшується на 5,5 та 5,9 % відповідно.

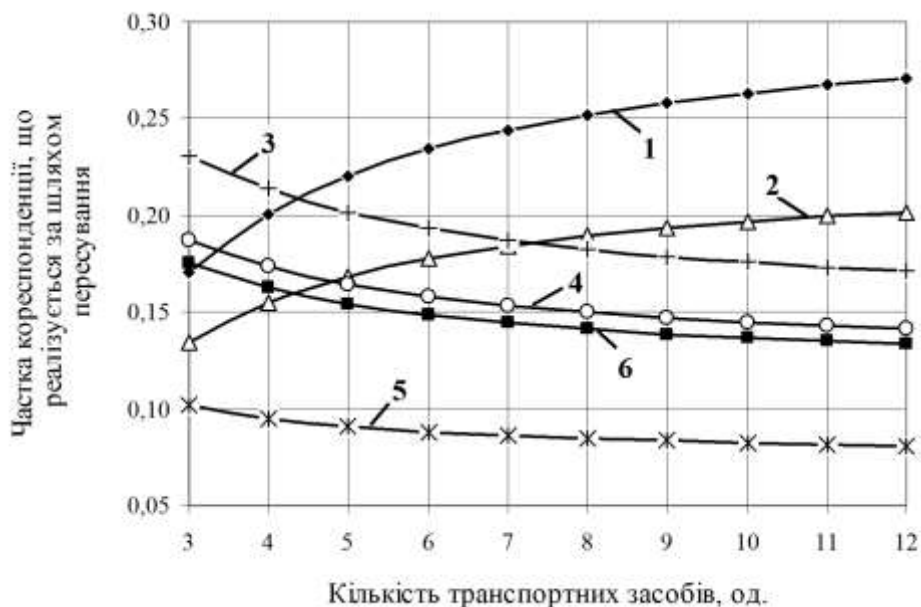


Рис. 1. Графік розподілу пасажирських кореспонденцій між альтернативними шляхами пересування залежно від кількості транспортних засобів, що працюють на маршруті 206 е:
1, 2, 3, 4, 5, 6 – номери шляхів пересування

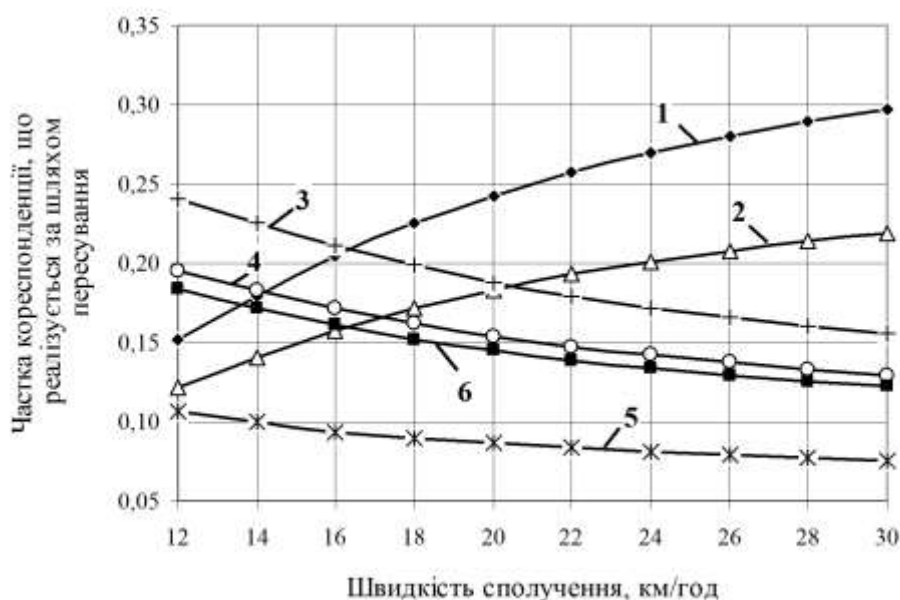


Рис. 2. Графік розподілу пасажирських кореспонденцій між альтернативними шляхами пересування залежно від швидкості сполучення на маршруті 206 е

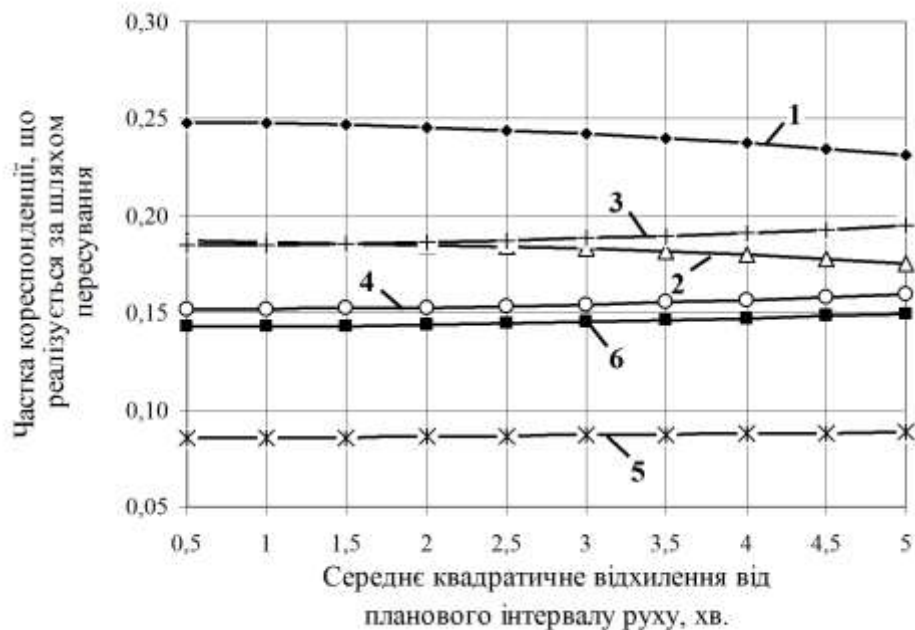


Рис. 3. Графік розподілу пасажирських кореспонденцій між альтернативними шляхами пересування залежно від середнього квадратичного відхилення від планового інтервалу руху на маршруті 206 е

Імовірність відмови пасажирів у посадці виникає через перевищення попиту на послуги маршрутного пасажирського транспорту над рівнем транспортної пропозиції. У цьому випадку певна частка пасажирів не має можливості здійснити посадку у транспортний засіб, що подано до зупинного пункту через його переповнення та змушена очікувати на прибуття наступного. Зростання імовірності відмови в посадці призводить до збільшення часу очікування. У свою чергу це позначається на часі пересування та рівні транспортної стомлюваності пасажирів. Зміна імовірності відмови у діапазоні від 0 до 0,63 призводить до зменшення частки кореспонденцій, що реалізуються за першим шляхом пересування на 40,4 % та 36,7 % для другого шляху (рис. 4).

Зменшення імовірності відмови пасажирів у посадці може бути знижено за рахунок збільшення кількості транспортних засобів та підвищення регулярності їх руху.

Коефіцієнт використання пасажиромісткості є показником, що характеризує комфортабельність здійснення поїздки та разом із її тривалістю визначає рівень транспортної стомлюваності пасажирів. Значення коефіцієнта використання пасажиромісткості, що дорів-

нює 1, відповідає повній зайнятості місць для сидіння та середньому заповненню 5 пас./м² вільної площі підлоги транспортного засобу. Здійснення поїздки у транспортному засобі з коефіцієнтом використання пасажиромісткості значно впливає на рівень транспортної стомлюваності пасажирів та позначається на результатах виробничої діяльності при здійсненні трудових пересувань. Вплив цього показника на частку кореспонденцій не є пропорційним. Так, зміна коефіцієнта використання пасажиромісткості від 0,4 до 1 призводить до зменшення частки кореспонденцій на 15,1 та 10,1 % відповідно на першому та другому шляху пересування (рис. 5). Подальше зростання коефіцієнту в діапазоні 1-1,3 призводить до зменшення кореспонденцій для цих шляхів на 30,7 та 21,4%.

Між величиною тарифу на маршруті, що входить до шляху пересування та часткою кореспонденцій, яка буде за ним реалізована існує зворотний зв'язок (рис. 6). Зростання величини тарифу на маршруті призводить до зменшення імовірності його вибору пасажиромістами та більша частка кореспонденцій буде реалізовуватися за шляхами пересування

де величина плати за проїзд менша. Зміна тарифу на маршруті 206 є від 1 до 5,5 грн викликає зменшення частини кореспонденції, що буде реалізована за першим шляхом пересування, у 2,63 рази та 2,36 – на другому шляху.

Таким чином, проведений аналіз показав, що зміна параметрів перевезень на одному

маршруті призводить до перерозподілу кореспонденцій між альтернативними варіантами шляху пересування. При цьому розглянуті фактори чинять різний вплив на частку кореспонденції, що реалізується за кожним шляхом пересування з множини альтернативних, як за напрямком впливу, так і за величиною.

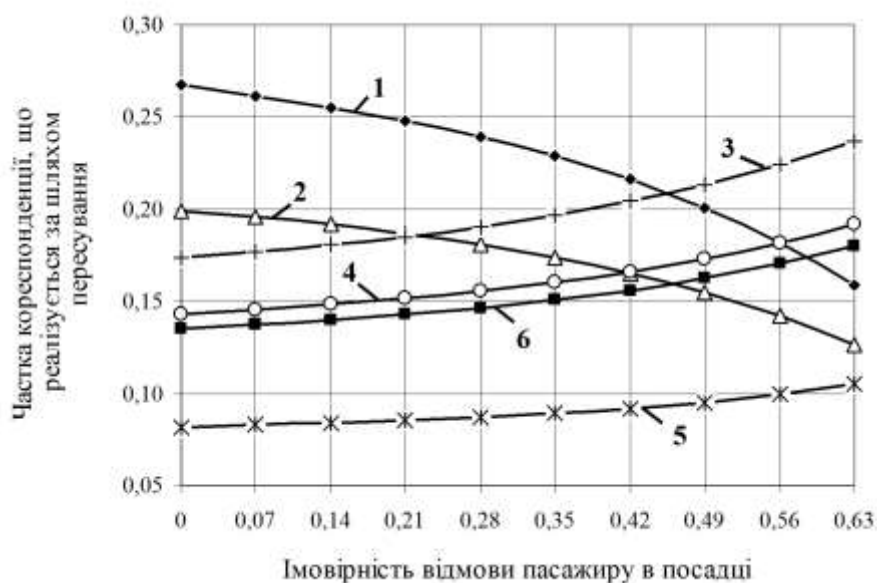


Рис. 4. Графік розподілу пасажирських кореспонденцій між альтернативними шляхами пересування залежно від імовірності відмови пасажирів у посадці на маршруті 206

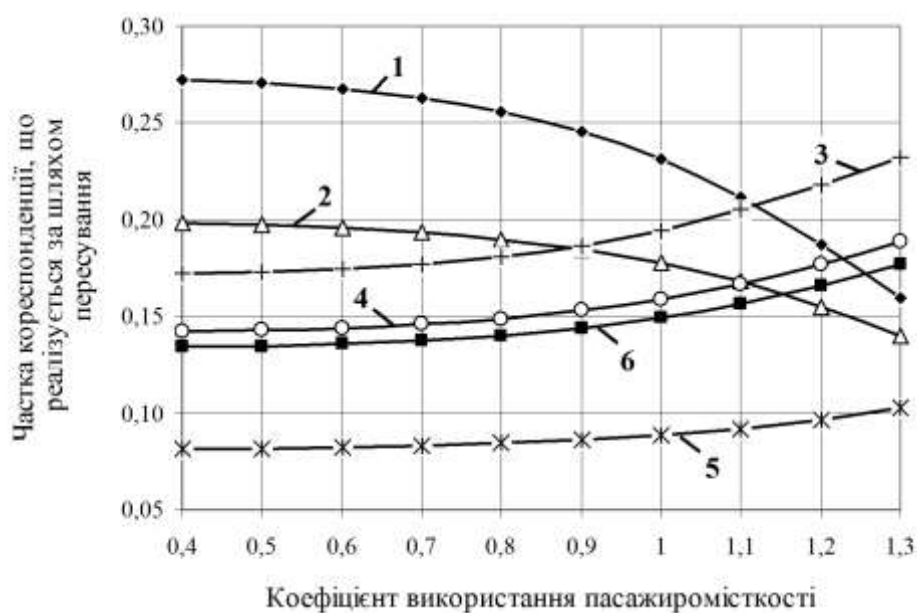


Рис. 5. Графік розподілу пасажирських кореспонденцій між альтернативними шляхами пересування залежно від коефіцієнту використання пасажиромісткості на маршруті 206

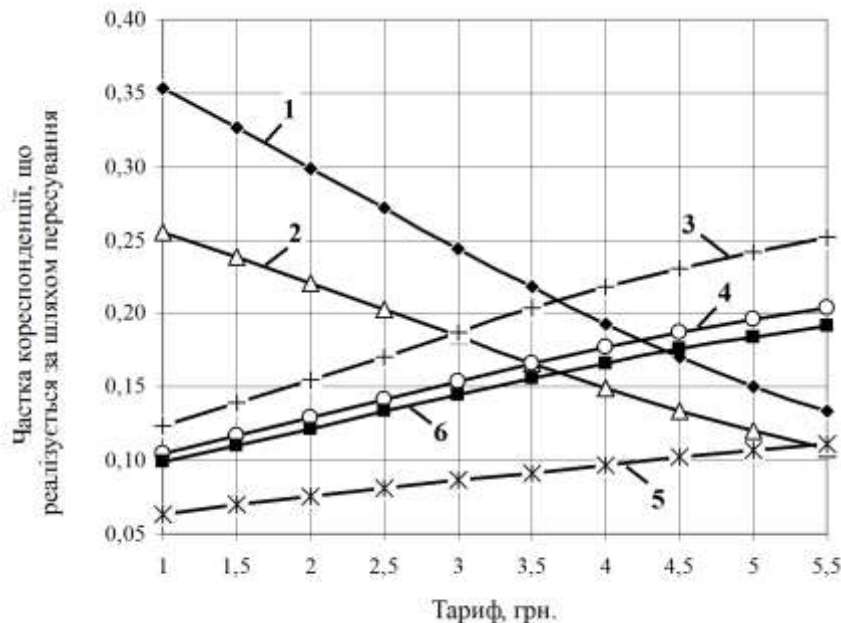


Рис. 6. Графік розподілу пасажирських кореспонденцій між альтернативними шляхами пересування залежно від величини тарифу на маршруті 206 е

Висновки. Зміна таких показників, як кількість транспортних засобів, середнє квадратичне відхилення від планового інтервалу руху та імовірність відмови пасажиру в посадці впливає на час очікування пасажирями на зупинному пункті та транспортну стомлюваність пасажирів. Швидкість сполучення та коефіцієнт використання пасажиромісткості характеризують тривалість і комфортабельність здійснення поїздки. Величина тарифу визначає грошові витрати на здійснення пересування.

Між часткою кореспонденції, що реалізуються за шляхом пересування та такими факторами як, кількість транспортних засобів і швидкість сполучення спостерігається прямий

зв'язок. Зростання середнього квадратичного відхилення від планового інтервалу руху, імовірності відмови пасажиру в посадці, коефіцієнта використання пасажиромісткості та величини тарифу викликає зменшення частки кореспонденції, що реалізуються за цим шляхом пересування.

Слід зазначити, що фактори були розглянуто як незалежні один від одного. Разом з цим зміна одного з керованих факторів призводить до певної зміни інших. Внаслідок цього напрямком подальших досліджень є врахування системних зв'язків між факторами, що зумовлюють розподіл пасажирських кореспонденцій маршрутною мережею міського пасажирського транспорту.

Список використаних джерел

1. Ефремов, И.С. Теория городских пассажирских перевозок [Текст]: учеб. пособие для вузов / И.С. Ефремов, В.М. Кобозев, В.А. Юдин. – М.: Высш. школа, 1980. – 535 с.
2. Мун, Э.Е. Организация перевозок пассажиров маршрутными такси [Текст] / Э.Е. Мун, А.Д. Рубец. – М.: Транспорт, 1986. – 136 с.
3. Васильева, Е.М. Нелинейные транспортные задачи на сетях [Текст] / Е.М. Васильева, Б.Ю. Левит, В.Н. Лившиц. – М.: Финансы и статистика, 1981. – 104 с.
4. Брайловский, Н.О. Моделирование транспортных систем [Текст] / Н.О. Брайловский, Б.И. Грановский. – М.: Транспорт, 1978. – 125 с.
5. Рогова, Г.Л. Моделирование выбора путей передвижения пассажиров в транспортных системах городов [Текст]: автореф. дис... канд. техн. наук: спец. 05.22.02 «Транспортные системы городов и промышленных центров» / Г.Л. Рогова. – М., 1987. – 19 с.

6. Грановский, Б.И. Моделирование пассажирских потоков в транспортных системах [Текст]/ Б.И. Грановский // Итоги науки и техники. Серия «Автомобильный и городской транспорт», т. 11. – М., 1986. – С. 67-107.
7. Доля, В.К. Пасажирські перевезення [Текст]: підручник / В.К. Доля. – Харків: Форт, 2010. – 504 с.
8. Вдовиченко, В.О. Ефективність функціонування міської пасажирської транспортної системи [Текст]: автореф. дис... канд. техн. наук: спец. 05.22.01 «Транспортні системи» / В.О. Вдовиченко. – К., 2004. – 20 с.
9. Горбачов, П.Ф. Підхід до визначення ймовірності вибору пасажиром шляху пересування [Текст] / П.Ф. Горбачов // Автомобильный транспорт. Сборник научных трудов. – 2006. – Вып. 19. – С. 88-91.
10. Садыхова, О.С. Выбор пассажиром пути следования [Текст] / О.С. Садыхова // Городской транспорт и инженерная подготовка городской территории. Сб. науч. трудов ЛИСИ №91. – Л., 1974, – С. 33-41.
11. Логістичні і ергономічні проблеми розвитку транспортних систем міст [Текст]: монографія / В.К. Доля, Є.І. Куш, Д.П. Понкратов [та ін.]. – Харків: НТМТ, 2013. – 203 с.

Рецензент д-р техн. наук, професор Ю.О. Давідіч

Понкратов Денис Павлович, канд. техн. наук, доцент кафедри транспортних систем і логістики. Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова, Харків. E-mail – dponkratov@mail.ua.
Фалецька Галина Іванівна, канд. техн. наук, доцент кафедри транспортних систем і логістики. Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова, Харків.

Ponkratov Denis, Ph.D. of Technical Sciences, Associate professor. Department of Transport Systems and Logistics. O.M. Beketov National University of Urban Economy, Kharkiv. E-mail – dponkratov@mail.ua.
Faletskaya Galina, Ph.D. of Technical Sciences, Associate professor. Department of Transport Systems and Logistics. O.M. Beketova National University of Urban Economy, Kharkiv.