

Abstract. The analysis of real observations of transport flows intensity distribution at a 30 kilometer roadsection of Highway A5 in Germany and a highway roadsection in Dallas, Texas (U.S.) is described. The analysis, calculations and recommendations for determination of multilane highways traffic capacity are presented.

Key words: motorway, intensity, speed, density, highway capacity.

Анотація. Описується аналіз натурних спостережень розподілу інтенсивності транспортних потоків на 30-ти кілометровій ділянці автобана А5 в Германії і ділянці швидкісної дороги в штаті Техас м. Даллас США. Приводиться аналіз, розрахунки і рекомендації за визначенням пропускної спроможності багатосмугових автомагістралей.

Ключові слова: автомагістраль, інтенсивність, швидкість, щільність, пропускна спроможність.

Стаття надійшла до редакції у листопаді 2013р.

УДК 656.025.2:656.2:519.224 (045) Луцик О.А., аспірант
Степанчук О.В., к.т.н., доц.³⁸

ОСОБЛИВОСТІ РОЗПОДІЛУ ПАСАЖИРОПОТОКІВ НА МАРШРУТАХ РУХУ МІСЬКОЇ ЕЛЕКТРИЧКИ

В даній статті побудована теоретична модель розподілу пасажиропотоків відносно дальності поїздки на маршрутах руху міського залізничного транспорту за допомогою закону k -розподілу Ерланга. Також побудована емпірична модель розподілу пасажирів за результатами анкетного опитування користувачів послугами діючої мережі Київської міської електрички.

Ключові слова: модель, розподіл, пасажиропотік, дальність поїздки, міський залізничний транспорт.

³⁸ © Луцик О.А., Степанчук О.В.

Постановка проблеми. Одним із важливих транспортно-експлуатаційних та техніко-економічних показників роботи як системи міського пасажирського транспорту в цілому, так і окремих його складових (в тому числі і маршрутної мережі міського залізничного транспорту), є дальність здійснення поїздки пасажиром.

В свою чергу, розподіл пасажиропотоків в залежності від їх дальності поїздки, кількісно описує один із найважливіших якісних показників пасажирських перевезень, а саме, якість здійснення функції перевезення маршрутами досліджуваної транспортної системи [1]. Знання очікуваного значення, за допомогою теоретичного розподілу, дозволить оцінити величину окремих відсотків, і навпаки, знаючи величину певного відсотка, наприклад у вигляді заданого чи цільового значення, можливо визначити величину розподілу.

Проте, для того, щоб здійснити аналіз та оцінити результати дослідження певного явища, як відомо, необхідно побудувати його модель. Очевидно, що чим вдаліше підібрана модель, тим краще вона буде відображати найбільш характерні риси досліджуваного явища, а отже й тим успішніше буде саме дослідження.

Огляд літератури. На сучасному етапі швидкого темпу розвитку та зростання міст міліонерів та агломерацій, все актуальнішим стає питання дослідження параметрів перевізного процесу пасажирів в міському просторі. У більшості наукових робіт даної тематики переважають думки щодо доцільності встановлення саме середнього значення дальності здійснення поїздки пасажирів громадським транспортом та подальшого дослідження зміни даного параметра від різних кількісних характеристик транспортного процесу [2, 3, 4]. Так, в роботі [2] були

здійсненні дослідження щодо зміни витрат часу на пересування пасажиром громадським транспортом та довжини перегону в залежності від зміни параметру середньої довжини поїздки. В роботі [3] було проаналізовано техніко-економічні показники метрополітенів країн СНД та на основі отриманих результатів встановлено залежність середньої величини довжини поїздки пасажира, зокрема на метрополітені, від експлуатаційної протяжності мережі. В роботі [4] були досліджені залежності середнього значення довжини поїздки пасажира автомобільним транспортом від довжини розглянутого маршруту та було встановлено, що даний показник збільшується з ростом території міста, при скороченні кількості пересадок внаслідок вдосконалення маршрутної системи і збільшенні довжини маршруту, що є очевидним. В роботі [5] були наведені результати моделювання довжини перегону з урахуванням зміни величини пасажиропотоку при різних значеннях вартості пішого руху.

Проте, на сьогоднішній день, досить невелика кількість досліджень присвячена вивченню різноманітних моделей розподілу саме пасажиропотоків відносно дальності їх поїздки. Хоча, ще в 80-х роках були здійснені успішні спроби побудови теоретичної моделі розподілу пересування пасажирів в залежності від довжини перегону громадським транспортом [1]. Доцільність використання запропонованої методики при розробці моделі автором була підтверджена емпіричними даними експериментального обстеження в містах Прага та Пльзень.

Мета статті. Метою даної статті є побудова моделі розподілу пасажиропотоків відносно їх дальності поїздки маршрутами міського залізничного транспорту, за

результатами експериментального опитування користувачів послугами діючої мережі Київської міської електрички.

Основний матеріал. Як відомо, мережа міського залізничного транспорту в м. Києві має два маршрути руху по залізничному кільцю – за годинниковою стрілкою та проти неї. Тому, дослідження пасажиропотоку було розбите на дві частини, відповідно до маршруту, і відведено однаковий проміжок часу для кожного з них. Але отримані результати обстеження по кожному маршруту були об'єднані. Детальний опис умов проведення експерименту, вихідні дані до нього та план його проведення докладно описано в [6].

Для моделювання розподілу пасажиропотоків відносно дальності їх поїздки маршрутами міської електрички, скористуємося вже розробленою методикою для дальності поїздки усіма видами громадського транспорту, про що було сказано вище [1].

При побудові теоретичної моделі приймаємо функцію розподілу, виведену з k -розподілу Ерланга, яка має наступний вигляд:

$$F(a) = 1 - e^{-ka} * \sum_{n=0}^{k-1} [(ka)^n / n!], \quad (1)$$

$$k = (\bar{x} / S_x)^2, \quad (2)$$

де a – відношення досліджуваної величини X до його середнього значення,

$$\Delta a = 1 / \bar{x}; \quad (3)$$

\bar{x} – середнє значення досліджуваної величини X ;

S_x – стандартне відхилення досліджуваної величини X ;

Проблеми розвитку міського середовища. Вип.1 (11) 2014

k – параметр розподілу Ерланга. При здійсненні розрахунків значення даного параметру приймають у вигляді цілого числа.

x – в нашому випадку – це довжина i -го перегону маршрутів руху міської електрички, км;

I – ширина інтервалу в упорядковані генеральній сукупності емпіричних значень дальності поїздки пасажирів.

На підставі експериментально отриманих даних про посадку та висадку пасажирів на станціях Київського міського залізничного транспорту і відомої довжині перегону між кожною станцією (табл. 1), встановимо середнє значення довжини здійснення поїздки пасажирів. Для цього скористуємося методами математичної статистики.

Таблиця 1

Довжина перегону між станціями Київської міської залізниці

Станція міської електрички	Довжина перегону між станціями, км	
Дарниця	2,8	2,8
Лівий Берег	4,1	6,9
Видубичі	7,0	13,9
Київ-Пасажирський	3,6	17,5
Караваєві Дачі	3,1	20,6
Київ-Волинський	3,3	23,9
Борщагівка	3,8	27,7
Рубежівський	1,8	29,5
Сирець	3,5	33,0
Вишгородська	2,3	35,3
Зеніт	1,3	36,6

Проблеми розвитку міського середовища. Вип.1 (11) 2014

	4,8	41,4
Троєщина – 2		
Троєщина	1,3	42,7
Лівобережна	2,1	44,8
Дарниця	6,0	50,8

Так як після обробки даних експерименту ми отримали варіаційний ряд, який складається з довжини i -го перегону маршруту та відповідної кількості пасажирів, які проїхали по i -му перегону, розрахуємо зважене середнє значення дальності поїздки для маршруту Київської міської електрички за наступною формулою [7]:

$$\bar{l}_{пер} = \frac{\sum_{i=1}^m l_{перi} * H_i}{\sum_{i=1}^m H_i}, \quad (4)$$

де $l_{перi}$ – окремі значення варіаційного ряду довжин i -го перегону маршрутів руху міської електрички, км;

H_i – кількість пасажирів, які проїхали відповідно по i -му перегону, пас.;

i – умовний номер перегону на маршруті ($i = 1, 2, \dots, m$).

$$\bar{l}_{пер} = \frac{4000}{280} = 14.286 \approx 14.3 \text{ (км)}.$$

Для того, щоб згрупувати експериментально отримані величини дальності поїздки пасажирів та привести їх до упорядкованої генеральної сукупності емпіричних значень, потрібно визначити ширину інтервалу між даними значеннями. Величину ширини інтервалу обирають таку, щоб вона приблизно була рівна 1/5 від середнього значення

дальності поїздки маршрутами руху міської електрички [1].
Тобто,

$$I = \frac{1}{5} \bar{l}_{nep}, \quad (5)$$

$$I = \frac{1}{5} * 14,3 = 2.86 \approx 2.9 \text{ (км)}.$$

Стандартне відхилення досліджуваної величини [7]:

$$S_l = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (l_{nep} - \bar{l}_{nep})^2}{n - 1}}, \quad (6)$$

$$S_l = \sqrt{\frac{3690.44}{58 - 1}} = \sqrt{64.745} = 8.046.$$

Тепер розрахуємо параметр розподілу Ерланга:
 $k = \left(\frac{14.3}{8.046} \right)^2 \approx 3$. Функція розподілу (1) при $k = 3$ набуде наступного вигляду:

$$F(a) = 1 - e^{-3a} \left[\frac{(3a)^0}{0!} + \frac{(3a)^1}{1!} + \frac{(3a)^2}{2!} \right] = 1 - e^{-3a} (1 + 3a + 4.5a^2) \quad (7)$$

В свою чергу ширина інтервалу теоретичного розподілу при розбивці на 2,9 км інтервали:
 $\Delta a = I / \bar{l}_{nep} = 2,9 / 14,3 = 0,2$. Результати розрахунку теоретичної моделі розподілу пасажиропотоку відносно їх дальності здійснення поїздки за формулою (7) наведені в табл. 2.

Для того, щоб перевірити можливість використання функції k-розподілу Ерланга для побудови моделі розподілу пасажиропотоків відносно їх дальності здійснення поїздки

Проблеми розвитку міського середовища. Вип.1 (11) 2014

маршрутами руху міського залізничного транспорту, порівняємо результати теоретичної моделі з емпіричними даними, отриманими в ході проведеного експерименту на діючій мережі Київської міської електрички. Для зручності, також згрупуємо отримані емпіричні результати розподілу пасажирів та встановимо частість і накопичену частість в відсотковому значенні (табл. 3).

Таблиця 2
Генеральна сукупність теоретичного розподілу пасажирів
відносно $l_{пер}$ за законом k -розподілу Ерланга

№ п/п	Розряди $l_{пер}$, км	a	$F(a)$ – вираз (7)		Частість $F(a)$		$\bar{l}_{пер}$ розряду, км
				%		%	
1	2,8 – 5,7	0,2	0,023	2,3	0,023	2,3	4,3
2	5,8 – 8,7	0,4	0,12	12,0	0,097	9,7	7,3
3	8,8 – 11,7	0,6	0,269	26,9	0,149	14,9	10,3
4	11,8 – 14,7	0,8	0,43	43,0	0,161	16,1	13,3
5	14,8 – 17,7	1,0	0,577	57,7	0,147	14,7	16,3
6	17,8 – 20,7	1,2	0,697	69,7	0,12	12,0	19,3
7	20,8 – 23,7	1,4	0,79	79,0	0,093	9,3	22,3
8	23,8 – 26,7	1,6	0,857	85,7	0,067	6,7	25,3
9	26,8 – 29,7	1,8	0,905	90,5	0,048	4,8	28,3
10	29,8 – 32,7	2,0	0,938	93,8	0,033	3,3	31,3
11	32,8 – 35,7	2,2	0,96	96,0	0,022	2,2	34,3
12	35,8 – 38,7	2,4	0,975	97,5	0,015	1,5	37,3

Порівнявши значення частот теоретичного та емпіричного розподілу пасажиропотоків відносно їх довжин i -го перегону маршрутів руху міської електрички, в загальному спостерігаємо незначне відхилення отриманих даних. Розрахункова максимальна абсолютна різниця між

Проблеми розвитку міського середовища. Вип.1 (11) 2014

частотами функції розподілу та емпіричної кумулятивної частоти (табл. 3):

$$|D_{\max}| = 0.167 \quad \text{при} \quad \bar{l}_{\text{пер}} = 18.15 \text{ км, тобто при} \\ a = 1.2.$$

Для здійснення більш точної, на нашу думку, порівняльної оцінки, результати моделювання теоретичного та емпіричного розподілу пасажиропотоків відносно їх дальності здійснення поїздки маршрутами міської залізниці зобразимо графічно (рис. 1, 2). На рис. 1 зображена крива, яка побудована за законом k -розподілу Ерланга згідно теоретичних значень розподілу пасажирів відповідно до їх дальності здійснення поїздки маршрутами міського залізничного транспорту; на гістограму винесені емпіричні значення, отримані у результатів проведеного експерименту на діючій мережі Київської міської залізниці. В графічному вигляді, теоретична та емпірична моделі розподілу кількості пасажирів від даного параметра мають вигляд асиметричної, одновершинної, зміщеної в ліво кривої.

Таблиця 3

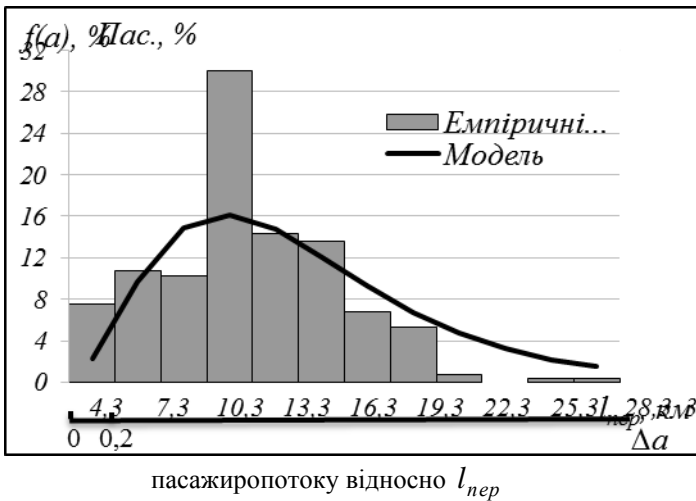
Генеральна сукупність емпіричного розподілу пасажирів відносно $l_{\text{пер}}$ за результатами експерименту на мережі Київської міської електрички

№ п/п	Розряди $l_{\text{пер}}$, км	Частота, пас.	Частість		Накопичена частість		Абсолютна різниця D
				%		%	
1	2,8 – 5,7	21	0,075	7,5	0,075	7,5	0,052
2	5,8 – 8,7	30	0,107	10,7	0,182	18,2	0,062
3	8,8 – 11,7	29	0,103	10,3	0,285	28,5	0,016
4	11,8 – 14,7	84	0,3	30,0	0,585	58,5	0,155
5	14,8 – 17,7	40	0,143	14,3	0,728	72,8	0,151

Проблеми розвитку міського середовища. Вип.1 (11) 2014

6	17,8 – 20,7	38	0,136	13,6	0,864	86,4	0,167
7	20,8 – 23,7	19	0,068	6,8	0,932	93,2	0,142
8	23,8 – 26,7	15	0,053	5,3	0,985	98,5	0,128
9	26,8 – 29,7	2	0,007	0,7	0,992	99,2	0,087
10	29,8 – 32,7	0	0	0	0,992	99,2	0,054
11	32,8 – 35,7	1	0,004	0,4	0,996	99,6	0,036
12	35,8 – 38,7	1	0,004	0,4	1,000	100	0,025

Рис. 1. – Відносний теоретичний та емпіричний розподіл



За допомогою графіку кумулятивного розподілу пасажиропотоків відповідно до дальності поїздки (рис. 2) встановимо значення отриманих довжин для 80-ти та 90-а % пасажирів. В середньому довжина перегону для теоретичної та емпіричної моделі становить:

1. Для 80 % пасажирів $l_{пер}^{80} = 20.1$ км при $a = 1.3$;

2. Для 90 % пасажирів $l_{пер}^{90} = 24.3$ км при $a = 1.65$.

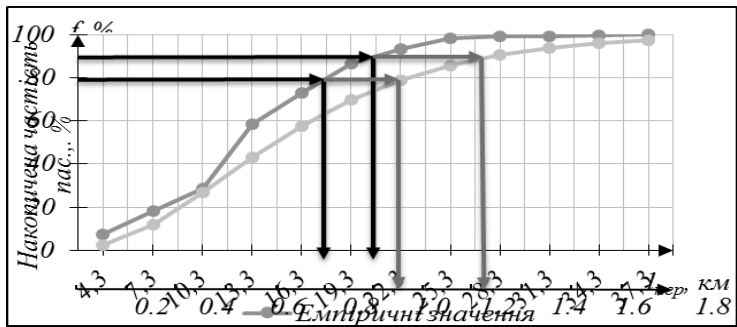


Рис. 2. – Теоретичний та емпіричний кумулятивні розподіли пасажирів відносно $l_{пер}$

Висновки. Порівняння емпіричного та теоретичного розподілу пасажиропотоків в залежності від дальності їх здійснення поїздки маршрутами руху міського залізничного транспорту показують відносно незначне відхилення, максимальне абсолютне значення якого становить 0,167. На жаль, в наведеній методиці моделювання не було враховано вірогідність допущеної похибки при проведенні експерименту та подальшої обробки результатів та відповідних розрахунків, що, на нашу думку, може впливати на дану розбіжність в моделях. Проте, перевірка моделювання емпіричного розподілу пасажирів відносно дальності поїздки маршрутами Київської міської електрички доводить те, що даний розподіл з достатньою точністю моделюється к-розподілом Ерланга.

Щодо одержаних в ході моделювання результатів розрахунків, очевидно, що для більшої кількості користувачів послугами міського залізничного транспорту величини

довжини їх поїздки є значними і коливаються від 20,1 км до 24,3 км. Отримані значення показника дальності поїздки м. Києвом є найбільші, у порівнянні з іншими видами міського транспорту.

Список використаних джерел

1. Цибулка Я. Качество пассажирских перевозок в городах / Ян Цибулка : Пер. с чеш. – М. : Транспорт, 1987. – 239 с.
2. Калюжный М.В. Анализ влияния параметров перевозочного процесса на затраты времени пассажиров при передвижении и среднюю длину перегона, обеспечивающую эти затраты / М.В. Калюжный // Вісник Донецького інституту автомобільного транспорту. – 2010. – Вип. 2. – С. 4 – 9.
3. Бондаренко Н.А. Зависимость средней дальности поездки пассажира на метрополитене от эксплуатационной протяженности сети / Н.А. Бондаренко // Коммунальное хозяйство городов : науч.-техн. сб. – К. : Техника, 2000. – Вып. 22. Серия : Технические науки. – С. 186 – 189.
4. Спирин И.В. Организация и управление пассажирскими автомобильными перевозками : учебник для студ. / И.В. Спирин. – 5-е изд., перераб. – М. : Издательский центр «Академия», 2010. – 400 с.
5. Єрмак О.М. Визначення впливу величини пасажиропотоку на оптимальну довжину перегону міського пасажирського транспорту / О.М. Єрмак // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2008. – №5/3(35). – С. 7 – 9.
6. Обследование пассажиропотока на городском железнодорожном транспорте в городе Киев / А.А. Луцик [и др.] // Наука – будущее Литвы. ИНЖЕНЕРИЯ ТРАНСПОРТА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК: Сборник статей 16-й конференции молодых ученых, 8 мая 2013 г. – Вильнюс: Техника, 2013 – С. 76 – 80.
7. Пустыльник Е.И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений / Е.И. Пустыльник. – М.: Изд. «Наука», 1968. – 288 с.

Аннотация. В этой статье построена теоретическая модель распределения пассажиропотоков относительно дальности поездки на маршрутах движения городского железнодорожного транспорта с помощью закона k -распределения Эрланга. Так же построена эмпирическая модель распределения пассажиров по результатам анкетного опроса пользователей услугами действующей сети Киевской городской электрички.