

УДК 656.2: 338.47

**Стрельнікова В.А.**

студентка 4-го курсу  
факультету транспортних  
систем Харківського  
національного  
автомобільно-дорожнього  
університету

**Любий Є.В.**

науковий керівник,  
кандидат технічних наук,  
доцент

**Дослідження часу очікування пасажирів на маршрутах  
міського пасажирського транспорту****Анотація**

Витрати часу населенням під час поїздок від місць проживання до місць роботи – важливий критерій оцінки якості перевезень пасажирів в містах. Зниження часу очікування пасажирів на зупинних пунктах є головним внутрішнім резервом перевізного процесу і одним з напрямків підвищення якості перевезень. В статті наводяться результати дослідження щодо визначення фактичних параметрів руху транспортного засобу на міських маршрутах та визначення на їх основі параметрів часу очікування на зупинках за допомогою імітаційної моделі. Метою даного дослідження є спроба пошуку раціональної моделі організації перевезень пасажирів в містах, важливу роль в якій відіграє час очікування пасажирами міського транспорту.

**Ключові слова:** міські маршрутні пасажирські перевезення, зниження часу очікування пасажирами транспортних засобів, імітаційні моделі, управління транспортними перевезеннями.

**Аннотация**

Затраты времени населения во время поездок от мест проживания до мест работы – важный критерий оценки качества перевозок пассажиров в городах. Снижение времени ожидания пассажиров на остановочных пунктах является главным внутренним

резервом перевозочного процесса и одним из направлений повышения качества перевозок. В статье приводятся результаты исследования по определению фактических параметров движения транспортного средства на городских маршрутах и определения, на их основе, параметров времени ожидания на остановках с помощью имитационной модели. Целью данного исследования является попытка поиска рациональной модели организации перевозок пассажиров в городах, важную роль в которой играет время ожидания пассажирами городского транспорта.

**Ключевые слова:** городские маршрутные пассажирские перевозки, снижение времени ожидания пассажирами транспортных средств, имитационные модели, управления транспортными перевозками

**Summary** The timetable of population during their travel to place of home and work is the important criterion of assessment of the quality of conveyance of passengers in towns. The decrease of passengers waiting time at stops is the main inner resources of the conveyance process and one of the areas of improving of the quality of passengers' conveyance. The article gives the results of the research of the identification of actual parameters of traffic of transport vehicles on town routes, and on their ground, the identification of parameters of waiting time at stops with the help of a simulation model. The object of the given research is an attempt to search for an efficient model of the organization of passengers' conveyance in towns in which the passengers waiting time for public transport plays an important part.

**Key words:** public passenger transport, the passenger expectation time, law of distribution.

Пасажирський транспорт задовольняє різноманітні потреби населення в пересуванні, відіграє значну роль у житті мешканців міста. Якість перевезень впливає на психологічний та фізичний стан людей, продуктивність їх праці, відпочинок. Повне, своєчасне та якісне задоволення потреб населення у пасажирських перевезеннях не тільки покращує умови його праці, але є одним із важливих напрямків підвищення технологічного і економічного потенціалу України.

Вагомою частиною витрат часу на поїздки є час очікування пасажирами міських маршрутних транспортних засобів. Тому його

зниження є внутрішнім резервом перевізного процесу та одним з головних напрямків підвищення якості перевізного процесу та ефективності управління пасажирськими перевезеннями.

Користування міським пасажирським транспортом (МПТ) для пасажирів пов'язане із 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 в транспортному засобі (ТЗ), час затрачений на пересадку в найбільшій мірі змінюються під час проведення реорганізаційних заходів на маршрутній мережі. Найбільш складний характер з цих показників має ЧОП, який для інженера з транспорту безумовно має випадковий характер. Визначення його параметрів дозволить спрогнозувати та мінімізувати його значення, поліпшити ефективність функціонування МПТ.

Задача визначення ймовірності вибору пасажиром шляху прямування є однією з найбільш наукомістких при розробці ефективних методів поточного планування роботи систем масового пасажирського транспорту в містах. Цій проблемі присвячено значну кількість робіт, докладний аналіз яких можна знайти в роботі [24].

Метою даної статті 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 вирішити такі задачі: визначити фактичні параметри руху ТЗ на міських маршрутах; розробити імітаційну модель взаємодії пасажирів та ТЗ; провести імітаційний експеримент з визначення ЧОП та проаналізувати його результати.

Одним із основних показників, що визначає рівень обслуговування пасажирів міським пасажирським транспортом, є час їхнього пересування. Він складається із часу підходу до зупиночного пункту і відходу від нього, часу очікування транспортного засобу і часу руху в ньому. Час підходу до зупиночного пункту і відходу від нього залежить від щільності маршрутної мережі. Без її зміни зменшити час підходу не представляється можливим. Час руху в транспортному засобі залежить від конфігурації маршрутів і від закономірностей руху транспортних засобів. Рух транспортних засобів на маршруті міського пасажирського транспорту являє собою складне явище, на яке впливає велика кількість факторів. За

рахунок раціонального вибору параметрів технологічного процесу перевезення пасажирів можливо зменшити дані витрати часу.

Час очікування пасажирами автобусів є однією зі складових загальних витрат часу пасажирів на пересування. Різні аспекти рішення проблеми зниження витрат часу розглядалися в роботах багатьох дослідників. Виникнення часу очікування пасажирами автобусів пов'язано із наявністю інтервалів часу при русі автобусів на маршрутах. За інтервал руху між автобусами, які рухаються один за одним, здійснюється підхід пасажирів до зупиночних пунктів. Кожен пасажир очікує транспортний засіб визначений час протягом інтервалу руху автобусів. Крім цього, унаслідок того, що транспортний засіб має обмежену місткість, при досить великій кількості пасажирів, що підійшли до зупинки, не всі бажаючі можуть увійти в автобус. У результаті цього деяка частина їх залишається на зупиночному пункті очікувати наступний транспортний засіб і їхній час очікування збільшується на величину інтервалу. При вирішенні різноманітних транспортних задач пасажирського транспорту багато дослідників у якості одного з критеріїв оптимізації використовували втрати суспільства, що виникають унаслідок наявності часу очікування [2-11]. Ці втрати визначалися шляхом добутку сумарного часу очікування на вартість однієї пасажирогодини. Значення сумарного часу очікування дослідники одержували через обсяг перевезень на маршруті і середній час очікування. Однак, такий підхід можливий тільки в тому випадку, якщо різний час очікування кожного пасажира має однакову вартісну оцінку. Унаслідок виникнення транспортної стомлюваності пасажирів при пересуванні, знижується їхня продуктивність праці [12]. На ступінь транспортної стомлюваності впливають тривалість і умови очікування. Проведені дослідження [13] дозволяють зробити висновок про нелінійну залежність між часом очікування і стомлюваністю пасажирів. Унаслідок цього, час очікування кожного пасажира має індивідуальну вартісну оцінку. Таким чином, при визначенні соціально-економічних наслідків, унаслідок очікування пасажирами автобусів, необхідно враховувати не середній час очікування всіх пасажирів, а час очікування кожного. При цьому виникає необхідність створення моделей, що дозволяють враховувати час очікування кожного пасажира, який очікує транспортний засіб.

**Фактори, що впливають на час очікування.** Дослідники, котрі вивчають процеси, що відбуваються під час перевезення пасажирів у містах, відзначають, що кількість пасажирів, які підходять до зупиночного пункту, залежить від інтенсивності підходу й інтервалу руху транспортних засобів на маршруті [2]. У свою чергу інтервал руху залежить від кількості транспортних засобів, їхніх параметрів і режимів руху. Крім того, відзначається, що на показники руху автобусів на маршруті впливає значна кількість факторів, які обумовлюють відхилення від інтервалу руху, впливають на регулярність руху і, як наслідок, на час очікування. При цьому кількість пасажирів, що можуть здійснити посадку після прибуття транспортного засобу на зупинку, обмежується місткістю. Місткість обраної марки автобуса для роботи на маршруті визначає їхню потрібну кількість. Залежність між цими двома факторами не завжди пропорційна. Спірін С.Ю. [2, 10, 11] пропонує розглядати їх як два окремих фактори. У свою чергу, кількість автобусів і інтервал руху також взаємозалежні. Однак, кількість транспортних засобів однозначно визначає інтервал тільки при русі автобусів із рівними інтервалами [1]. Для перевезення пасажирів у періоди частих коливань пасажиропотоків відзначається доцільність організації роботи автобусів із постійними і різними інтервалами, знаючи які завжди можна визначити, з урахуванням часу обороту, кількість працюючих транспортних засобів. У будь-якому варіанті величину часу очікування пасажирів можна описати як функцію наступних, часто взаємозалежних змінних:

- інтенсивність прибуття пасажирів до зупиночних пунктів і закономірність їхнього виходу з автобусів;
- інтервал руху транспортних засобів;
- регулярність руху, яку можна оцінити середньоквадратичним відхиленням від інтервалу;
- місткість транспортного засобу.

Зміною будь якого із перерахованих вище факторів можна керувати часом очікування. Унаслідок цього, виникає необхідність в аналізі методів, за допомогою яких можна впливати на ці фактори, а, виходить, і на час очікування пасажирів транспортних засобів.

**Методи зниження часу очікування.** Керувати перерахованими вище факторами можливо різними методами, які можна об'єднати в наступні групи: *містобудівну, експлуатаційну і регулювання дорожнього руху*. Відомо, що планування витрат часу пасажирів на пересування і, як наслідок, на очікування транспорту можливо ще на рівні формування розселення населення міста. Розселення впливає на формування пасажиропотоків, особливо в ранковий період "пік" [1], що є найбільш напруженим для перевезень протягом доби. У цей період основний внесок у формування пасажиропотоків вносять трудові кореспонденції [1]. Тому впливати на формування трудових пересувань, а за допомогою цього і на час очікування, можна шляхом регулювання розселення працюючих промислових підприємств.

Іншим, містобудівним методом регулювання часу очікування може бути рівномірна забудова території міста об'єктами культурно-побутового призначення, що є пунктами поглинання пасажиропотоків. Однак, ці методи можуть бути досить ефективними в нових, споруджуваних містах, де ще не сформувалися пункти пасажироутворення і поглинання. Крім того, при проектуванні нових населених пунктів, а також їхньої реконструкції, зниження витрат часу на пересування можливе за рахунок удосконалювання транспортної мережі [1], що дозволить зв'язати пункти утворення і поглинання пасажиропотоків шляхами проходження з мінімальним часом пересування.

До іншої групи методів - *організаційної* - відноситься розосередження за часом початку функціонування пасажиропоглинаючих центрів. У зв'язку з тим, що час початку роботи пасажироутворюючих і поглинаючих пунктів визначають характер зародження і поглинання пасажиропотоків, регулювання їх за часом дозволить знизити коливання пасажиропотоків у часі, що у свою чергу приведе до збільшення рівномірності завантаження автобусів і приведе до зниження кількості пасажирів, що получили відмовлення в посадці. Виконання даних заходів можливе із залученням виконавчих комітетів міст разом із транспортними підприємствами.

До третьої групи методів можна віднести методи, *безпосередньо пов'язані з організацією перевізного процесу*. Застосування цих методів можливо в умовах сформованої чи змінюваної маршрутної мережі. Відзначається, що удосконалювання схеми маршрутів, а при необхідності і маршрутної мережі, дозволить зменши-

ти час очікування. За рахунок впровадження швидкісних, експресних і комбінованих маршрутів пропонується збільшення експлуатаційної швидкості автобусів, що дозволить зменшити інтервал їхнього руху. При організації роботи транспортних засобів на цих маршрутах можливе використання методів регулювання дорожнього руху. У роботах [11] пропонується виділення відособлених смуг руху, спеціальних вулиць, будівництво швидкісних магістралей, організація пріоритетного проїзду транспорту загального користування, що також дозволить зменшити інтервали руху пасажирського транспорту. Крім організації роботи з постійно діючих маршрутів, у ряді робіт аналізується можливість формування маршрутів із роботою автобусів за викликом. Цей метод дозволить порівняти інтенсивність підходу пасажирів до місць посадки з місткістю транспортного засобу і дати кожному пасажирові інформацію про час прибуття автобуса до його місця розташування.

При сформованій маршрутній системі міського пасажирського транспорту зниження часу очікування пропонується за рахунок удосконалення *методів організації руху, ефективності використання транспортних засобів, підвищення якості керівництва рухом.*

Однією із основних задач, що виникає при організації перевезень пасажирів, є задача вибору марки транспортного засобу і визначення потрібної кількості автобусів для роботи на маршрутах [2, 4]. В умовах дефіциту транспортних засобів ці задачі пов'язані з питанням перерозподілу автобусів по маршрутах [2, 4, 7, 9]. За рахунок розрахунку оптимальної кількості транспортних засобів відповідної марки, пропонується визначення необхідного інтервалу руху для відповідності інтенсивності надходження пасажирів на зупиночні пункти і місткості прибуваючих на них автобусів. Для підвищення ефективності використання рухомого складу багатьма авторами розглядається можливість використання автобусів великої місткості і автобусних причепів [11], а також спеціальну подачу транспортних засобів до місць скупчення пасажирів, що також дозволить привести до відповідності інтенсивність прибуття пасажирів і місткість автобусів.

Зниження часу очікування при формуванні режимів руху автобусів пропонується за рахунок відповідності провізних можливостей маршрутів освоюваних на них пасажиропотокам [1]. За рахунок скорочення часу простоїв автобусів на кінцевих пунктах і

розосередження автобусних зупинок пропонується збільшення експлуатаційних швидкостей транспортних засобів, що дозволяє зменшити інтервал руху. Наслідки збільшення інтервалів руху, унаслідок сходу автобусів з маршруту при технічних несправностях, дослідники пропонують ліквідувати за рахунок резервних автобусів [7]. Наявність нерівномірності пасажиропотоків у часі на маршрутах, у результаті яких можливе виникнення відмов у посадці, за рахунок перерозподілу автобусів між маршрутами, якщо ці нерівномірності не збігаються з ними за часом. Вирівнювання інтервалів при зниженні регулярності руху автобусів пропонується за рахунок диспетчерського управління [3].

Таким чином, впливати на час очікування пасажирів автобусів на зупиночних пунктах можна різноманітними методами. Аналіз можливих шляхів його зниження свідчить про те, що експлуатаційні методи, що є одними із основних, мають широкий спектр використання різних варіантів і, у свою чергу, підрозділяються на дві основні групи: з використанням додаткових капіталовкладень і без них. Особливу увагу заслуговують другі, тому що можуть бути швидко впроваджені у виробництво з відчутною користю для пасажирів. До таких методів відносяться: *раціональне формування режимів руху автобусів на існуючих маршрутах, вибір типу і кількості транспортних засобів для роботи на них, розподіл автобусів по маршрутах, резервування рухомого складу*. При тому, якщо останні методи розроблені і використовуються без значних яких-небудь протиріч, то перший - ще не знайшов свого широкого застосування унаслідок свого недостатнього пророблення, особливо в умовах нерівномірності пасажиропотоків у часі, і може бути об'єктом подальших досліджень. Причому, вихідні дані і закономірності, необхідні для вивчення і впровадження цього методу, дозволяють паралельно з ним розробити рекомендації з використання, з метою скорочення часу очікування на зупиночних пунктах, організаційного методу - розосередження часу початку роботи пасажиропоглинаючих пунктів. У зв'язку з цим, виникає необхідність проаналізувати існуючі методи визначення нерівномірності пасажиропотоків у часі і формування режимів руху автобусів на маршрутах.



**Теоретичні основи моделювання часу очікування.** Метою проведених досліджень є розробка методики оцінки часу очікування пасажиром транспорту на зупинці МПТ, за наявності у нього 2-х або більше альтернативних варіантів шляху проходження.

При цьому покладається, що ЧОПТ є випадковою величиною, тому для досягнення мети необхідно визначити вид і параметри закону розподілу ЧОПТ.

Для цього необхідно вирішити наступні завдання:

- розробити методику одержання значень ЧОПТ і обґрунтувати її адекватність;
- провести експериментальні дослідження і сформулювати необхідний набір ВОПТ для різних умов;
- перевірити гіпотезу про відповідність закону розподілу ВОПТ основним теоретичним функцій розподілу.

Найкращим способом отримання адекватних реальному процесу результатів експерименту є експеримент (активний або пасивний), що проводиться з самим об'єктом дослідження. При дослідженні пасажирських перевезень переваги віддаються обстеженням різного роду, за допомогою яких фіксуються фактичні значення параметрів, що вивчаються. За допомогою обстежень визначено, наприклад, що інтенсивність підходу пасажирів до зупинки пункту розподілена за законом Пуассона [1].

Однак для вивчення ЧОПТ на зупинці відомий тільки один метод обстеження, який полягає у фіксації часу прибуття пасажирів на зупинку і часу відправління від нього в транспортному засобі, що дозволяє розрахувати час очікування як різниця цих двох значень. Приклад результатів такого обстеження, проведеного в м. Харкові 15.12.06 з 7.00 до 9.00 на зупиночному пункті вул. Маяковського і охопила 122 пасажирів, наведено на малюнку 1.

Перевірка відповідності даного емпіричного розподілу експоненціальним законом з параметром  $\lambda = 0,244$  показала, що ця гіпотеза є правдоподібною як за критерієм Колмогорова-Смирнова так і за критерієм Пірсона (мал. 1).

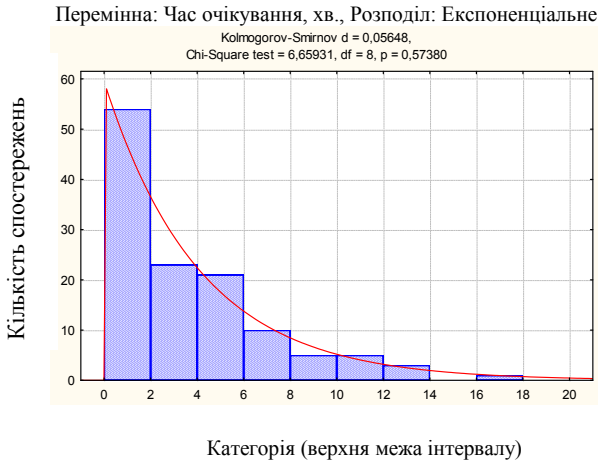


Рис. 1. Приклад емпіричного розподілу ВОПТ на зупинці

Взагалі експоненціальний розподіл є найбільш частим результатом подібного роду обстежень, якщо наступні за зупинним пунктом частини трас альтернативних маршрутів незначно відрізняються між собою, наприклад, якщо далі вони слідуєть до великого пасажиропоглинаючого району. В іншому випадку підібрати теоретичний закон значно складніше, оскільки пасажир вибирає найбільш підходящий варіант шляху проходження, і час його очікування залежить не тільки від того наскільки швидко підійде транспортний засіб того чи іншого маршруту, але і від того, скільки маршрутів його влаштовує. Найбільш розумним тут виглядає припущення, що в більшості випадків пасажир обирає перший транспортний засіб влаштовує його маршруту, зрозуміло, якщо є можливість ним скористатися.

Тому з точки зору можливостей цього методу обстеження в досягненні поставленої мети йому притаманний один, але дуже значущий недолік: він дозволяє визначити тільки мінімальні значення ЧОПТ, тобто він не дозволяє визначити значення часу очікування транспортних засобів, що підійшли пізніше. Серед них у

загальному випадку будуть знаходитися транспортні засоби маршрутів, якими починаються альтернативні варіанти шляху проходження.

Проведення обстеження, яким можна було б встановити емпіричні значення ЧОПТ хоча б і в невеликому обсязі, якщо й можливі, то дуже непевні, адже для фіксації кожного значення необхідно знати час прибуття пасажирів на зупинку і час прибуття на неї після цієї події транспортних засобів всіх маршрутів, що влаштовують пасажирів. Однак для цього повинен бути відомий список цих маршрутів влаштовують кожного пасажирів, що вимагає персоналізації обстеження, тягне за собою додаткові негативні наслідки і складно реалізується практично.

Звичайні методи математичного моделювання для вирішення даної задачі неприйнятні, оскільки величини, що визначають ЧОПТ (час виходу пасажирів з будинку, час прибуття транспортного засобу на зупинний пункт) залежать від занадто великої кількості факторів і не можуть бути описані ні детермінованими, ні статистичними залежностями.

Тому єдиним можливим варіантом визначення виду і параметрів закону розподілу ЧОПТ міського маршруту є проведення імітаційного експерименту.

Для імітаційного експерименту питання забезпечення адекватності моделі об'єкту дослідження є дуже актуальним, оскільки перевірити ступінь адекватності імітаційної моделі шляхом порівняння реальних і фактичних значень дуже складно, адже результат функціонування об'єкта і результати розрахунків за допомогою моделі носять випадковий характер. Крім того, отримання результатів функціонування об'єкта по визначенню є складним процесом, адже інакше не було б сенсу в імітаційній моделі.

Ці особливості вимагають додаткових зусиль по забезпеченню адекватності імітаційної моделі.

**Методика та результати експериментального дослідження часу очікування.** Перебудова взаємовідносин між замовниками маршрутних перевезень та виконавцями транспортної роботи на міських маршрутах привела до значних змін в організації

роботи маршрутів. Використаний в [1] для моделювання руху ТЗ жорсткий розклад руху відноситься до маршрутних систем з високим рівнем організації роботи. Нажаль, на цей час значна кількість маршрутів не відповідає цьому рівню роботи. За відсутністю 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 сьогоднішній день в м. Харкові фактично всі маршрутні ТЗ працюють саме за цією технологією. Протягом останніх років силами студентів проводились обстеження 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, по кожному маршруту окремо обрано закон розподілу інтервалу руху. Для всіх випадків найбільш прийнятним виявився розподіл по гамма закону. Значення довірчої ймовірності критерію Пірсона коливаються в діапазоні 0,05 – 0,84 %, рис. 1. та табл. 1.

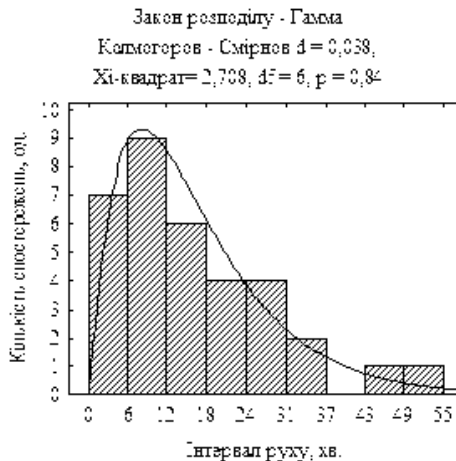


Рис. 2 – Гістограма закону розподілу інтервалу руху транспортних засобів на автобусному маршруті № 263 м. Харкова

Таблиця 1

**Результати дослідження фактичного інтервалу руху транспортних засобів на міських маршрутах**

Маршрут	Місце обстеження	Параметри гама розподілу		Середнє значення інтервалу, хв.	Значення критерію		Значення довірчої ймовірності, Р, %
		Масштаб	Форма		Колмогорова Смірнова	$\chi^2$	
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)	Белгород. шосе/ Хартрон	7	2,14	15	0,23	20,56	0,15
12(тл)	Белгород. 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 параметру розподілу інтервалу руху ТЗ на маршруті**

Параметри моделі	Параметри закону розподілу	
	Масштаб	Форма
Множинний коефіцієнт кореляції, R	0,95	0,7
Коефіцієнт детермінації, R <sup>2</sup>	0,9	0,5
Інформаційна здатність (ІЗ)	156,7	17,4
Рівень значимості ІЗ	1,1E-09	7,3E-04
Коефіцієнт регресії	0,437	0,167
t-статистика	12,52	4,17
Рівень значимості t- критерію	5,2E-10	6,4 E-4

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

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

де  $B$  – параметр масштабу гама-розподілу інтервалу прибуття ТЗ маршруту на ЗП;

$J$  – заданий інтервал руху ТЗ, хв.

забезпечить достатню точність прогнозування параметру масштабу. Що стосується параметру 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 параметру масштабу гама розподілу

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

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 годин ранку [3]. Фактичний час прибуття ТЗ на ЗП розраховується шляхом додавання кожного наступного інтервалу руху до попереднього часу прибуття

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

де  $t_{p_{i-1}}$  – час прибуття попереднього ТЗ на зупиночний пункт;

$L_i$  – випадкове значення інтервалу руху ТЗ на маршруті.

Інші параметри імітаційної моделі докладно описані в [1]. 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 знехтуване, а для проведення експерименту на основі створеної імітаційної моделі достатньо використання лише заданого інтервалу руху ТЗ на маршруті.

Згідно з [1] 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 гама розподіл, рис. 2 та табл. 3.

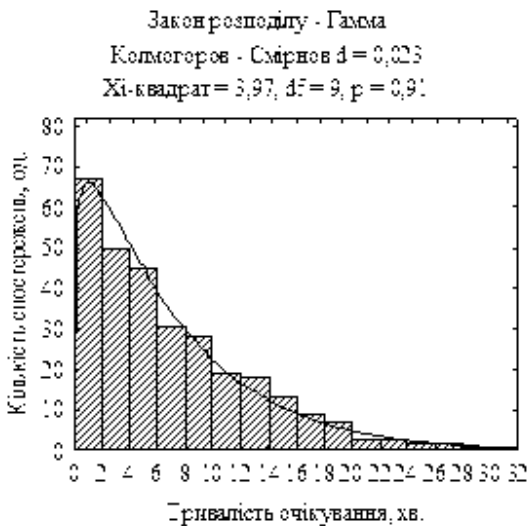


Рис. 3 – Гістограма закону розподілу ЧОП на ЗП МПТ при плановому інтервалі руху, що дорівнює 10 хв.

Таблиця 3

## Результати дослідження ЧОП

№ серії	Плановий інтервал, хв	Параметри розподілу		Середнє значення ЧОП, хв.	Значення критерію		Значення довірчої ймовірності, Р, %
		Масштаб	Форма		Колмогорова-Смірнова	$\chi^2$	
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

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

$$B = J \cdot 0,57. \quad (4)$$

Множинний коефіцієнт кореляції регресійної моделі масштабу має значення практично рівне одиниці, що підтверджує висо-



кий рівень зв'язку планового інтервалу руху ТЗ на маршруті із ЧОП, табл. 4.

На відміну від попереднього експерименту [1], параметр форми гама розподілу ЧОП також достатньо тісно залежить від інтервалу руху ТЗ на маршруті, табл. 4. Модель, що описує параметр форми має наступний вигляд

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

Вільний член регресії, для побудованих моделей масштабу та форми гама 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 <sup>2</sup>	0,98	0,64
Інформаційна здатність (ІЗ)	2,69E+03	34,4
Рівень значимості ІЗ	4,72E-21	1,48E-05
Коефіцієнт регресії	0,57	0,088
t-статистика	51,7	5,9
Рівень значимості 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 по гамма закону. Вихідний параметр, тобто ЧОП, також описується гамма законом. Якщо це звичайна композиція законів, то гамма закон набував би вид розподілу наближеного до нормального. В нашому випадку закон розподілу ЧОП більш схожий на показний, бо параметр форми розподілу ЧОП коливається в межах від 1,14 до 1,37, тобто досить близький 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 підпорядковується гама закону розподілу, але порівняно з організацією руху ТЗ із заданим розкладом, спостерігається більше наближення розподілу до показникового закону. Такі результати можуть бути пояснені використанням гамма розподілу на вході моделі на вході експерименту для моделювання прибуття ТЗ на ЗП використано нормальний закон розподілу.

Принциповою особливістю розвитку сучасної організації управління перевізним процесом є взаємозв'язок маркетингових та логістичних досліджень. Для вдосконалення поточної організації пасажирських перевезень та оперативного управління пасажирським транспортом на лінії попередньо мають чітко визначитися існуючі реально пасажиропотоки в місті, бо саме на таких чисельних даних більш достовірно будуть встановлені засоби їх регулювання, вибрано тип, кількість та раціональні форми руху міського транспорту.

### Література

1. Горбачев П.Ф. Параметры плотности распределения времени ожидания пассажирами городских маршрутов / П.Ф. Горбачев // Вестник ХНАДУ. – 2007. – № 37. – С. 90–95.
2. Антошвили М.Е. Оптимизация городских автобусных перевозок / М.Е. Антошвили, С.Ю. Либерман, И.В. Спирин. – М: Транспорт, 1985. – 102 с.
3. Артынов А.П. Формализация некоторых методов диспетчерского управления городского пассажирского транспорта / А.П. Артынов, Л.А. Воронов, Е.И. Скалецкий // Методы оптимального планирования и управления в городском хозяйстве (пассажирский транспорт). – Владивосток : ИАПУ ДВНЦ АН СССР. – 1976. – С. 3–14.
4. Ахундов Р.М. Исследование путей совершенствования перевозок пассажиров автобусами в системе "Город – пригород" : автореф. дисс... канд. техн. наук / Р.М. Ахундов. – М. – 1978. – 16 с.
5. Васильченко А.И. Об оптимизации основных параметров работы городского пассажирского транспорта / А.И. Васильченко, В.В. Толкач. // Методы оптимального планирования и управления в городском хозяйстве (пассажирский транспорт). – Владивосток: ИАПУ ДВНЦ АН СССР. – 1976. – С. 38–44.
6. Воловиков Г.А. Основные задачи математического обеспечения алгоритма поиска оптимального расписания движения городского пассажирского транспорта / Г.А. Воловиков, А.С. Орлов // Моделирование процессов управления транспортными системами. – Владивосток: ИАПУ ДВНЦ АН СССР. – 1977. – С. 153–156.

7. Либерман С.Ю. Динамическая модель городских корреспонденции / С.Ю. Либерман // Организация автомобильных перевозок и безопасность движения – М.: МАДИ. – 1977. – Вып. 131. – С. 73–77.
8. Павленко Г.П. Автоматизированные системы диспетчерского управления движением городского транспорта / Г.П. Павленко, В.С. Половников, А.П. Лопатин. – М.: Транспорт. – 1979. – 207 с.
9. Раскин Е.М. Экономико-математическая модель определения структуры ресурса подвижного состава на маршрутах ПАТП. / Е.М. Раскин, П.Б. Хейфец // Моделирование процессов управления транспортными системами. - Владивосток: ПАПУ ДВНЦ АН СССР. – 1977. – С. 79–82.
10. Спиринов И. В. Распределение подвижного состава по городским автобусным маршрутам / И.В. Спиринов // Экспресс-информация ЦБНТИ Минавтодора РСФСР. Сер. Пассажирыские автомобильные перевозки. – М. – 1976. – 38 с.
11. Спиринов И.В. Прогрессивные методы транспортного обслуживания в больших городах / И.В. Спиринов, С.Ю. Либерман // Обзорная информация "Проблемы больших городов" – М.: ГОСИНТИ. – 1981. – Вып. 2. – 26 с.
12. Аррак А. Социально-экономическая эффективность пассажирских перевозок / А. Аррак. – Таллин: Ээсти раамат. – 1982. – 198 с.
13. Гюлев Н.У. К определению снижения производительности труда пассажиров после их поездки на городском пассажирском транспорте / Н.У. Гюлев, В.К. Доля, В.М. Бережной // Городской автотранспорт в новых условиях. – Пенза. – 1990. – С. 33–35.
14. Аникст М.Т. Моделирование работы городского пассажирского транспорта / М.Т. Аникст, А.П. Артынов, В.В. Скалецкий // Управление и информация. – Владивосток: ИАГУ ДВНЦ АН СССР. – 1974. – Вып. 13. – С. 84–94.
15. Антошвили М.Е. Исследование некоторых вопросов организации перевозок пассажиров автобусами в городах : дисс. канд. техн. Наук / М.Е. Антошвили – М.: МАДИ. – 1973. – 159 с.
16. Антошвили М.Е. Организация городских автобусных перевозок с применением математических методов и ЭВМ / М.Е. Антошвили, Г.А. Варелопуло, М.В. Хрущев. – М.: Транспорт. – 1974. – 103 с.
17. Сурков Ф. А. Об имитационной математической модели транспортного маршрута. / Ф.А. Сурков, В.В. Новиков // Моделирование процессов управления транспортными системами. – Владивосток: ДВНЦ АН СССР. – 1977. – С. 111–112.
18. Adebisi O. A mathematical model for headway variance of bixed - route buses. – Transportation research. – 1986. – V 20. – № 1. – P. 53–70.
19. Boyd Colin W. Notes on the theoretical dynamics of intermittent public transportation systems. – Transportation research. – 1983. – A–17. №5. – P. 347–354.

20. Girard J., Heurgon E., Cornet N., Doras J.-L. Les études sur l'irrégularité des lignes d'autobus. - Transport, environnement, circulation, 1983. - № 56. - P. 16-22.

21. William C. Jordan, Mark A. Tophguist. Zone scheduling of bus routes to improve service reliability. - Transportation science/ - 1979. - V 13. - №3. - P. 242-267.

22. Артынов А.П. Имитация процессов функционирования городского пассажирского транспорта на маршрутной сети / А.П. Артынов, А.И. Васильченко // Моделирование процессов управления транспортными системами. - Владивосток: ИАПУ ДВНЦ АН СССР. - 1977. - С. 83-84.

23. Артынов А. П. Имитация движения поездов на сети городского пассажирского транспорта / А.П. Артынов, А.И. Васильченко, В.В. Скалецкий // Методы оптимального планирования и управления в городском хозяйстве (пассажирский транспорт). - Владивосток: ИАПУ ДВНЦ АН СССР. - 1976. - С. 106-114.

24. Доля В.К. Теоретические основы и методы организации маршрутных автобусных перевозок пассажиров в крупных городах: дисс... д-ра техн. наук: 05.22.10. / В.К. Доля ; Моск. автомобильно-дорожный ин-т. - М. - 1993. - 301 с.