

ОЦІНКА СЕРЕДНЬОГО ЧАСУ ОЧІКУВАННЯ ПАСАЖИРАМИ МАРШРУТНОГО ТРАНСПОРТУ НА ЗУПИНЦІ

П.Ф. Горбачов, доцент, ХНАДУ

***Анотація.** Описано результати розрахунку середнього часу очікування пасажирів маршрутного транспорту на зупинці на основі імітаційного експерименту. Проводиться порівняння з вже існуючими розрахунковими залежностями.*

***Ключові слова:** випадкова величина, імітаційний експеримент, час виходу з дому, інтервал руху, час прибуття транспортного засобу.*

Вступ

Оцінка якості транспортного обслуговування населення є досить складним питанням, яке ще не має загальноприйнятої методики виконання, хоча вона є необхідною при проведенні будь-яких робіт з організації чи модернізації маршрутів перевезення пасажирів. Але зрозуміло, що ця оцінка за будь-яких обставин не може здійснюватись без розрахунків складових часу пересування, до яких відносяться час підходу від дому до зупинки, час очікування транспорту на зупинці, час поїздки в транспорті, час пересадки, час відходу від транспорту до місця призначення.

З перелічених складових найбільш значущими для результатів оцінки якості є час очікування транспорту на зупинці та час поїздки у транспорті. Саме вони та час пересадки більш за все під час виконання робіт з маршрутизації міського пасажирського транспорту або впровадження локальних змін у маршрутній мережі міста. Але час пересадки також в значній мірі залежить від часу очікування наступного транспортного засобу (ТЗ). Таким чином, можна стверджувати, що визначення величини середнього часу очікування пасажирів маршрутного транспорту на зупинці є дуже важливим кроком на шляху до оцінки якості обслуговування пасажирів.

В цьому питанні існують дві основні ситуації, які визначаються способом організації роботи транспортних засобів на маршрутах.

При чіткій роботі транспорту за заздалегідь визначеним та відомим пасажиром розкладом час очікування формується під впливом ставлення пасажирів до надійності результатів пересування, мало залежить від інтервалу руху ТЗ на маршрутах та не може бути дуже великим. Але така ситуація на вулицях українських міст є скоріш виключенням, ніж правилом.

Найбільш розповсюдженою є така організація роботи маршрутів, при якій пасажиру невідомий час прибуття ТЗ на зупинку, а інтервал руху визначається поточною кількістю рухомого складу на маршруті та випадковими відхиленнями від середньої швидкості руху сполучення. В цьому випадку час очікування на зупинці є випадковою величиною, яка коливається від 0 до декількох інтервалів руху ТЗ на маршруті, тобто може сягати дуже значних величин, та недостатньо вивчений.

Аналіз публікацій

Питанню визначення середнього часу очікування пасажирів маршрутного транспорту на зупинці при заданому інтервалі руху в основному присвячено роботи радянських вчених. Це зумовлено великим розповсюдженням інтервального способу організації роботи маршрутів у плановій економіці у економічно розвинених країнах, де громадський транспорт відіграє меншу роль та не має таких великих масштабів застосування, оскільки його частка в загальному обсязі перевезень пасажирів рідко перевищує 25 %.

Але й радянські вчені присвятили цьому питанню лише окремі роботи, причому основною залежністю для розрахунку середнього часу очікування пасажирами маршрутного транспорту на зупинці до цього часу вважається формула, запропонована ще А.Х. Зільберталем [1] в 1932 р.

$$\bar{t} = \frac{J}{2} + \frac{\sigma_J^2}{2 \cdot J}, \quad (1)$$

де \bar{t} – середній час очікування пасажирами маршрутного транспорту на зупинці при заданому інтервалі руху, хв; J – плановий інтервал руху на маршруті, хв; σ_J^2 – середньоквадратичне відхилення фактичного інтервалу руху на маршруті, хв.

Ця залежність має достатнє логічне обґрунтування, в цілому відповідає характеру процесів на маршруті, тому була використана в широко відомих роботах [2, 3]. Автори роботи [2] використовують залежність (1) для введення поняття «ефективного інтервалу руху» та подальшого розрахунку часу очікування при вирішенні оптимізаційних задач. В роботі [3] залежність (1) використовується з аналогічною метою, що підкреслює актуальність питання визначення середнього часу очікування пасажирами маршрутного транспорту на зупинці. Але ані в першій, ані у другій роботі не ставилась задача перевірки ступеня точності основної розрахункової залежності для часу очікування.

Нещодавно у роботі [4] при оцінці витрат часу на прибуття ТЗ на кінцеву зупинку маршруту на основі теорії ймовірностей розроблено окрему математичну модель. При цьому вважається, що при русі за розкладом час прибуття на кінцеву зупинку може приймати лише ціле значення, з рівною ймовірністю за певного обмеження. Таке вільне поводження з часом очікування транспорту, хоча й не пасажирами, а диспетчером, свідчить про недостатнє висвітлення питання розрахунку часу очікування в сучасних дослідженнях.

Всі ці приклади свідчать, що розрахункам середнього часу очікування приділялось недостатньо уваги, а залежність (1) не має достатнього практичного підтвердження. В першу чергу, це зумовлено складністю визначення фактичних значень часу очікування на одному маршруті в умовах розвиненої маршрут-

ної мережі, коли пасажир має декілька альтернативних варіантів шляху пересування. Така задача, на прикладі трудових пересувань в ранкову годину пік, докладно описано в [5], де також обґрунтовано необхідність проведення для цих цілей імітаційного експерименту. Але метою імітаційного експерименту було не визначення середнього часу очікування пасажирами маршрутного транспорту на зупинці, а побудова закону розподілу цієї випадкової величини.

Мета та задачі роботи

Метою роботи є оцінка середнього часу очікування пасажирами маршрутного транспорту на зупинці за результатами імітаційного експерименту. Для її досягнення заплановане вирішення наступних задач: оцінка середнього часу очікування на основі параметрів законів розподілу випадкових значень часу очікування та формування статистичної залежності.

Моделювання середнього часу очікування

Умови проведення експерименту, вихідні дані до нього та план його проведення докладно описано в [5]. Загальна кількість серій дослідів склала 48 одиниць, вони складені з чотирьох реалізацій плану з 12 експериментів. Реалізації плану складаються з двох повторів розрахунків за двома моделями. Для результатів кожної серії дослідів, які є набором випадкових значень часу очікування, в рамках роботи [5] було визначено параметри законів розподілу, яких виявилось два: Вейбулла та гамма. В рамках цієї роботи для кожної серії додатково визначаються шукані величини середнього часу очікування, які наведено в табл. 1.

Першим кроком обробки значень середнього часу очікування стала перевірка однорідності отриманих даних, тобто їх відповідності одній генеральній сукупності за допомогою однофакторного дисперсійного аналізу. Розрахункове значення критерію Фішера склало 0,0098, при табличному 2,816, ймовірність його досягнення 99,9 %, що не тільки не спростовує, а й підтверджує гіпотезу про відповідність результатів експерименту одній генеральній сукупності та надає можливості для подальших розрахунків.

На основі регресійних залежностей параметрів, а також розрахункових залежностей мате-

Таблиця 1 Середні значення часу очікування за серіями дослідів

№ серії	Вид моделі			
	Для одного пасажера		Для кореспонденції	
	Номер експерименту			
	1	2	3	4
1	1,14	1,27	1,34	1,45
2	1,10	1,16	1,48	1,54
3	7,19	6,01	6,20	6,80
4	5,28	5,46	6,34	5,96
5	1,10	13,46	1,49	11,90
6	1,23	13,91	1,49	12,96
7	5,83	1,24	6,85	1,46
8	6,12	1,23	6,53	1,45
9	13,17	5,89	11,55	6,44
10	11,72	5,83	13,52	6,52
11	12,13	12,01	12,09	11,69
12	12,27	11,83	12,42	13,61

математичного очікування законів розподілу Вейбулла та гамма визначено попередній вид формул середнього часу очікування

$$\bar{t}_\Gamma = 0,967 \cdot J - 0,019 \cdot J^2 \quad (2)$$

для гамма-розподілу та для закону Вейбулла

$$\bar{t}_W = 0,682 \cdot J \cdot \Gamma \left[\frac{275,1 - 2 \cdot J}{175,1 - 2 \cdot J} \right], \quad (3)$$

де \bar{t}_Γ , \bar{t}_W – середній час очікування пасажиром маршрутного транспорту на зупинці за законами розподілу гамма та Вейбулла; Γ – гамма-функція.

Ці залежності в експериментальних межах від 2 до 20 хвилин мають дещо різний характер (рис. 1). Якщо гамма-розподіл дає уповільнене зростання середнього часу очікування за збільшення планового інтервалу руху ТЗ на маршруті, то для закону Вейбулла характерне його прискорене зростання. Такі протилежності можуть бути пояснені впливом особливостей кожного із законів на кінцевий результат моделювання, завдяки наявності проміжного етапу – визначення параметрів форми та масштабу розподілів за допомогою регресійного аналізу, результати якого наведено в [5].

Існуючі розбіжності не дають можливості для використання залежностей (2) та (3) при розрахунках середнього часу очікування пасажиром маршрутного транспорту на зупинці,

але ці результати мають інше важливе призначення – вони безпосередньо вказують на загальний вид регресії, якою має бути парабола

$$\bar{t} = a_0 + a_1 \cdot J + a_2 \cdot J^2, \quad (4)$$

де a_0 , a_1 , a_2 – шукані коефіцієнти регресії.

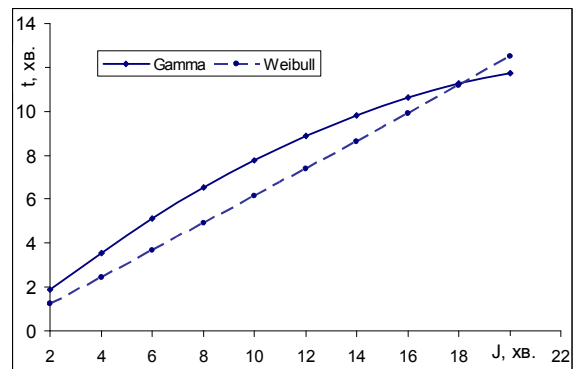


Рис. 1. Залежність часу очікування від інтервалу за теоретичними законами розподілу

Першим кроком у регресійному аналізі стала перевірка відсутності залежності середнього часу очікування від двох інших факторів імітаційного експерименту: величини кореспонденції, яка визначає форму закону Паусона, за яким моделюється інтенсивність підходу пасажирів до зупиночного пункту, та інтегрального фактора часу, який визначає різницю у початкових моментах руху пасажиром транспортного засобу. Паралельно перевіря-

лись значущість інших коефіцієнтів регресії в (4). Отримана модель має наступний вид

$$\bar{t} = 0,209 + 0,02 \cdot \Delta T - 0,0005 \cdot h + 0,589 \cdot J + 0,001 \cdot J^2, \quad (5)$$

де h – величина кореспонденції; ΔT – інтегральний фактор часу, хв.

Зі всіх факторів значущим у регресії виявився лише один – лінійний інтервал руху ТЗ на маршруті. З одного боку, це підтвердило незначущість вільного члена регресії a_0 , що з урахуванням (1) є цілком справедливим, та незначущість величини кореспонденції та інтегрального фактора часу, що також вважається справедливим з урахуванням аналогічних результатів для параметрів законів розподілів, наведених в [5]. Але, з іншого боку, це спростовує гіпотезу про параболічний вид залежності $\bar{t} = f(J)$, яка має достатньо логічний вигляд та вимагає спрощення моделі за рахунок вільного члену та квадратичної складової залежності та отримання найпростішої регресивної моделі для розрахунку середнього часу очікування пасажирів транспорту на зупинці в залежності від планового інтервалу руху транспортних засобів на ньому. Кінцева модель має наступний вигляд

$$\bar{t} = 0,622 \cdot J. \quad (6)$$

Вона виявилась практично функціональною, оскільки коефіцієнт детермінації дорівнює 0,986, інші статистичні характеристики є також не менш переконливими.

Зовнішні відмінності (6) із залежністю (1) також мають своє пояснення. Справа у тому, що за умовами проведення експерименту відхилення фактичного часу прибуття ТЗ на зупиночний пункт розподілялось за нормальним законом з математичним очікуванням рівним 0 та середньоквадратичним відхиленням, рівним $\frac{J}{3}$, виходячи з правила трьох сигм та розмаху відхилень у межах двох інтервалів [3]. Тобто середньоквадратичне відхилення фактичного інтервалу руху на маршруті в експерименті також дорівнює

$$\sigma_J = \frac{J}{3}. \quad (7)$$

З урахуванням (7) залежність (1) перетворюється на

$$\bar{t} = \frac{J}{2} + \frac{J}{18} = 0,555 \cdot J. \quad (8)$$

Тобто отримане в результаті експерименту значення середнього часу очікування (6) в цілому не спростовує, а лише уточнює залежність (1) для трудових пересувань.

Висновок

Аналітична залежність для розрахунків середнього часу очікування пасажирів маршрутного транспорту на зупинці (1) в цілому підтвердила свою правомірність, але потребує уточнення значень коефіцієнтів, для чого потрібне проведення подальших експериментальних досліджень.

Література

1. Зильберталь А.Х. Трамвайное хозяйство. – М.-Л.: Гострансдат, 1932. – 270 с.
2. Антошвили М.Е., Либман С.Ю., Спирин И.В. Оптимизация городских автобусных перевозок. – М.: Транспорт, 1985. – 102 с.
3. Доля В.К. Методы организации перевозок пассажиров в городах. – Харьков: Основа, 1992. – 144 с.
4. Власов В.М., Ружило А.А., Богумил В.Н., Ефименко Д.Б. Совершенствование процессов управления городским пассажирским транспортом в условиях возникновения нарушений в его работе и критических ситуаций (на примере г. Новокузнецка Кемеровской обл.) / (деп. в ВИНТИ № 631 – В2003). – М.: МАДИ (ГТУ), 2003. – 19 с.
5. Горбачёв П.Ф., Россолов А.В. Влияние условий передвижения на выбор пары «жилье – работа» // Автомобильный транспорт: Сб. научн. тр. – Харьков: ХНАДУ. – 2007. – Вып. 21. – С. 64 – 68.

Рецензент: М.А. Подригало, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 29 травня 2009 р.