УДК 656.072

ДОСЛІДЖЕННЯ ЧАСУ ОЧІКУВАННЯ ПАСАЖИРІВ НА ЗУПИНОЧНИХ ПУНКТАХ МІСЬКОГО ПАСАЖИРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ

П.Ф. Горбачов, професор, д.т.н., В.М. Чижик, викл.-стажист, ХНАДУ

Анотація. *Наведено результати імітаційного моделювання часу очікування пасажирів на зупиночних пунктах міського маршрутного пасажирського транспорту, що працює за заданим інтервалом руху транспортних засобів на маршруті. Описано статистичні моделі параметрів закону розподілу часу очікування пасажирів міського маршрутного транспорту.*

Ключові слова: *імітаційний експеримент, час очікування, закон розподілу, регресія, модель, генерація.*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВРЕМЕНИ ОЖИДАНИЯ ПАССАЖИРОВ НА ОСТАНОВОЧНЫХ ПУНКТАХ ГОРОДСКОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА

П.Ф. Горбачёв, профессор, д.т.н., В.М. Чижик, препод.-стажёр, ХНАДУ

Аннотация. *Приведены результаты имитационного моделирования времени ожидания пассажиров на остановочных пунктах городского маршрутного пассажирского транспорта, работающего по заданному интервалу движения транспортных средств на маршруте. Описаны статистические модели параметров закона распределения времени ожидания пассажиров городского маршрутного транспорта.*

Ключевые слова: *имитационный эксперимент, время ожидания, закон распределения, регрессия, модель, генерация.*

INVESTIGATION OF PASSENGERS WAITING TIME AT URBAN PASSENGER TRANSPORT STATIONS

P. Gorbachov, Professor, Doctor of Technical Science,
V. Chyzhyk, Assistant Lecturer, KhNAHU

Abstract. *The results of simulation modeling of passenger waiting time at urban route passenger transport stations operating at a certain interval of vehicles movement along the route are given. The statistical models of parameters of time distribution law of urban route passenger transport waiting time are given.*

Key words: *simulation experiment, waiting time, distribution, regression model, generation.*

Вступ

Витрати часу населенням під час поїздок від місць проживання до місць роботи – важливий критерій оцінки якості перевезень пасажирів у містах. Користування міським пасажирським транспортом (МПТ) для пасажирів пов'язане з економією часу і сил при пересуваннях [1]. Очікування МПТ є невід'ємною складовою процесу пересування пасажирів маршрутною мережею. Час очікування пасажирів (ЧОП) на зупиночних пунктах (ЗП) МПТ, час поїздки у транспортному засобі (ТЗ), час, затрачений на пересадку, найбільшою мірою змінюються під час проведення реорганізаційних заходів на маршрутній мережі. Найбільш складний характер з цих показників має ЧОП, який для інженера з тран-

спорту безумовно має випадковий характер. Визначення його параметрів дозволить спрогнозувати та мінімізувати його значення, поліпшити ефективність функціонування МПТ.

Аналіз публікацій

Дослідженням витрат часу на поїздку пасажирів від місць проживання до місць прикладання праці займаються як вітчизняні, так і зарубіжні вчені.

В роботі [2] час, що витрачає пасажир на поїздку, розглядається як сума фаз: тривалості підходу пасажира від місця проживання до ЗП МПТ, часу очікування ТЗ на ЗП, тривалості поїздки в ТЗ, витрат часу на пересадку та при слідуванні від кінцевого ЗП до місця призначення. Особлива увага приділяється часу, затраченому на пересування в ТЗ, та часу на пересадку. Витрати часу на підхід до ЗП, тривалість очікування пасажирами ТЗ та час слідування від ЗП до місця призначення автор детально не розглядає, а лише наводить статистичні дані.

В роботі [3] для визначення ЧОП використано імітаційне моделювання як єдиний практично доступний метод об'єктивної оцінки випадкових значень часу. При цьому вважається, що на маршрутах діє заданий розклад руху. Тоді фактичний час прибуття ТЗ на ЗП розраховується через випадкове відхилення його значення від розкладу. Величина відхилення описується нормальним законом розподілення із математичним очікуванням, рівним 0, та середньоквадратичним відхиленням, рівним одній третій планового інтервалу [4]. Але такий варіант визначення фактичного часу прибуття ТЗ на ЗП не є обов'язковим та, можливо, із недостатньою точністю описує транспортний процес.

Мета і постановка задачі

Метою роботи є визначення фактичних параметрів руху ТЗ на міських маршрутах та визначення на їх основі параметрів ЧОП на ЗП МПТ за допомогою імітаційної моделі. Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі: визначити фактичні параметри руху ТЗ на міських маршрутах; розробити імітаційну модель взаємодії пасажирів та ТЗ; провести імітаційний експеримент із визначення ЧОП та проаналізувати його результати.

Методика та результати дослідження часу очікування пасажирів

Перебудова взаємовідносин між замовниками маршрутних перевезень та виконавцями транспортної роботи на міських маршрутах привела до значних змін в організації роботи маршрутів. Використаний в [3] для моделювання руху ТЗ жорсткий розклад руху відноситься до маршрутних систем із високим рівнем організації роботи. На жаль, на цей час значна кількість маршрутів не відповідає цьому рівню роботи. За відсутності жорсткого контролю за виконанням розкладу руху більш реальним виглядає інший варіант організації руху ТЗ, коли час відправлення з кінцевого ЗП кожного ТЗ визначається самостійно водієм на основі часу прибуття-відправлення суміжних ТЗ. Ця технологія може бути названа рухом ТЗ із заданим інтервалом руху.

На сьогодні в м. Харкові фактично всі маршрутні ТЗ працюють саме за цією технологією. Протягом останніх років силами студентів проводились дослідження роботи різних ЗП м. Харкова, при яких фіксувався також і фактичний час прибуття ТЗ на ЗП. Це дало змогу отримати 476 фактичних значень інтервалів руху ТЗ на 18 міських маршрутах.

Для отриманих емпіричних даних шляхом підбору за кожним маршрутом окремо обрано закон розподілу інтервалу руху. Для всіх випадків найбільш прийнятним виявився розподіл за гамма-законом. Значення довірчої ймовірності критерію Пірсона коливаються в діапазоні 0,05–0,84 % (рис. 1 та табл. 1).

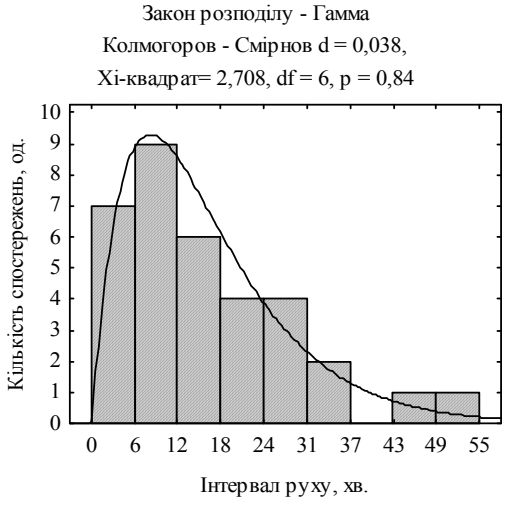

Рис. 1. Гістограма закону розподілу інтервалу руху транспортних засобів на автобусному маршруті № 263 м. Харкова

Таблиця 1 Результати дослідження фактичного інтервалу руху транспортних засобів на міських маршрутах

Маршрут	Місце обстеження	Параметри гамма розподілу		Середнє значення інтервалу, хв	Значення критерію		Значення довірчої ймовірності, P, %
		Масштаб	Форма		Колмогорова-Смірнова	χ^2	
289е(мт)	Пушкінська, 83	4,14	2,8	11,6	0,95	7,5	0,58
287(ав)	Сумська, 69	19,71	1,49	29,5	0,6	2,15	0,83
2(тл)	Сумська, 69	3,83	2,49	9,5	0,11	13,15	0,44
278(ав)	Сумська, 69	5,18	2,42	12,5	0,5	4,77	0,31
263(ав)	пр. Перемоги/Клас	8,12	2,03	16,5	0,04	2,71	0,84
285(мт)	пр. Перемоги/ Клас	3,13	3,39	10,6	0,17	6,83	0,05
77(мт)	пр. Перемоги/ Клас	4,34	2,18	9,4	0,07	9,04	0,34
271(мт)	пр. Перемоги/ Клас	9,86	2,64	26	0,12	9,31	0,23
119(ав)	пр. Перемоги/ Клас	6,51	2,51	16,3	0,1	2,71	0,1
57(ав)	пр. Перемоги/ Клас	8,52	3,03	25,8	0,15	13,66	0,4
234(мт)	пр. Перемоги/ Клас	10,1	2,07	20,9	0,13	10,2	0,12
304(ав)	Кірова/ТЦ Портал	7,23	1,67	12	0,17	14,32	0,22
115(ав)	Кірова/ТЦ Портал	4,23	3,15	13,3	0,13	12,75	0,39
2(тл)	Бєлгород. шосе/Хартрон	7	2,14	15	0,23	20,56	0,15
12(тл)	Бєлгород. шосе/Хартрон	1,31	8,41	11	0,19	11,92	0,68
38(тл)	Ахсарова/Кооператор	1,11	3,33	3,7	0,07	8,71	0,37
40(тл)	Ахсарова/Кооператор	1,53	5,82	8,9	0,12	12,35	0,5
3(тл)	Кірова/ТЦ Портал	1,34	7,53	10	0,14	15,35	0,35

Для параметрів масштабу і форми проведено регресійний аналіз взаємозв'язку між ЧОП та середнім інтервалом руху ТЗ, з метою використання отриманих моделей при проведенні імітаційного експерименту (табл. 2).

Таблиця 2 Характеристики моделей параметра розподілу інтервалу руху ТЗ на маршруті

Параметри моделі	Параметри закону розподілу	
	масштаб	форма
Множинний коефіцієнт кореляції, R	0,95	0,7
Коефіцієнт детермінації, R^2	0,9	0,5
Інформаційна здатність (ІЗ)	156,7	17,4
Рівень значущості ІЗ	1,1Е-09	7,3Е-04
Коефіцієнт регресії	0,437	0,167
t-статистика	12,52	4,17
Рівень значущості t-критерію	5,2Е-10	6,4 Е-4

Виявлено, що параметр масштабу має дуже тісний зв'язок із інтервалом, тому модель

$$B = 0,437 \cdot J, \qquad (1)$$

де B – параметр масштабу гамма-розподілу інтервалу прибуття ТЗ маршруту на ЗП; J – заданий інтервал руху ТЗ, хв, забезпечить достатню точність прогнозування параметра масштабу. Що стосується параметра форми, який має менш виражений взаємозв'язок із інтервалом руху ТЗ, то в імітаційній моделі доцільно розраховувати його значення виходячи із планового інтервалу та вже отриманого параметра масштабу гамма-розподілу

$$C = \frac{J}{B}, \qquad (2)$$

де C – параметр форми розподілу інтервалу прибуття ТЗ маршруту на ЗП.

Для проведення експерименту в програмному середовищі Excel генерувались значення інтервалу руху ТЗ на маршруті для періоду із 6:00 до 8:35 години ранку [3]. Фактичний час прибуття ТЗ на ЗП розраховується шляхом додавання кожного наступного інтервалу руху до попереднього часу прибуття

$$t_{p_i} = t_{p_{i-1}} + \lambda_i, \qquad (3)$$

де $t_{p_{i-1}}$ – час прибуття попереднього ТЗ на зупиночний пункт; λ_i – випадкове значення інтервалу руху ТЗ на маршруті.

Інші параметри імітаційної моделі докладно описано в [3]. В цій роботі також виявлено,

що такі показники процесу перевезення пасажирів маршрутним транспортом як час початку роботи маршруту, фактичний час виходу з дому та тривалість підходу пасажирів до зупиночного пункту, тривалість під'їзду транспортних засобів, не впливають на величину ЧОП. Тому перерахованими параметрами в моделі нехтують, а для проведення експерименту на основі створеної імітаційної моделі достатньо використання лише заданого інтервалу руху ТЗ на маршруті.

Згідно з [3] ця величина складає 2–20 хв, в експерименті використовувались значення 2, 5, 10 та 20 хвилин, для кожного з яких виконувалось 5 серій розрахунків для кореспонденції в 300 пасажирів. Для отриманих випадкових значень ЧОП визначено закон розподілу, яким для всіх випадків виявився гамма-розподіл (рис. 2 та табл. 3).

Оцінка взаємозв'язку між ЧОП та інтервалом руху ТЗ на маршруті проводиться за допомогою регресійного аналізу, параметрів форми та масштабу гамма-розподілу. В його результаті отримано такі моделі

$$B = J \cdot 0{,}57. \qquad (4)$$

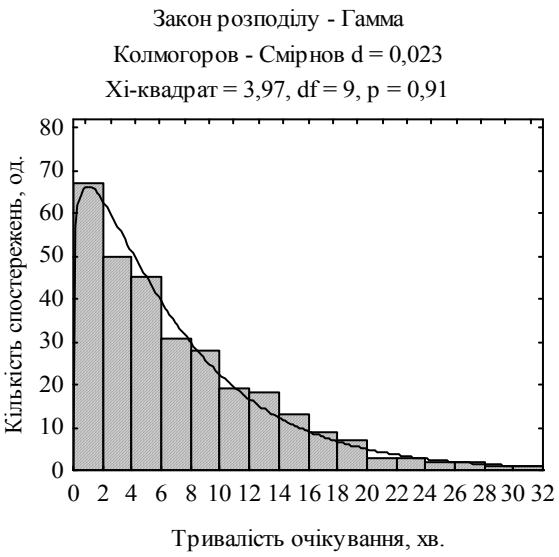

Рис. 2. Гістограма закону розподілу ЧОП на ЗП МПТ при плановому інтервалі руху, рівному10 хв

Множинний коефіцієнт кореляції регресійної моделі масштабу має значення, практично рівне одиниці, що підтверджує високий рівень зв'язку планового інтервалу руху ТЗ на маршруті із ЧОП (табл. 4).

Таблиця 3 Результати дослідження ЧОП

№ серії	Плановий інтервал, хв	Параметри розподілу		Середнє значення ЧОП, хв	Значення критерію		Значення довірчої ймовірності, *P*, %
		масштаб	форма		Колмогорова-Смірнова	χ^2	
1	2	1,159	1,233	1,43	0,02	1,8	0,97
2	2	1,068	1,296	1,38	0,03	8,06	0,33
3	2	1,327	1,141	1,51	0,03	8,22	0,41
4	2	1,093	1,366	1,49	0,03	5,93	0,55
5	2	1,192	1,217	1,45	0,04	8,07	0,33
6	5	2,615	1,22	3,19	0,04	6,88	0,14
7	5	2,561	1,377	3,53	0,02	1,53	0,82
8	5	3,087	1,198	3,69	0,01	0,92	0,92
9	5	2,9	1,322	3,83	0,02	3,97	0,41
10	5	3,39	1,14	3,86	0,02	3,39	0,49
11	10	6,187	1,159	7,17	0,02	3,97	0,91
12	10	4,809	1,391	6,69	0,03	11,63	0,17
13	10	5,128	1,365	7	0,03	13,32	0,15
14	10	5,159	1,368	7,05	0,02	5,69	0,77
15	10	5,777	1,242	7,17	0,01	4,32	0,23
16	20	12,185	1,147	13,98	0,03	10,74	0,15
17	20	12,84	1,157	14,85	0,04	9,72	0,28
18	20	10,945	1,343	14,7	0,02	11,72	0,11
19	20	10,441	1,287	13,44	0,02	5,88	0,44
20	20	11,165	1,307	14,59	0,03	9,63	0,21

На відміну від попереднього експерименту [3], параметр форми гамма-розподілу ЧОП також достатньо тісно залежить від інтервалу руху ТЗ на маршруті (табл. 4). Модель, що описує параметр форми, має такий вигляд

$$C = J \cdot 0,088. \qquad (5)$$

Вільний член регресії для побудованих моделей масштабу та форми гамма-розподілу виявився статистично не вагомим.

Таблиця 4 Характеристика моделей параметрів розподілу ЧОП

Параметри моделі	Параметри закону розподілу	
	масштаб	форма
Множинний коефіцієнт кореляції, R	0,99	0,8
Коефіцієнт детермінації, R^2	0,98	0,64
Інформаційна здатність (ІЗ)	2,69E+03	34,4
Рівень значущості ІЗ	4,72E-21	1,48E-05
Коефіцієнт регресії	0,57	0,088
t-статистика	51,7	5,9
Рівень значущості коефіцієнта регресії	6,24E-22	1,19E-05

Характерним для даного дослідження є те, що основним вхідним параметром імітаційної моделі ЧОП є інтервал руху ТЗ на маршруті, випадкова величина якого розподілена за гамма-законом. Вихідний параметр, тобто ЧОП, також описується гамма-законом. Якщо це звичайна композиція законів, то гамма-закон набував би виду розподілу, наближеного до нормального. В нашому випадку закон розподілу ЧОП більш схожий на показниковий, оскільки параметр форми розподілу ЧОП коливається в межах від 1,14 до 1,37, тобто достатньо близько до одиниці.

Висновки

Перебудова імітаційної моделі ЧОП на основі врахування організації руху ТЗ із заданим інтервалом дозволила провести додаткові дослідження ЧОП та підтвердити його тісний зв'язок із плановим інтервалом руху.

Також підтверджено, що випадкова величина ЧОП підпорядкована гамма-закону розподілу, але, порівняно з організацією руху ТЗ із заданим розкладом, спостерігається більше наближення розподілу до показникового закону. Такі результати можна пояснити використанням гамма-розподілу на вході моделі, на відміну від [3], де на вході експерименту для моделювання прибуття ТЗ на ЗП використано нормальний закон розподілу.

Література

1. Спирин И.В. Перевозки пассажиров городским транспортом: справочное пособие / И. В. Спирин – М. : ИКЦ «Академкнига», 2004. – 413 с.
2. Цибулка Ян. Качество пассажирских перевозок в городах / Ян Цибулка; пер. с чеш. – М. : Транспорт, 1987. – 239 с.
3. Горбачев П.Ф. Параметры плотности распределения времени ожидания пассажирами городских маршрутов / П.Ф. Горбачев // Вестник ХНАДУ. – 2007. – Вып. 37. – С. 90–95.
4. Доля В.К. Теоретические основы и методы организации маршрутных автобусных перевозок пассажиров в крупнейших городах: автореф. дис. на соискание учен. степени д-ра техн. наук: 05.22.10 «Транспортные системы» / В.К. Доля. – М.: МАДИ, 1993. – 42 с.
5. Вадзинский Р.Н. Справочник по вероятностным распределениям / Р.Н. Вадзинский. – С.Пб. : Наука, 2001. – 295 с.

Рецензент: Є. В. Нагорний, професор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 01 червня 2012 р.