

Міністерство освіти і науки України
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ УНІВЕРСИТЕТ

П.Ф. Горбачов, О.В. Макарічев, В.М. Чижик

**ЧАС ОЧІКУВАННЯ В СИСТЕМІ МІСЬКОГО
МАРШРУТНОГО ТРАНСПОРТУ**

Монографія

Харків
ХНАДУ
2019

Затверджено до видання Вченою Радою ХНАДУ, Дозвіл № 25/20/4.7 від 31.01.20

Рецензенти: **І.С. Наглюк**, д.т.н., професор, завідувач кафедри організації і безпеки дорожнього руху
(Харківський національний автомобільно-дорожній університет)
В.А. Войтов, д.т.н., професор,
завідувач кафедри транспортних технологій і логістики
(Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. Петра Василенка)
Н.У. Гюлев, д.т.н., професор,
професор кафедри транспортних систем і логістики
(Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова)

Колектив авторів:

Горбачов П.Ф., д.т.н., професор, завідувач кафедри транспортних систем і логістики
(Харківський національний автомобільно-дорожній університет)
Макарічев О.В., д-р. фіз.-мат. наук, професор кафедри транспортних систем і логістики
(Харківський національний автомобільно-дорожній університет)
Чижик В.М., к.т.н., асистент кафедри транспортних систем і логістики
(Харківський національний автомобільно-дорожній університет)

Горбачов П.Ф.

Г 67 Час очікування в системі міського маршрутного транспорту : монографія / П.Ф. Горбачов, О.В. Макарічев, В.М. Чижик. – Харків : ХНАДУ, 2019. – 112 стор.
ISBN

Представлені результати вирішення науково-прикладної задачі, яка полягає в розробці аналітичних залежностей розрахунку тривалості часу очікування пасажирами маршрутного транспорту в місті.

Для інженерно-технічних робітників, вчених та аспірантів, діяльність яких пов'язана з транспортним моделюванням та плануванням роботи громадського транспорту.

Іл. 13. Табл. 6. Бібліогр. 90 назв.

ВСТУП

Швидкий темп життя мешканців великих міст, постійний розвиток міських транспортних систем, чимала конкуренція на ринку транспортних послуг та наявність альтернатив вибору пасажиром видів транспорту і маршрутів пересування, обумовлює необхідність підвищення якості обслуговування населення громадським транспортом. Основною задачею при виборі пасажиром міського пасажирського транспорту (МПТ) під час здійснення трудових поїздок в умовах, що склалися, є пошук компромісу між якістю та вартістю надання транспортних послуг.

Найважливішим із показників, що визначає якість обслуговування пасажирів МПТ, є час їхнього пересування. Він складається із часу підходу до зупиночного пункту (ЗП) і відходу від нього, часу очікування транспортних засобів (ТЗ) і часу поїздки в них. Найбільш значущим елементом часу пересування є час очікування пасажирів (ЧОП), який сприймається пасажиром найбільш гостро, як марні витрати часу. До того ж він є найбільш складним для прогнозування, оскільки має випадковий характер.

Значне підвищення якості обслуговування пасажирів МПТ можливе за рахунок мінімізації витрат ЧОП маршрутних ТЗ на ЗП на початку поїздки та під час здійснення пересадок. Головною проблемою міст України на цьому шляху є низький рівень інформаційного забезпечення населення про розклад руху громадського транспорту (ГТ) на маршрутах. Виключенням може слугувати лише система метрополітену, де на кожній станції наявним є електронне інформаційне табло із відліком моменту відправлення попереднього потягу. Але і ця інформація доступна пасажирові лише тоді, коли він вже знаходиться на посадковій площадці та не впливає на результат поїздки.

Що стосується вуличних видів ГТ, то розклад руху на ЗП в більшості міст взагалі відсутній, а для пасажирів доступна лише інформація про початок та кінець роботи маршруту, номер маршруту і кінцеві пункти прибуття. У тих небагатьох випадках, коли розклад руху присутній, практично завжди існує проблема дотримання водіями ТЗ цього розкладу, яка зазвичай викликана реальними умовами роботи міських маршрутів у загальному транспортному потоці.

При невідомому розкладі руху ТЗ на маршруті тривалість

очікування є для пасажирів випадковою величиною, передбачити яку заздалегідь не можливо, а його середнє значення формується інтервалом руху, параметри якого обумовлені технологією організації роботи маршруту.

При наявності інформації про фактичний час прибуття ТЗ на ЗП, тривалість очікування пасажирами посадки в ТЗ першого з підходящих маршрутів визначається тільки особистим ставленням пасажира до свого вільного часу і до поїздки в цілому та, що є дуже важливим, не створює негативного настрою у пасажира протягом очікування. Проте, в даний час в Україні інформаційне забезпечення пасажирів про розклад руху ТЗ на міських маршрутах знаходиться на вкрай низькому рівні. Це в повній мірі стосується і міста Харків, у якому наявність розкладу на ЗП МПТ швидше виняток, ніж правило.

Дослідження параметрів випадкового часу очікування, характерного для пасажирів, яким невідомий розклад руху ТЗ на маршруті, та порівняння його значення із варіантом, коли розклад руху відомий, дозволить дати відповідь на питання доцільності організації роботи МПТ за розкладом руху, що в свою чергу є важливим кроком на шляху до підвищення якості обслуговування пасажирів в цілому та обумовлює значну актуальність наукових досліджень у цьому напрямку.

Ще одним питанням такого дослідження є визначення витрат, які пов'язані із організацією обслуговування пасажирів ГТ за відомим розкладом руху. Вони мають бути незначними в порівнянні із соціальним ефектом від скорочення часу очікування, що обумовлений великими обсягами маршрутних перевезень та постійним характером пересувань пасажирів.

Розроблені на сьогоднішній день моделі для визначення прогнозних значень ЧОП не мають достатнього теоретичного обґрунтування та зводяться до залежності, яка отримана ще у 30-ті роки ХІХ століття. Визначення параметрів ЧОП є актуальним питанням, вирішення якого дозволить спрогнозувати його значення, обґрунтувати ефективні заходи щодо його мінімізації та підвищити ефективність функціонування МПТ.

Монографія присвячена вирішенню науково-прикладної задачі, яка полягає в розробці аналітичних залежностей розрахунку тривалості часу очікування пасажирами маршрутного транспорту в місті для випадку, коли пасажиру не відомий точний час прибуття транспорт-

ного засобу на зупиночний пункт. Отримані аналітичні залежності є теоретичною базою для проведення оцінки ефективності функціонування маршрутних мереж міст в цілому та, зокрема, дозволяють надати кількісну оцінку заходів, спрямованих на скорочення фази очікування під час здійснення пасажирями пересувань.

У першому розділі монографії проведений аналіз існуючих методів розрахунку та зниження витрат часу пасажирів на пересування МПТ. Розглянуто можливі підходи до розрахунку ЧОП ТЗ на ЗП та існуючі варіанти обслуговування пасажирів маршрутним транспортом.

У другому розділі визначено та формалізовано можливі варіанти обслуговування пасажирів МПТ, для кожного з них сформовано аналітичні залежності для розрахунку ЧОП ТЗ на ЗП, а також розроблено математичний апарат для переходу від розрахунку ЧОП на одному маршруті до маршрутної системи міста.

У третьому розділі проведений імітаційний експеримент з оцінки точності розроблених теоретичних моделей, отримані фактичні параметри руху ТЗ на міських маршрутах, які характерні для поточного стану маршрутної мережі (ММ) м. Харкова, визначені параметри підходу пасажирів до ЗП при невідомому для них розкладі руху ТЗ. Наведені результати емпіричних досліджень та розрахунку середнього ЧОП ТЗ на ЗП при відомому для пасажирів розкладі руху.

У четвертому розділі наведено результати розрахунку середнього часу очікування по всій ММ при невідомому для пасажирів розкладі руху, представлено найбільш розповсюджені способи інформування пасажирів про розклад руху ТЗ на міських маршрутах, обґрунтовано соціальну ефективність переходу обслуговування пасажирів від інтервальної технології до обслуговування за заздалегідь відомим розкладом руху ТЗ на міських маршрутах.

1 СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ МОДЕЛЮВАННЯ ЧАСУ ОЧІКУВАННЯ ПАСАЖИРАМИ ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ

Витрати часу населенням під час поїздок від місць проживання до місць роботи – важливий критерій оцінки якості перевезень пасажирів у містах. Користування МПТ для пасажирів пов'язане саме з необхідністю економії часу і сил при пересуваннях [1]. У свою чергу, очікування ТЗ МПТ на ЗП є невід'ємною складовою процесу пересування пасажирів ММ. Саме ЧОП маршрутних ТЗ, разом з часом поїздки в ТЗ та часом затраченим на пересадку, в найбільшій мірі змінюються під час проведення реорганізаційних заходів на ММ.

Найбільш складний характер з цих показників має ЧОП, конкретне значення якого для інженера з транспорту, безумовно, має випадковий характер. Визначення його параметрів, як випадкової величини, дозволить спрогнозувати та мінімізувати його значення, підвищити ефективність функціонування МПТ.

1.1 Методи зниження витрат часу пасажирів на пересування

Одним із підходів, що дозволяє зменшити ЧОП, є диспетчерське управління процесом руху ТЗ на маршрутах в режимі реального часу. Так, в роботі [2] автором розроблено систему автоматичного оперативного управління маршрутним транспортом із постійним каналом керуючого зв'язку. Розроблений алгоритм застосування та набір керуючих впливів на процес руху ТЗ на маршруті. У випадку відхилення параметрів роботи транспорту від планових показників, застосування такого управління дозволяє відновити роботу ТЗ згідно з плановими параметрами руху, при чому зниження ЧОП становить 9,6 %. Але в роботі не представлено витрати, які мають місце при впровадженні системи оперативного управління та не наводяться параметри підходу пасажирів до ЗП і спосіб їхнього інформування про розклад руху ТЗ на ММ.

При вирішенні різноманітних транспортних задач пасажирського транспорту багато дослідників у якості одного з критеріїв оптимізації використовували втрати суспільства, що виникають внаслідок

наявності ЧОП [3-13]. Ці втрати визначаються шляхом добутку сумарного ЧОП на вартість однієї пасажиро-години. Значення сумарного ЧОП дослідники одержали через обсяг перевезень на маршруті і середній час очікування. Однак, такий підхід можливий тільки в тому випадку, якщо весь час очікування кожного пасажирів має однакову вартісну оцінку. Внаслідок виникнення транспортної стомлюваності пасажирів при пересуванні, знижується їхня продуктивність праці [14]. На ступінь транспортної стомлюваності впливають тривалість і умови очікування.

Проведені в роботі [15] дослідження дозволяють зробити висновок про нелінійну залежність між ЧОП і стомлюваністю пасажирів. Унаслідок цього час очікування для кожного пасажирів має індивідуальну вартісну оцінку, що з'ясовано та доведено зарубіжними дослідниками [16, 17]. Таким чином, при визначенні соціально-економічних наслідків реорганізації ММ, бажано враховувати не середній час очікування всіх пасажирів, а час очікування кожного з них. При цьому виникає необхідність створення моделей, що дозволяють враховувати час очікування ТЗ кожним пасажиром.

Дослідники, які вивчають процеси, пов'язані з перевезенням пасажирів у містах, відзначають, що кількість пасажирів, які підходять до ЗП, залежить від інтервалу руху ТЗ на маршруті [5, 18-26]. У свою чергу, інтервал руху залежить від кількості ТЗ, їхніх техніко-експлуатаційних параметрів і режимів руху. Крім того, відзначається, що на показники руху ТЗ на маршруті впливає значна кількість факторів [25-27], які обумовлюють відхилення від інтервалу руху, впливають на регулярність руху і, як наслідок, на ЧОП. При цьому кількість пасажирів, що можуть здійснити посадку після прибуття ТЗ на зупинку, обмежується його місткістю. Місткість обраної марки ТЗ для роботи на маршруті визначає їхню потрібну кількість.

У своїх роботах Спірін І.В. [5, 13, 14] пропонує розглядати їх як два окремих фактори. У свою чергу, кількість ТЗ та інтервал руху також взаємозалежні. Однак, кількість ТЗ однозначно визначає інтервал тільки при русі ТЗ із рівними інтервалами без відхилення від планового часу прибуття та відправлення ТЗ на зупинках [1]. Для перевезення пасажирів у періоди частих коливань пасажиропотоків відзначається доцільність організації роботи ТЗ із постійними, але різними інтервалами, знаючи які, завжди можна визначити, з урахуванням часу оберту, кількість працюючих ТЗ [1].

У будь-якому випадку величину ЧОП можна описати як функцію наступних, часто взаємозалежних факторів: закономірність прибуття пасажирів до ЗП; середній інтервал руху ТЗ; регулярність руху, яку можна оцінити середньоквадратичним відхиленням від середнього інтервалу; місткість ТЗ.

Дослідники відзначають, що шляхом зміни якого-небудь із перерахованих вище факторів можна досягати зміни ЧОП. Унаслідок цього виникає необхідність аналізу методів, за допомогою яких можна впливати на ці фактори, а отже і на ЧОП ТЗ. Керувати перерахованими вище факторами можна різними методами, які об'єднано в наступні групи: містобудівні; експлуатаційні; методи організації роботи маршрутного транспорту.

Відомо, що планування витрат часу пасажирів на пересування і, як наслідок, на очікування транспорту можна ще на рівні формування розселення населення міста. Розселення впливає на формування пасажиропотоків, особливо в ранковий період «пік» [1], коли 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 працівників промислових підприємств.

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

До експлуатаційної групи методів відноситься розосередження за часом початку функціонування пасажиропоглинаючих центрів, яке дозволить знизити коливання пасажиропотоків у часі, що, у свою чергу, приведе до збільшення рівномірності завантаження ТЗ і зниження кількості пасажирів, що отримали відмову в посадці.

До третьої групи методів можна віднести методи, безпосередньо пов'язані з організацією перевізного процесу. Застосування цих методів можливо в умовах сформованої чи реорганізованої ММ. Від-

значається, що удосконалення схеми маршрутів, а при необхідності і ММ, дозволить зменшити час очікування [13]. За рахунок впровадження швидкісних, експресних і комбінованих маршрутів пропонується збільшення експлуатаційної швидкості ТЗ, що дозволить зменшити інтервал їхнього руху. При організації роботи ТЗ на цих маршрутах можливе використання методів регулювання дорожнього руху.

У роботі [13] пропонується виділення відокремлених смуг руху, спеціальних вулиць, будівництво швидкісних магістралей, організація пріоритетного проїзду транспорту загального користування, що також дозволить зменшити інтервали руху пасажирського транспорту. Крім організації роботи за постійно діючими маршрутами, у ряді робіт аналізується можливість формування маршрутів із роботою ТЗ за викликом. Цей метод дозволить порівняти інтенсивність підходу пасажирів до місць посадки з місткістю ТЗ і дати кожному пасажирові інформацію про час прибуття ТЗ до його місця розташування.

При сформованій ММ МПТ зниження ЧОП можливо за рахунок удосконалення методів організації руху, ефективного використання ТЗ, підвищення якості управління рухом. Однією із основних задач, що виникає при організації перевезень пасажирів, є задача вибору марки ТЗ і визначення потрібної кількості ТЗ для роботи на маршрутах [5, 7]. В умовах дефіциту ТЗ ці задачі пов'язані з питанням перерозподілу ТЗ по маршрутах [5, 7, 11]. За рахунок визначення кількості ТЗ відповідної марки, забезпечується необхідний інтервал руху, відповідно до інтенсивності надходження пасажирів на ЗП, і раціональна місткість прибуваючих ТЗ. Для підвищення ефективності використання рухомого складу багатьма авторами розглядається можливість використання ТЗ великої місткості і пасажирських причепів [13], а також спеціальна подача ТЗ до місць скупчення пасажирів, що також дозволить привести у відповідність інтенсивність прибуття пасажирів і місткість ТЗ.

Збільшення експлуатаційних швидкостей ТЗ пропонується за рахунок скорочення часу простоїв ТЗ на кінцевих ЗП і розосередження ЗП на маршруті, що дозволяє зменшити інтервал руху. Негативні наслідки збільшення інтервалів руху, внаслідок сходу ТЗ з маршруту за технічними причинами, дослідники пропонують ліквідувати за рахунок резервних ТЗ [10]. Відмови у посадці, як результат нерівномірності пасажиропотоків у часі на маршрутах, пропонується компенсувати шляхом перерозподілу ТЗ між маршрутами, якщо ці

нерівномірності не збігаються з ними в часі. Вирівнювання інтервалів при зниженні регулярності руху ТЗ пропонується за рахунок диспетчерського управління [6].

Таким чином, впливати на ЧОП ТЗ на ЗП можна різноманітними методами. Аналіз можливих шляхів його зниження свідчить про те, що експлуатаційні методи, які є одними із основних, мають широкий спектр використання різних варіантів і, у свою чергу, поділяються на дві основні групи: з використанням додаткових капіталовкладень і без них. Особливу увагу заслуговують другі, тому що можуть бути швидко впроваджені у транспортний процес з відчутною користю для пасажирів. До таких методів відносяться: формування раціональних режимів руху ТЗ на існуючих маршрутах; вибір типу і кількості ТЗ для роботи на маршрутах; розподіл ТЗ по маршрутах; резервування рухомого складу.

Транспортні інформаційні системи в індустрії міських пасажирських перевезень фактично стали стандартом. Значна кількість зарубіжних транспортних компаній забезпечує пасажирів інформацією про прибуття ТЗ на ЗП в реальному часі. Із обстеження, що було проведено в роботі [28], 89 % опитаних транспортних компаній США повідомили про наявність програмного забезпечення для прогнозування часу прибуття ТЗ на ЗП у режимі реального часу.

У роботі [29] автором представлено новий підхід до відображення інформації в режимі реального часу, який є досить вдалим способом, що може бути легко інтерпретований і зрозумілий як пасажирам МПТ, так і його операторам. Головний сенс полягає у візуалізації обраного маршруту слідування, ЗП на ньому, та відображення часу прибуття наступного ТЗ. Таке програмне забезпечення може бути встановлене на мобільний телефон або планшет.

Серед іноземних авторів слід відзначити дослідження, яке проводилося в Лос-Анджелесі спільними силами працівників Каліфорнійського університету, університетів штату Флорида, міст Нью-Йорк і Буффало [30]. Основне питання, яке цікавило дослідників – це як пасажир оцінює свій час, коли очікують ГТ. Пасажирам була надана можливість платити за економію особистого часу. Вони могли сплатити 75 центів і відправитися із ЗП прямо зараз та не витратити час на очікування, або ж витратити в середньому на 5,3 хвилини більше особистого часу, щоб дочекатися безкоштовного проїзду. Чекати безкоштовного проїзду вирішило 86 % пасажирів. Їх поведінка

передбачає, що вартість часу очікування безкоштовного проїзду є меншою ніж 8,5 \$ за годину.

Дослідники університету штату Огайо, Іллінойс і Чикаго провели спостереження, які дозволили визначити кількісний зв'язок між передбачуваним і фактичним часом очікування [31]. Дослідження показали, що пасажери сприймають час очікування більшим ніж фактичний в діапазоні від 3 хв до 15 хв при відсутності інформації про час прибуття ТЗ на ЗП. Середній час очікування, що сприймається пасажирами, за результатами проведення обстеження склав 6,61 хв, при його середньому фактичному значенні 5,77 хв. Різниця в 0,84 хв виникає як наслідок відсутності розкладу на ЗП та не знання його пасажирами [31].

Низький рівень якості обслуговування пасажирів МПТ в значній мірі відбивається на сприйнятті фактичного ЧОП. Експлуатаційні характеристики роботи маршруту: низька швидкість руху на маршруті, великий інтервал руху ТЗ, недотримання водіями графіків руху чи взагалі їх повна відсутність – обтяжують очікування на зупинці. З метою визначення різниці між фактичним ЧОП і часом очікування, що сприймають пасажери, автором роботи [32] проведено емпіричні дослідження на ММ м. Афіни, яка налічує 300 маршрутів та щоденно обслуговує в середньому 1,3 млн. пасажирів. Аналіз базується на обстеженні 30 ЗП в період із 8:00 до 20:00. Всього анкетовано 1000 пасажирів. В результаті визначено, що фактичний час очікування в 1,6 раз в середньому за день менший від часу, що сприймається пасажирами.

Використання системи GPS в околицях міської забудови для контролю та управління МПТ може викликати проблеми, які пов'язані із коректною роботою системи позиціонування ТЗ. Сигнал може відбиватися від будівель, шляхопроводів та інших поверхонь, які можуть блокувати деякі або взагалі всі супутникові сигнали. Подолати ці обмеження автор роботи [33] пропонує шляхом використання інтегрованої системи позиціонування, що складається із блоку обчислення в парі із системою відеофіксації на маршруті прямування.

Дослідження показали, що надійність обслуговування тісно пов'язана із задоволенням пасажирів і сприйняттям якості транспортних послуг [34]. Пасажири високо цінують надійність роботи маршруту [35] і використовують цей фактор при виборі маршруту сліду-

вання [36]. Низький рівень надійності транспортних послуг трансформується в додатковий ЧОП [37-40], питома вартість якого по оцінкам перевищує вартість часу поїздки в ТЗ майже в три рази [41].

Використання системи GPS для контролю та організації роботи рухомого складу на маршруті не забезпечує прибуття ТЗ на ЗП точно за графіком руху. Дослідження, проведені автором роботи [42], спрямовані на визначення витрат часу пасажирями в залежності від надійності транспортних послуг. Обстеження проводилось на 13 ЗП експресного маршруту загальною довжиною 33 км із інтервалом руху ТЗ 15 хв протягом усього дня. На кожній зупинці зафіксовано в середньому 95 значень часу прибуття ТЗ на ЗП та в подальшому порівняно із плановим часом.

Не зважаючи на високу точність системи GPS-контролю, ТЗ прибували із деяким запізненням, величина якого описується логномальним законом розподілу випадкової величини. Величина відхилення від розкладу варіюється від 0,12 хв до 1,06 хв і має середнє значення 0,44 хв. Такі відхилення вважаються припустимими і можна стверджувати, що система функціонує відносно надійно. Але це свідчить про присутність випадкової складової ЧОП в процесі пересування навіть на маршрутах із високим рівнем надійності.

Дослідження, проведені у роботах [43-47], показали, що в більшості випадків пасажирі координують час підходу до ЗП з часом відправлення маршрутного ТЗ від нього, тим більше якщо мова йде про довгі маршрути із великим інтервалом руху ТЗ, але це стосується лише випадку, коли пасажирам відомий розклад руху.

В роботі [48] проведено дослідження фактичного ЧОП на приміських зупинках м. Лондон. У випадковому порядку були обстежені різні ЗП протягом доби кожного із восьми днів. Пасажири, які координували свій підхід до ЗП відповідно до часу прибуття ТЗ, витратили на очікування в середньому на 30 % менше часу, ніж пасажирі, які підходили у випадковому порядку.

Більшість авторів в галузі дослідження надійності МПТ розглядали прибуття пасажирів на ЗП як випадковий процес [49-52]. Однак емпіричні дослідження свідчать, що при певних умовах пасажирі можуть координувати свій час прибуття на ЗП із графіком руху ТЗ. Із цього можливо зробити висновок, що пасажирі або деяка їх частина ознайомлені із графіком руху ТЗ і використовують дану інформацію для зменшення ЧОП. З урахуванням цього, автори робіт [53-56] на-

магалися з'ясувати яким чином пасажирів, які володіють інформацією про розклад руху, обирають час підходу до ЗП.

Підхід Окрента [53] полягає в оцінці параметрів розподілу ймовірностей, за допомогою яких можливо змодельовати розподіл часу прибуття пасажирів на ЗП. Емпіричні дані, зібрані на ЗП міст Чикаго і Еванстон штату Іллінойс, описуються бета та гамма розподілом. В результаті виявлено, що в інтервалі прибуття ТЗ на ЗП від 12 хв до 13 хв відбувається перехід від випадкового прибуття пасажирів на ЗП до усвідомленого підходу.

1.2 Підходи до розрахунку часу очікування пасажирів на маршрутних транспортних засобах на зупиночних пунктах міста

У результаті аналізу існуючих методів зниження витрат пасажирів на пересування встановлено, що багато дослідників при вирішенні задач удосконалення організації перевезень пасажирів, як один з критеріїв оптимізації, приймали ЧОП ТЗ [6-11]. У більшості випадків, в тому числі в [10, 12], час очікування одного пасажирів визначається як половина інтервалу руху на маршруті. Однак, при такому способі визначення середнього ЧОП, як показано в роботах [5, 13-15], можливе одержання достовірних результатів лише у випадку відсутності відхилень від розкладу руху ТЗ і відмов у посадці. У зв'язку з наявністю даних процесів, у роботі [15] вказується, що середній час очікування одного пасажирів складає 75-80 % від маршрутного інтервалу.

В роботі [57] час, що витрачає пасажир на поїздку розглядається як сума фаз: тривалості підходу пасажирів 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 витраченому на пересування в ТЗ та часу на пересадку. Витрати часу на підхід до ЗП, ЧОП ТЗ та час слідування від ЗП до місця призначення автор детально не розглядає, а лише наводить статистичні дані.

Серед радянських учених вагомих вклад в дослідження МПТ зробив видатний ленінградський інженер Абрам Хаїмович Зільберталь. Особливе місце серед поглядів і цінностей класика займало питання витрат часу міського населення на пересування та його вартіс-

на оцінка. У зв'язку з цим існує його вислів, який в ХХІ столітті набув ще більшої актуальності: «Вирішення питань пересування не є чисто математичною задачею, а дійсно залежить від того, як високо суспільство оцінює свій час і свої зручності» [58]. Йому належить найбільш відома у наш час формула для розрахунку середнього ЧОП, яка враховує можливість відхилення графіку руху ТЗ на маршруті від планового [59]

$$\bar{T}_{оч} = \frac{\bar{I}}{2} \left(1 + \frac{\sigma^2}{\bar{I}^2} \right), \quad (1.1)$$

де $\bar{T}_{оч}$ – середній час очікування одного пасажирів;

\bar{I} – середній інтервал руху ТЗ;

σ – середньоквадратичне відхилення від середнього інтервалу руху ТЗ.

Вищенаведена формула є основою для розрахунку ЧОП у випадку, коли час прибуття ТЗ на ЗП для пасажирів невідомий.

Однак, дана залежність, на думку авторів робіт [18, 19], не враховує можливість виникнення відмов у посадці в автобуси через його переповнення. Унаслідок цього, в роботах [19, 20] були початі спроби подальшого розвитку залежності (1.1). У них для фіксації додаткового ЧОП, що виникає внаслідок виникнення відмов у посадці, введено поняття – ймовірність відмови пасажирів у посадці. Унаслідок цього залежність (1.1) перетвориться в наступну

$$\bar{T}_{оч} = \frac{I_{нл}}{2} + \frac{\sigma^2}{2I_{нл}} + P_{від} I_{нл}, \quad (1.2)$$

де $I_{нл}$ – плановий інтервал руху ТЗ на маршруті;

σ – середньоквадратичне відхилення інтервалу руху ТЗ від розкладу;

$P_{від}$ – ймовірність відмови пасажирів у посадці.

Ймовірність відмови пасажирів у посадці пропонується визначати методом статистичного моделювання роботи ТЗ на маршруті. При цьому передбачається, що прибуття пасажирів на ЗП підпорядковується розподілу Пуассона. Час руху ТЗ між сусідніми ЗП в роботі [19] визначався з урахуванням даних про проходження ними контрольних пунктів на маршруті. Він пропорційний відстані між контрольними пунктами і ЗП. При його моделюванні, враховані не всі

фактори, що на нього впливають. Тривалість посадки та висадки пасажирів розраховувалась за показниковим законом розподілу з математичним сподіванням, пропорційним кількості пасажирів, що ввійшли у ТЗ і вийшли з нього.

Однак, відповідно до залежності (1.2) при значеннях ймовірності відмови, що прагнуть до одиниці, значення ЧОП приймає скінчену величину. У дійсності ж при $P_{від} = 1$ значення ЧОП прагне до нескінченності.

Надалі авторами робіт [5, 12] для визначення середнього ЧОП використовувалася залежність (1.2). Однак, у ній застосовувалися інші методи визначення ймовірності відмови пасажирам у посадці. Так, у роботах [5, 12] для визначення його значення використовувався аналітичний метод та запропонована наступна залежність для визначення ймовірності відмови на зупинці

$$P_{від} = 1 - \sum_{K=0}^q \left((T_{об} \lambda_i A^{-1})^K / K! \right) e^{-(T_{об} \lambda_i A^{-1})}, \quad (1.3)$$

де A – кількість ТЗ, що працюють на маршруті;

λ_i – інтенсивність пасажиропотоку на перегоні маршруту, що починається від i -ої зупинки;

$T_{об}$ – час оберту ТЗ на маршруті;

q – місткість ТЗ;

K – кількість пасажирів, що прибули до i -ої зупинки.

Ця методика оцінки ймовірності відмови використовувалася при визначенні середнього ЧОП в роботі [19].

Однак, як вказується в роботі [1], залежність (1.3) не відбиває фізичний зміст ймовірності відмови, яка описана у роботах [5, 20], а являє собою ймовірність того, що на ЗП відбудеться відмова в посадці хоча б одному пасажиру. Крім того, наявність у (1.3) змінної λ , що представляє собою інтенсивність пасажиропотоку на перегоні маршруту, який починається із i -ї зупинки, зумовлює той факт, що до даної зупинки прибуття пасажирів можливе за рахунок пішого підходу і під'їзду на ТЗ.

Якщо допущення про те, що підхід пасажирів до зупинок описується законом Пуассона, представленим у залежності (1.3), не викликає сумніву, то адекватність опису цим законом прибуття пасажирів в автобусі можна поставити під питання. Очевидно, що закон

розподілу прибуття пасажирів до ЗП на автобусі збігається із законом розподілу руху самих ТЗ по маршруту. У роботі [13] указується, що рух ТЗ на маршруті можна описати законом Пуассона лише у випадку, якщо вони працюють без розкладу руху. У зв'язку з тим, що в даний час режими руху ТЗ формуються на основі розкладу руху, їхнє прибуття на ЗП не може бути описано законом Пуассона.

У роботі [20] для визначення ЧОП також використовується залежність (1.2). Для визначення ймовірності відмови пасажиром у посадці автором пропонується своя залежність. Однак, з її допомогою представляється можливим визначити тільки максимальне значення ймовірності відмови.

Таким чином, використання залежності (1.2) для визначення ЧОП ТЗ обмежено унаслідок відсутності науково-обґрунтованих методів визначення ймовірності відмови пасажиром у посадці.

Інший варіант модифікації залежності (1.1) був запропонований у роботі [18], де на основі елементів теорії масового обслуговування була дана оцінка додаткового ЧОП, що виникає в результаті появи відмов у посадці. У результаті цього загальна залежність для визначення ЧОП за цими роботами має вид

$$\bar{T}_{оч} = \frac{\bar{T}}{2} \left[1 + C_x^2 \left(1 + \frac{\rho^3}{1-\rho} \right) \right], \quad (1.4)$$

де $C_x = \sigma / \bar{T}$ – коефіцієнт варіації інтервалу руху;

ρ – показник завантаження ділянки маршруту, який знаходиться таким способом

$$\rho = \frac{Q_{max}}{60C_{кр}}, \quad (1.5)$$

де Q_{max} – годинний пасажиропотік на максимально завантаженій ділянці;

$C_{кр}$ – гранична місткість ТЗ.

Залежність (1.4) повною мірою не враховує впливу на ЧОП випадкових факторів, що виникають при русі ТЗ, а взаємодія ТЗ між собою, як показано в [1, 5] може істотно змінити його значення. У роботах [11, 19] був запропонований розвиток залежності (1.4) за рахунок введення коефіцієнтів виконання рейсів, регулярності руху і

диспетчерування. Однак, одержання даних коефіцієнтів можливе лише після виконання ТЗ всіх рейсів, у результаті чого, визначення середнього ЧОП для прогнозування не представляється можливим.

Крім того, що взаємодія ТЗ істотно впливає на ЧОП, самі пасажери, як показано в роботі [13], прагнуть змінити його. В даній роботі було виявлено, що функція розподілу ЧОП має мінімум і показано, що виходячи зі змінюваності часу відправлення, можна теоретично його обчислити. Крім того, виявилось, що дійсний середній ЧОП був більший, ніж його мінімум і менший очікуваного значення, що знаходиться за залежністю (1.1). Це відбувається внаслідок того, що не всі пасажери однаково чиним прибувають на зупинку [13].

По характеру підходу до ЗП пасажирів можна поділити на три категорії: пасажери, що прибувають одночасно з ТЗ; пасажери, які, користуючись розкладом руху прибувають в такий момент часу, що їх час очікування має мінімальне значення; пасажери, що прибувають у випадковому порядку.

Перша категорія пасажирів за оцінкою автора [13] складає приблизно 16 %. Для двох інших середній ЧОП може бути виражений у такий спосіб:

$$\bar{T}_{очд} = P\bar{T}_{оч_{min}} + (1-P)T_{оч}, \quad (1.6)$$

де P – змінна, обумовлена залежністю

$$P = 1 - e^{-d\eta}, \quad (1.7)$$

де $\eta = T_{оч} - T_{оч_{min}}$;

d – константа (0,131 – для пікового періоду; 0,015 – для міжпіку).

Залежність (1.5), на думку автора [13], можна використовувати на маршрутах, на яких ТЗ не перевантажені (відсутні відмови пасажирам у посадці).

У роботах зарубіжних вчених [60-62] вперше у 1957 році була запропонована модель для розрахунку ЧОП міського транспорту, яка враховує відхилення інтервалів руху ТЗ на маршрутах від середнього. Отримана залежність є аналогічною, що отримана радянським вченим ще у 1932 році [59]

$$W = \frac{\mu \cdot \left(1 + \frac{s^2}{\mu^2}\right)}{2}, \quad (1.8)$$

де W – середній час очікування пасажирів МПТ;

μ – середній інтервал руху ТЗ на маршруті;

s – відхилення інтервалу руху ТЗ на маршруті від середнього значення.

Поряд із (1.8) розроблено залежності які ґрунтуються на проведених спостереженнях за поведінкою пасажирів та дослідженнях фактичного ЧОП. В англійському місті Лідс автором [63] на основі емпіричних даних ЧОП побудовано регресійну модель розрахунку ЧОП:

$$W = 1,79 + 0,14 \cdot \mu. \quad (1.9)$$

Аналогічну залежність розроблено в роботі [64] для міста Манчестер:

$$W = 2,34 + 0,26 \cdot \mu. \quad (1.10)$$

Автор роботи [75] на основі великої вибірки значень ЧОП представив наступну залежність:

$$W = 2 + 0,3 \cdot \mu. \quad (1.11)$$

За допомогою отриманих залежностей авторами робіт [63-65] можливо прогнозувати ЧОП, але вони не є універсальними і результати можуть бути застосовані лише для конкретного міста.

У роботі [66] автор поділяє пасажирів на дві групи: пасажирів, які у випадковому порядку підходять до ЗП; пасажирів, які користуються розкладом руху і в такому випадку усвідомлено підходять до ЗП заздалегідь плануючи час очікування. В результаті виявлено, що при інтервалі руху ТЗ $I \leq 10$ хв, всіх пасажирів можна віднести до першої категорії, тобто їх час прибуття є випадковою величиною. При збільшенні планового інтервалу руху ТЗ пасажирів починають координувати час прибуття на ЗП з метою мінімізації ЧОП.

Спосіб розрахунку ЧОП, що запропонував автор роботи [67], полягає у перетворенні функції привабливості, яка тісно пов'язана із величиною очікування, в аналітичну залежність

$$E[W(t)] = [1 - P(t)] \cdot W(t) + P(t) \cdot W'(t), \quad (1.12)$$

де $E[W(t)]$ – прогнозне значення ЧОП ТЗ на ЗП;

$P(t)$ – ймовірність, що ТЗ прибуде на ЗП до моменту підходу пасажирів;

$W(t)$ – ЧОП у випадку, коли ТЗ прибуде після підходу пасажирів на ЗП;

$W'(t)$ – ЧОП у випадку, коли ТЗ прибуде до моменту підходу пасажирів.

$P(t)$ розраховується виходячи із інтегральної функції розподілу величини відхилення фактичного часу прибуття ТЗ на ЗП по відношенню до планового. Але автор не приводить методику визначення ЧОП при їх випадковому підході до ЗП та з відомим розкладом руху, що є ключовим у залежності (1.12).

Німецький вчений Зігфрід Рюгер, створив аналітичну залежність ЧОП, яка враховує нерівномірність інтервалів руху ТЗ, що виникає на спільних ділянках різних маршрутів [68]. В такому випадку середній час очікування пасажирів на ЗП одного маршруту розраховується як

$$\bar{W} = \frac{z_1^2 + z_2^2 + \dots + z_i^2 + \dots + z_n^2}{2T}, \quad (1.13)$$

де z – i -й інтервал руху ТЗ в межах часу оберту на маршруті;

n – кількість ТЗ на маршруті;

T – час оберту на маршруті.

При умові, що на маршруті працює лише один ТЗ ($n=1$), тоді $z_1 = T$ і в результаті залежність (1.13) спрощується і приймає вид

$$\bar{W} = \frac{z_1}{2}. \quad (1.14)$$

В залежності не враховується відхилення від запланованих інтервалів руху ТЗ на міських маршрутах. Автор лише наводить приблизні величини відхилення інтервалів прибуття ТЗ на ЗП, які ґрунтуються на власному досвіді і змінюються від 1 хв до 5 хв.

Одним із можливих способів визначення ЧОП ТЗ на ЗП є проведення імітаційного експерименту як єдиного практично доступного

методу об'єктивної оцінки випадкових значень ЧОП на ЗП ГТ [69, 70]. В роботі [69] вважалося, що ТЗ рухаються за заданим розкладом з рівним інтервалом. Відхилення від планового часу прибуття моделювалося за допомогою нормального закону розподілу із математичним сподіванням рівним нулю та середньоквадратичним відхиленням, що дорівнює одній третині планового інтервалу руху. В результаті визначено, що випадкову величину ЧОП можливо описати гамма-законом розподілу з постійним параметром форми та параметром масштабу, що лінійно залежить від інтервалу руху ТЗ на маршруті.

В роботі [70] на основі натурних спостережень за роботою міських маршрутів м. Харкова було визначено, що інтервал руху на них є гамма розподіленою випадковою величиною з параметром масштабу, що залежить від середнього інтервалу руху ТЗ. ЧОП за результатами цієї імітації також описується законом гамма розподілу із аналогічними параметрами, але, на відміну від попереднього експерименту, з дещо більшим математичним сподіванням. Обидві роботи [69, 70] мають практичну цінність для дослідження ЧОП на ЗП ТЗ як випадкової величини, але не мають достатнього теоретичного обґрунтування.

Іншим способом визначення ЧОП ТЗ є моделювання функціонування маршруту МПТ. Ряд моделей [11, 13, 15, 18] були розроблені для визначення ЧОП. Істотна частина існуючих моделей ЧОП була розроблена для вирішення інших задач, що стоять перед пасажирським транспортом. Закономірності використані у них, можна використовувати при визначенні ЧОП, унаслідок чого виникає необхідність аналізу моделей функціонування маршруту МПТ.

При створенні моделей, що враховують випадкові процеси, які відбуваються при роботі ТЗ на маршруті, дослідники використовували різний апарат моделювання: аналітичне моделювання [8, 14], систему масового обслуговування [18], імітаційне моделювання [10, 14]. При виборі апарата моделювання дослідники намагалися визначити той, що дозволяє одержати достовірні результати рішення конкретної задачі.

Так, автори роботи [18] вважають, що для рішення задач планування доцільно використовувати систему масового обслуговування, а для задач оперативного управління найбільш придатними є імітаційні моделі. Використання системи масового обслуговування на думку

авторів [14] не завжди приносить успіх. Дослідники в [1, 10] відзначають, що в зв'язку з тим, що маршрут має деякі істотні, але погано формалізовані особливості, доцільно використовувати імітаційне моделювання. Комплексне використання математичного й імітаційного моделювання пропонується в роботі [10].

Незалежно від обраного апарату моделювання, у всіх моделях були зроблені спроби опису процесів, що відбуваються при русі ТЗ по маршрутах. Відмітною рисою кожної моделі є використання різних законів розподілу для опису елементів транспортного процесу перевезення пасажирів в ТЗ.

Можна виділити три елементи даного процесу, формалізація яких дозволяє описати рух ТЗ по маршруту: підхід пасажирів до ЗП; простій ТЗ на зупинці; рух ТЗ на ділянках маршруту. Якщо підхід пасажирів на думку всіх дослідників [5, 10, 18-20] можливо описати законом Пуассона з урахуванням інтенсивності підходу пасажирів, то при описі інших елементів транспортного процесу використовувалися різні, часто суперечні один одному, закони розподілу і припущення.

Так, при описі простоїв ТЗ на ЗП у роботах [7, 10] передбачалося, що посадка і висадка пасажирів відбувається миттєво. Однак, за даними роботи [9] цей час займає до 15 % від часу рейсу. У роботі [5] використовувалася регресійна залежність часу простою від кількості пасажирів, що ввійшли. Причому відзначається, що коливання часу простою не залежить від кількості пасажирів. У моделі, описаній в роботі [14], час простою ТЗ визначається в залежності від кількості пасажирів, що ввійшли і вийшли, а в роботах [13, 22] у залежності від цієї ж кількості за показниковим законом розподілу.

Аналогічний закон використовувався й у роботі [18]. Додатковим обмеженням тут виступає припущення, що параметр закону розподілу залежить тільки від номера зупинки. Однак, у роботі [11] відзначається, що на час простою ТЗ на зупинках впливає і характер прибуття на них ТЗ.

Нормальний закон розподілу часу посадки і висадки використовувався в роботах [17, 14]. У роботах [14, 23] дане значення часу пропонувалося визначати пропорційно пасажирообміну на зупинці і часу входу і виходу одного пасажирів. Аналогічний підхід був застосований і в роботі [11]. Додатково тут пропонується враховувати і кількість дверей у ТЗ. Чисельні значення часу обслуговування одного

пасажира попадають у діапазон від 2 с до 5 с [5, 14, 15], причому в [10] відзначається, що коливання часу обслуговування, яке приходить на одного пасажера, несуттєве.

Крім того, ряд досліджень були спрямовані на визначення закономірностей простою ТЗ на ЗП. До висновку, що величина цього часу залежить від пасажирообміну ЗП, конструктивних особливостей ТЗ, наповнення ТЗ і часу відкривання і закриття дверей, прийшли дослідники в [15]. У роботі [14] авторами була запропонована залежність, у якій час простою на ЗП визначався пропорційно середній відстані між зупинками, номінальній місткості ТЗ, середньому коефіцієнту використання місткості ТЗ, середньому питомому часу на вхід-вихід одного пасажера і обернено пропорційно середній дальності поїздки пасажирів. В її основі лежить припущення про повну зміну пасажирів при проходженні ТЗ ділянки маршруту, рівної за довжиною їхній середній дальності поїздки.

За даними [15] середній час входу одного пасажера не залежить від площі накопичувальних майданчиків і висоти підлоги ТЗ. Висновок про те, що витрати часу на вхід і вихід пасажирів залежать від наповнення рухомого складу, був зроблений у [18, 19]. При окремому дослідженні входу і виходу пасажирів була виявлена лінійна залежність між часом виходу і кількістю пасажирів, що вийшли, з урахуванням обернено пропорційного впливу кількості дверей в автобусі [20]. Залежність зміни часу входу пасажирів від кількості пасажирів, що ввійшли, має нелінійний характер унаслідок зміни наповнення ТЗ.

Таким чином, можна зробити висновок, що розроблені раніше моделі руху ТЗ по маршрутах мали різний підхід до визначення часу їхнього простою на ЗП. Однак, у жодній з цих моделей при визначенні значення даного елемента транспортного процесу не враховувався такий показник, як наповнення ТЗ.

Для опису руху ТЗ на ділянках маршруту дослідники також використовували різні способи. Так, в імітаційній моделі, описаній в [14], висувається припущення, що автобуси рівномірно рухаються на маршруті із середньою швидкістю і слідує виключно за графіком, а в [5, 10] враховується довжина ділянки і середня швидкість ТЗ на маршруті. У роботі [8] для визначення моментів прибуття ТЗ на ЗП пропонується визначення законів розподілу інтервалів руху між зупинками. Для цього пропонується використовувати показниковий за-

кон розподілу з параметром, рівним інтенсивності надходження ТЗ на зупинку [7], чи нормальний закон з математичним сподіванням, рівним інтервалу руху на маршруті [5]. Аналогічним законом розподілу пропонується описувати відхилення руху ТЗ від розкладу в [10, 11] і час руху ТЗ між зупинками в [22]. Крім того, для визначення величини цього часу пропонується використовувати логнормальний [7] і гамма-розподіл [1, 10, 11], а в [5, 14, 17] він задається як вихідні дані масивом.

Вплив траси ділянки і кількості пасажирів, що знаходяться в ТЗ, враховувався при визначенні швидкості руху в моделях [11, 10]. Крім цих факторів, як відзначається в [7], на час руху впливає неоднорідність транспортного потоку і динамічні характеристики ТЗ, а середньоквадратичне відхилення від середнього часу руху залежить від його величини і величини ділянки. До аналогічного висновку прийшов автор роботи [13]. Ряд робіт були присвячені дослідженню швидкості руху ТЗ. Було виявлено, що вона залежить від довжини ділянки [10, 15, 18], інтенсивності руху, динамічних якостей ТЗ [10, 15, 18], дорожніх умов [15, 18].

Таким чином, можна зробити висновок, що в моделях руху ТЗ на маршруті при визначенні часу руху між ЗП використовувалися різні закони розподілу і враховувалися різні фактори. У зв'язку з цим виникає необхідність проведення подальших досліджень для моделювання цієї величини.

Крім розходження в описі процесу руху ТЗ та їхнього простою на ЗП, у моделях використовувалися різні припущення. Так, у моделі, описаній в [7], маршрут представляється у вигляді однієї зупинки, а в [21] передбачається, що на маршруті працює одна марка ТЗ. У роботі [15] вважалося, що час посадки в кожен ТЗ і час руху не залежить від його порядкового номера, тобто автори не враховували впливи ТЗ один на одного. Незалежне обслуговування ТЗ на зупинках розглядається й у [7]. Однак, дослідники в [1, 11, 13] відзначали, що даний вплив значний і він може істотно змінити характер руху ТЗ.

У ряді робіт [7, 10, 11] у розрахунках не враховується відмова пасажирів у посадці. При моделюванні посадки пасажирів в автобуси, у моделі [14] пасажирів, яким було відмовлено в посадці, залишали систему й у подальших розрахунках не приймали участі. Точно такі ж результати дають припущення про те, що кількість пасажирів,

відправлених із ЗП в одному ТЗ, повинна бути не менша, ніж кількість пасажирів, що підійшли до неї за інтервал [18] і ТЗ може вмістити всіх цих пасажирів [7]. Великою кількістю пасажирів на ЗП нехтують у [10]. Дані припущення можуть вплинути на результати розрахунків, тому що пасажирів, що залишилися ЗП, можуть істотно змінити час простою ТЗ і цим істотно змінити характер руху на маршруті [1, 11].

У роботі [15] при дослідженні закономірностей руху ТЗ на маршруті було виявлено, що коливання їхніх фактичних швидкостей руху на ділянці маршруту можливо описати нормальним законом розподілу. При аналізі середніх значень технічної швидкості руху ТЗ і їх середньоквадратичних відхилень був зроблений висновок про залежність даних показників від параметрів траси маршруту і ТЗ. Це дозволило одержати регресійні моделі зміни середньої швидкості руху ТЗ і середньоквадратичного відхилення від середньої швидкості.

В роботах [1, 5, 12, 13, 18] враховувалася можливість виникнення так званого явища «здвоювання». Тому при визначенні ЧОП необхідно враховувати взаємодію ТЗ на маршруті. Однак, повнота врахування факторів впливає на точність отриманих результатів. При рішенні задач організації перевезень пасажирів у містах, з використанням ЧОП у якості одного з критеріїв оптимізації, у кожному конкретному випадку потребується визначена точність отриманих результатів. Використання залежностей (1.1), (1.2), (1.4) чи моделей, описаних у роботах [11, 13], для визначення ЧОП в ряді випадків дозволяє одержати необхідну точність отриманих результатів. Для одержання більш достовірних значень ЧОП виникає необхідність розробки моделей, що більш повно враховують описані вище фактори. Модель, що дозволяє враховувати явище «здвоювання» ТЗ, дозволить одержати найбільш точне значення ЧОП ТЗ на ЗП.

Таким чином, залежність між ЧОП і параметрами функціонування маршруту є складною і багатофакторною, у результаті чого дана задача не може бути в принципі вирішена ізольовано від ряду інших задач. Усю множину факторів, що впливають на регулярність руху ТЗ, можна розбити на наступні групи: параметри пасажиропотоків на маршруті; параметри траси маршруту; параметри руху ТЗ на маршруті.

Аналіз існуючих методів розрахунку та зниження витрат часу пасажирів на пересування міським пасажирським транспортом пока-

зав, що час очікування пасажирів можна описати як результат взаємного впливу закономірностей прибуття пасажирів до зупиночного пункту та коливань інтервалу руху транспортних засобів, з урахуванням місткості транспортних засобів при високому ступеню завантаженості міських маршрутів. Серед розглянутих методів зниження тривалості очікування пасажирів транспортних засобів міського пасажирського транспорту важливим виявилось інформування пасажирів про розклад руху транспорту. В такому випадку час очікування буде залежати виключно від кожного користувача міського пасажирського транспорту та його індивідуального ставлення до поїздки в цілому, що дозволяє мінімізувати як самі витрати часу, так і негативне сприйняття цих витрат пасажиром.

Перехід на нові умови функціонування маршрутного транспорту українських міст викликав появу нових форм обслуговування пасажирів, що обумовлює необхідність розробки аналітичних залежностей для прогнозування часу очікування пасажирів транспортних засобів на зупиночних пунктах в маршрутній мережі міста, які враховують існуючі технології організації роботи транспортних засобів.

1.3 Існуючі підходи до організації обслуговування пасажирів громадським транспортом

Міський пасажирський транспорт займає особливе місце у розвитку та функціонуванні міста, що пояснюється постійним його використанням населенням міста. Проблема організації ефективного управління системою громадського пасажирського транспорту залишається однією з найскладніших. Як зазначають дослідники, МПТ є соціально значущою економічною підсистемою міського господарства, що визначає як рівень якості життя городян, так і рівень якості роботи місцевої влади.

Ефективність перевезень МПТ повинне відображати як соціальні, так і економічні аспекти. У реаліях розвитку і підвищення культури суспільства ці два напрями взаємообумовлені. Результати діяльності пасажирського транспорту мають одночасно економічне і соціальне значення. Підвищення соціальної ефективності транспортного обслуговування виражається в прискоренні процесу доставки пасажирів і, як наслідок, збільшення резервів особистого часу, обумовлює і підвищення економічної ефективності через можливість про-

дуктивного використання резервів.

Головними задачами транспортного планування міських пасажирських перевезень є визначення ефективності функціонування існуючого стану маршрутної системи міста та якості обслуговування пасажирів, розробка заходів щодо підвищення ефективності її функціонування і оцінка наслідків реалізації запропонованих рішень.

В першу чергу, пересування пасажирів пов'язане із економією часу і сил під час поїздок. Загальний час пересування складається з декількох складових, найбільш важливою з яких, з точки зору оцінки її важливості пасажирами та можливостей для її скорочення, є час очікування ТЗ на ЗП. ЧОП також має найбільш складний і ймовірнісний характер, а його прогнозування ускладнене наявністю деякої кількості маршрутів, що задовольняють пасажира у виборі варіанта пересування.

Значне підвищення якості обслуговування пасажирів при невисоких витратах на реалізацію можливе саме за рахунок мінімізації ЧОП під час трудових поїздок, які складають основну частку міських пересувань і в найбільшій мірі навантажують ММ міста в години «пік». Вибір трудових поїздок як об'єкту дослідження обумовлений регулярним характером цих пересувань та високим рівнем обізнаності пасажирів про параметри функціонування маршрутів МПТ на шляху від дому до місця роботи.

При цьому серед всіх пасажирів, що користуються МПТ при виконанні трудових пересувань, виділяються дві протилежні групи.

До першої групи слід віднести пасажирів, що не знають точного часу прибуття ТЗ і підходять до ЗП у випадковому порядку, обумовленому особистими обставинами. У такому випадку час очікування є повністю випадковою величиною.

До другої – пасажирів, що повністю усвідомлюють графік руху ТЗ і заздалегідь координують час підходу до ЗП з метою мінімізації часу очікування. У цьому випадку тривалість очікування ТЗ визначається особисто кожним пасажиром на основі власного досвіду та оцінки надійності міських маршрутів.

Перший випадок при виконанні трудових пересувань зазвичай виникає коли маршрути МПТ функціонують ненадійно та не забезпечують дотримання розкладу руху або коли час початку роботи пасажира МПТ не є постійним. При постійному розкладі руху та часу початку роботи, будь-який пасажир має час для вивчення розкладу

навіть при відсутності інформації щодо нього на ЗП в інших джерелах інформації. Тому при повній відсутності інформації щодо розкладу руху хоча би частина пасажирів буде мати інформацію щодо нього з власного досвіду користування маршрутом. Необхідно лише, щоб маршрут працював за постійним розкладом руху.

З іншого боку змінний час початку роботи призводить до того, що не всі пасажирів мають можливість або бажання знайомитись з великим обсягом інформації відносно розкладу руху маршрутів, якими вони користуються при трудових пересуваннях. Тому доцільно вважати наведені вище групи пасажирів двома крайніми випадками, між якими розподіляються всі пасажирів при виконанні трудових пересувань та виходити з цього при визначенні величини результатів реалізації різних технологій роботи МПТ.

Перебудова взаємовідносин між замовниками маршрутних перевезень та виконавцями – перевізниками, привела до значних змін в організації роботи міських маршрутів та появі нових варіантів взаємодії між ТЗ на міських маршрутах. Ідеальним варіантом обслуговування пасажирів МПТ є технологія роботи транспорту із жорстким графіком руху без відхилень від планового часу прибуття ТЗ на ЗП.

Нажаль, на цей час значна кількість міських маршрутів не має можливості забезпечити такий рівень роботи. Внаслідок відсутності жорсткого контролю за виконанням розкладу руху з боку замовника перевезень. Більш реальним виглядає інший варіант організації руху ТЗ, коли час відправлення з кінцевого ЗП кожного ТЗ визначається водіями самостійно, на основі часу прибуття-відправлення суміжних ТЗ. При такій організації роботи МПТ відсутній чіткий графік роботи ТЗ, а на ЗП вказується лише інтервал руху, час початку та кінець роботи маршруту, що дозволяється при роботі автобусних маршрутів у режимі маршрутного таксі.

Звісно, при такій організації роботи ГТ, пасажирів не володіють інформацією про точний час прибуття ТЗ на ЗП, а їх час очікування є випадковою величиною із максимальним значенням, яке співпадає з максимальним інтервалом руху на маршруті, який також є випадковою величиною.

З іншого боку при постійному розкладі руху існує можливість підвищення рівня інформаційного забезпечення пасажирів про час відправлення ТЗ від ЗП та надання пасажирам можливості обирати час виходу з дому для мінімізації часу очікування маршрутного ТЗ на

зупинці.

В цих межах міститься достатньо велика кількість варіантів організації руху ТЗ на маршрутах та інформаційного забезпечення пасажирів про роботу маршрутів, кожний з яких обумовлює виникнення власних закономірностей ЧОП.

Актуальною задачею є дослідження часу очікування пасажирів маршрутного транспорту в містах та визначенню його закономірностей як випадкової величини при різних варіантах організації роботи транспортних засобів на міських маршрутах вуличних видів транспорту.

Для цього необхідно визначити та формалізувати всі наявні на цей час варіанти організації роботи ТЗ на маршрутах з метою отримання закономірностей зміни інтервалу руху на них. На цій основі необхідно отримати аналітичні залежності для розрахунку основних моментів ЧОП, експериментально перевірити ці моделі та розрахувати можливі зміни у ЧОП при переході МПТ до роботи за постійним розкладом руху з високим рівнем інформаційного забезпечення пасажирів.

Всі аналітичні залежності для розрахунку ЧОП при невідомому пасажирі розкладі руху ТЗ на маршруті повинні базуватися на припущенні про відповідність потоку пасажирів, що підходять до ЗП, стаціонарному потоку. Це пояснюється, по-перше, відповідністю умов виникнення стаціонарного, Пуассонівського потоку, що створюється в результаті взаємодії багатьох рідкісних подій, а по-друге, – великою кількістю робіт, у яких досліджувались властивості потоку пасажирів [71] та підтверджена його відповідність потоку Пуассона. Тому в даній роботі це припущення приймається без додаткової перевірки.

Висновки

1. Час очікування пасажирами ТЗ на ЗП є одним з основних складових загальних витрат часу пасажирів на пересування, який з одного боку, є найбільш значущим елементом часових витрат, а з іншого боку має найбільші потенційні можливості до мінімізації в існуючих мережах маршрутного транспорту міст України.

2. При сформованій маршрутній системі МПТ зниження часу очікування можливо за рахунок удосконалення методів організації

руху, ефективності використання ТЗ, підвищення якості управління рухом. Основним інструментом забезпечення прийняттого для пасажирів часу очікування на ЗП міських маршрутів є їхнє забезпечення інформацією щодо часу відправлення ТЗ від зупинки.

3. На цей час розроблено достатньо багато інформаційних систем щодо надання пасажиром даних відносно поточного стану та запланованого розкладу руху на міських маршрутах для того, щоб забезпечити високій рівень інформованості пасажирів відносно часових параметрів роботи МПТ, але обов'язковою умовою використання більшості з них є забезпечення роботи ТЗ за заздалегідь сформованим розкладом руху.

4. Розроблені на цей час аналітичні моделі визначення ЧОП ТЗ міських маршрутів на ЗП стосуються, в основному, варіантів наявності на маршруті розкладу руху, який виконується в тому чи іншому ступені, та не охоплюють увесь спектр можливих технологій організації роботи рухомого складу на маршрутах наземних видів МПТ, а особливо тих, що сформовані приватними перевізниками у рамках перевезення міських маршрутних перевезень пасажирів на ринкові відносини.

5. Надійною основою для формування аналітичних моделей ЧОП більшість авторів попередніх досліджень вважається припущення про відповідність потоку пасажирів умовам найпростішого потоку Пуассона, але сформовані таким чином залежності потребують експериментальної перевірки з урахуванням фактичних закономірностей поведінки пасажирів при трудових пересуваннях.

6. Всі існуючі аналітичні моделі ЧОП стосуються процесу очікування одним пасажиром ТЗ одного маршруту на окремому ЗП та не розглядають процес обслуговування пасажирів у багатомаршрутній мережі, де пасажир має декілька альтернатив для реалізації потреби у пересуванні. Це потребує розробки моделі розрахунку ЧОП в ММ для оцінки соціального та економічного ефекту від використання передових технологій обслуговування пасажирів.

2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ МОДЕЛЮВАННЯ ЧАСУ ОЧІКУВАННЯ ПАСАЖИРАМИ ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ

В даній монографії проводиться розроблення аналітичних залежностей, які описують зміни ЧОП МПТ згідно з технологіями організації роботи транспортних засобів.

Вирішення поставленої задачі в монографії виконується в наступній послідовності:

- формалізація всіх існуючих на цей час технологій організації роботи ТЗ на маршрутах;

- розроблення теоретичних залежностей визначення ЧОП ТЗ на ЗП МПТ на окремому маршруті та маршрутній мережі (ММ) міста в цілому;

- розроблення методики, проведення обстеження та розрахунок середнього значення ЧОП на ЗП міських маршрутів при відомому пасажиром розкладі руху ТЗ;

- розроблення імітаційної моделі та проведення експериментальних досліджень із визначення ЧОП транспорту на міських зупинках для різних технологій організації роботи ТЗ на маршруті;

- розрахунок можливих змін у ЧОП при переході МПТ до роботи за постійним розкладом руху з високим рівнем інформаційного забезпечення пасажирів.

Об'єкт дослідження – взаємодія пасажирів та маршрутних транспортних засобів на зупиночних пунктах міста.

Предмет дослідження – вплив параметрів руху транспортних засобів на тривалість часу очікування їх прибуття на ЗП.

Всі аналітичні залежності для розрахунку ЧОП при невідомому пасажиром розкладі руху ТЗ на маршруті повинні базуватися на припущенні про відповідність потоку пасажирів, що підходять до ЗП, стаціонарному потоку. Це пояснюється, по-перше, відповідністю умов виникнення стаціонарного, Пуассонівського потоку, що створюється в результаті взаємодії багатьох рідкісних подій, а по-друге, – великою кількістю робіт, у яких досліджувались властивості потоку пасажирів та підтверджена його відповідність потоку Пуассона. Тому в даній роботі це припущення приймається без додаткової перевірки.

Структурно-логічна схема етапів та послідовності виконання задач які вирішуються в монографії представлено на рисунку 2.1.

2.1 Вибір та обґрунтування варіантів обслуговування пасажирів міським пасажирським транспортом

В теперішній час в Україні в сфері МПТ сформувалася досить велика кількість варіантів організації роботи ТЗ на маршрутах. Це обумовлено неповним виконанням органами місцевого самоврядування функцій замовника перевезень пасажирів міськими маршрутами. У багатьох містах відсутній контроль за дотриманням розкладу руху, наведеним у паспортах маршрутів, іноді навіть відсутній контроль за кількістю ТЗ, що фактично на них працюють.

Така ситуація призводить до занадто великої свободи транспортних підприємств у виборі форми організації руху ТЗ на маршрутах. З урахуванням того, що на цей ринок в тому числі вийшло багато підприємців, що не є спеціалістами в сфері транспорту, в українських містах виникло багато різних регульованих чи нерегульованих варіантів взаємодій між водіями на маршрутах.

З іншого боку, в сучасних умовах, що склалися на ринку транспортних послуг України, обслуговування пасажирів міськими маршрутами за рівнем їх інформаційного забезпечення може бути обмежене двома крайніми випадками:

- пасажирів ознайомлені з режимом та графіком руху ТЗ на маршруті;
- пасажирів не володіють інформацією про режим та графік руху ТЗ на маршруті.

В першому випадку вважається, що всі пасажирів мають повне уявлення про параметри роботи міських маршрутів. Тоді час очікування визначається виключно пасажиром та його відношенням до поїздки в цілому при умові чіткого виконання водіями розкладу руху на маршрутах.

В другому випадку жодному пасажирів взагалі не відомий розклад руху ТЗ на маршруті. В такому разі час очікування є випадковою величиною. При цьому для пошуку його значень єдиним можливим способом пошуку є аналітичне моделювання та проведення імітаційних експериментів на основі побудованих імітаційних моделей.

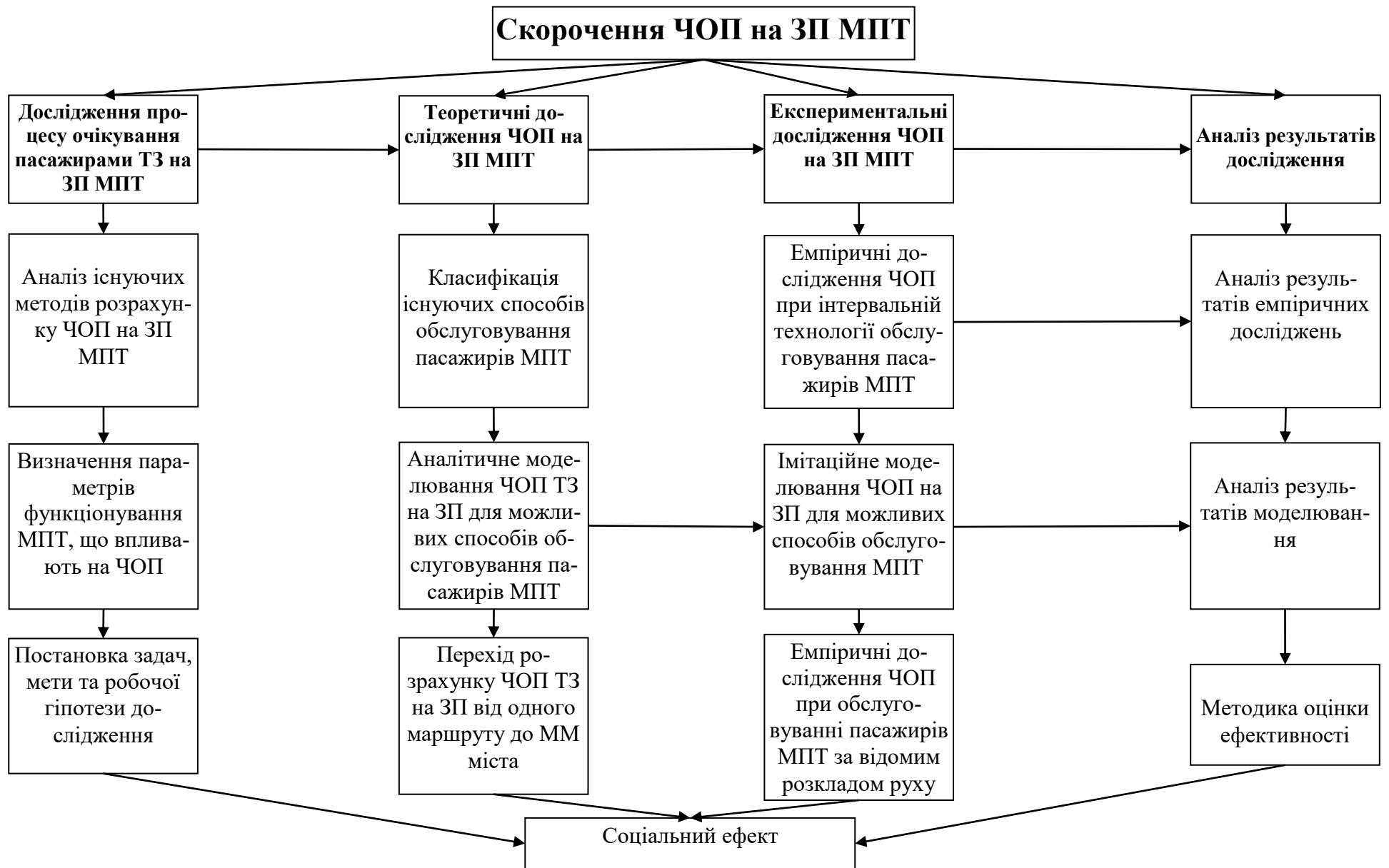


Рис. 2.1. Структурно-логічна схема дослідження скорочення ЧОП ТЗ на ЗП

В реальності наведені вище випадки є виключенням, а не правилом. Маршрутні системи сучасних міст зазвичай досягають деякого проміжного рівня інформаційного забезпечення пасажирів про можливу транспортну пропозицію. Якість обслуговування пасажирів в цьому сенсі визначається ступенем наближення рівня обізнаності пасажирів до повного знання розкладу руху. При низькому рівні інформаційного забезпечення пасажирів час очікування ТЗ на ЗП цілком може вважатися випадковою величиною, яка визначається способом організації роботи ТЗ на маршрутах.

Рівень інформаційного забезпечення мешканців українських міст далекий від ідеалу, а час очікування транспорту може змінюватися в широких межах в залежності від способу організації роботи рухомого складу. Тому виникає необхідність аналітичного моделювання середнього часу очікування маршрутного транспорту для можливих способів обслуговування пасажирів та форм організації роботи рухомого складу на маршрутах, що будуть описувати весь інтервал варіювання величини очікування пасажирів.

Робота рухомого складу на маршрутах може бути організована за заздалегідь сформованим розкладом руху або без нього. У першому випадку інтервал руху ТЗ на маршруті протягом ранкового періоду «пік» може бути або постійним, або змінним. Змінюватися розклад може, взагалі кажучи, довільно, але в практиці складання розкладів зазвичай використовується декілька, найчастіше два, дискретних значення інтервалу, які в результаті повторів сумарно складають час оборотного рейсу на маршруті.

Такий розклад, звичайно призводить до зростання ЧОП на маршруті по зрівнянню з постійним розкладом руху та, з цієї точки зору, є окремим способом організації роботи на маршруті.

Але й при постійному інтервалі в розкладі руху ТЗ на маршруті в реальному транспортному процесі можливі відхилення фактичного часу відправлення ТЗ від ЗП, викликані умовами їх руху на транспортній мережі міста. Ці умови роботи маршруту також можуть вважатися окремим варіантом обслуговування пасажирів, який призводить до зростання ЧОП по зрівнянню з «ідеальним» варіантом постійного інтервалу без відхилень. Але зростання ЧОП у цьому випадку потенційно є меншим ніж у випадку різного інтервалу у розкладі руху.

При відсутності жорсткого графіку руху процес відправлення ТЗ від кінцевого ЗП залежить від інтенсивності наповнення салону

ТЗ пасажирами та обмежується часом простою, який, в свою чергу, визначається водієм маршрутного ТЗ. Персональні рішення водія відносно часу відправлення ТЗ з початкового пункту маршруту можливі лише у випадку, коли на маршруті працює один водій.

Це, по-перше, властиве маршрутам з невеликими обсягами перевезень пасажирів, по-друге, не є дуже розповсюдженою ситуацією. Тому більшість варіантів регулювання часу відправлення ТЗ з початкового пункту маршруту відносяться до колективних рішень, які у вітчизняних умовах формуються на конкурентній основі, так як кожний водій бажає якомога більше затримати власне відправлення для збільшення обсягу перевезень на маршруті.

Тут можливими є варіанти відправлення ТЗ з початкового пункту маршруту, коли салон автобусу наповнений до якогось максимального, колективно визначеного рівня (наприклад після заняття всіх місць для сидіння в салоні ТЗ).

Але в окремих випадках, при невеликій кількості пасажирів, що користуються початковим ЗП маршруту, або суттєвій нерівномірності підходу пасажирів до нього у часі це колективне рішення може бути скореговане шляхом введення додаткової умови – на максимальний час відстою на початковому ЗП маршруту. З точки зору ЧОП друга технологія диспетчерування роботи ТЗ на маршруті є окремим варіантом організації роботи маршруту та потенційно є більш ефективною, тобто має забезпечити менший ЧОП за рахунок зниження нерівномірності випадкового інтервалу руху по зрівнянню з попереднім варіантом заповнення салону без обмеження на час простою ТЗ на початковому ЗП.

Можуть існувати також й інші, менш розповсюджені варіанти взаємодії між водіями на маршрутах, але їх практично дуже складно виділити та формалізувати, тому в даній роботі замість них, як крайній випадок, досліджується робота ТЗ на маршруті з мінімальним рівнем організації на ньому.

Для такої організації роботи маршруту властивий повністю випадковий характер відправлення ТЗ із початкового ЗП, припускається навіть «спарювання» ТЗ на маршруті, коли різниця між часом прибуття двох суміжних ТЗ на ЗП є меншою ніж час простою ТЗ на ЗП для висадки та посадки пасажирів. Безумовно, що практичні приклади використання такої технології роботи маршруту навряд чи знайдуться, але вона має безсуперечний теоретичний сенс, так як дає

вказівки на максимальний ЧОП в залежності від ступеню нерівномірності інтервалів руху ТЗ на маршруті.

Враховуючи вищевикладене, існує можливість складання класифікації способів обслуговування пасажирів МПТ за двома основними ознаками:

- по-перше – це рівень інформаційного забезпечення пасажирів про розклад руху маршрутного транспорту;
- по-друге – спосіб організації роботи ТЗ на маршруті.

Розроблену класифікацію способів обслуговування пасажирів міським маршрутним транспортом та варіантів організації роботи ТЗ на міських маршрутах, детально представлено на рисунку 2.2.

Мінімальне значення величини ЧОП буде забезпечувати технологія, коли ТЗ прибувають через рівні інтервали часу. Рівномірний за розкладом руху, але з відхиленнями фактичного часу прибуття ТЗ на ЗП є другим способом організації роботи маршруту та призводить до зростання ЧОП.

Третім способом є змінний інтервал руху за заздалегідь сформованим розкладом, четвертим є технологія відправлення ТЗ по рівню заповнення салону до заздалегідь визначеного рівня з обмеженням на час простою ТЗ на початковому ЗП маршруту, п'ятим – технологія відправлення ТЗ по рівню заповнення салону без обмеження на час простою.

Шостим та останнім варіантом організації роботи ТЗ на маршруті є їх власне випадкове відправлення з початкового ЗП. Для всіх цих варіантів необхідно сформулювати адекватні аналітичні моделі ЧОП з метою оцінки його величини на різних маршрутах та у місті в цілому.

Представлена класифікація способів обслуговування пасажирів міським пасажирським транспортом враховує рівень інформаційного забезпечення пасажирів про розклад руху та технології організації роботи транспорту на маршрутах. Щодо рівня інформування, то пасажирів поділяються на дві групи: пасажирів, які повністю володіють інформацією про час прибуття транспортних засобів (технологія обслуговування пасажирів за відомим розкладом руху) та пасажирів, які не знають розклад руху (інтервальна технологія обслуговування) і прибувають на зупинку випадково.

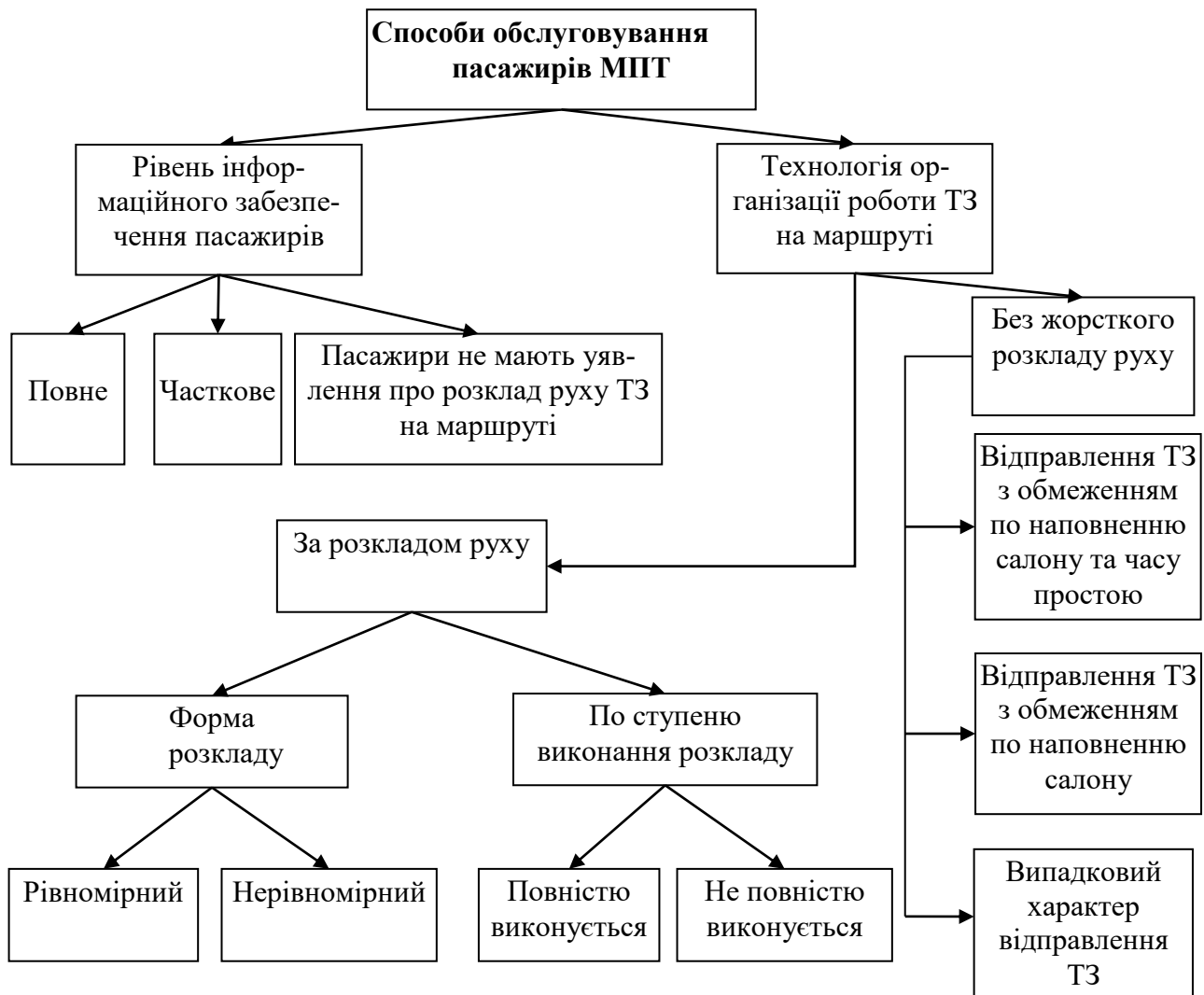


Рис. 2.2 Класифікація способів обслуговування пасажирів міським транспортом

Ці два випадки в реальності є виключенням, а маршрутні системи сучасних міст зазвичай досягають деякого проміжного рівня інформаційного забезпечення пасажирів про можливу транспортну пропозицію. Якість обслуговування пасажирів в цьому сенсі визначається ступенем наближення рівня обізнаності пасажирів до повного знання розкладу руху.

Рух транспортних засобів на маршрутах організовується за жорстким розкладом або без нього. При наявності розкладу руху, в реальних умовах функціонування маршрутного транспорту в транспортній системі міста, фактичний час прибуття транспортних засобів на зупиночний пункт має деякі відхилення від планового часу.

Малоймовірною є ситуація точного прибуття транспорту на зупинку, яка представляє теоретичний інтерес та забезпечує найліпші умови функціонування маршрутів з точки зору якості обслуговуван-

ня пасажирів. Реальні розклади руху маршрутного транспорту розробляються із врахуванням добових коливань пасажиропотоків, тому мають нерівномірність інтервалів, що також відображається на величині очікування транспорту пасажирями на зупиночних пунктах.

При відсутності жорсткого розкладу, рух транспорту на маршрутах організовується на основі колективних домовленостей водіїв і відправлення від кінцевих зупинок відбувається, наприклад, по заповненню усіх сидячих місць транспортного засобу або по прибуттю наступного транспортного засобу на кінцеву зупинку. Випадковий рух транспорту на маршрутах розглядається швидше як виняток, але і він має теоретичний інтерес, так як демонструє найбільший час очікування пасажирями маршрутного транспорту.

Розроблена класифікація дає повне уявлення про існуючі варіанти обслуговування пасажирів ГТ і технології роботи ТЗ на маршрутах та дозволяє перейти до наступного етапу – розроблення аналітичних залежностей, які описуватимуть увесь інтервал зміни ЧОП МПТ.

2.2 Аналітичне моделювання часу очікування пасажирів для обраних варіантів обслуговування міським транспортом

Існуючий аналітичний апарат для розрахунку ЧОП не може вважатися вичерпним, що відображається навіть у сучасних програмних продуктах з транспортного планування. ЧОП на ЗП в них розраховуються за простими залежностями, що не завжди коректно описують реальний процес очікування пасажирів у різних умовах роботи маршрутного транспорту.

Найліпші умови руху ТЗ по маршруту з точки зору якості обслуговування пасажирів, як відомо з попереднього підрозділу, створюються у тому випадку, коли ТЗ прибувають на ЗП через рівні інтервали часу, тобто

$$\begin{cases} I_{\phi} = I; \\ \sigma_I = 0. \end{cases} \quad (2.1)$$

де I_ϕ – фактичний інтервал руху ТЗ на маршруті, хв;

I – середній інтервал руху ТЗ на маршруті, хв.

Такий спосіб організації роботи МПТ забезпечує мінімум витрат часу очікування пасажирів на ЗП. Процес прибуття ТЗ на ЗП відповідає умовам стаціонарного потоку, рисунок 2.3.

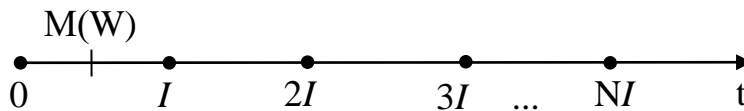


Рис. 2.3 Графік прибуття ТЗ на ЗП, що описується стаціонарним потоком

У відповідності з властивостями стаціонарного потоку, ЧОП на зупинці рівномірно розподіляється в межах від 0 до I . Тоді, математичне очікування цієї випадкової величини завжди буде дорівнювати половині середнього інтервалу руху ТЗ

$$M(W) = \int_0^I t \cdot \frac{1}{I} dt = \left(\frac{t^2}{2} \cdot \frac{1}{I} \right) \Big|_0^I = \frac{I^2}{2} \cdot \frac{1}{I} = \frac{I}{2}. \quad (2.2)$$

Інтерпретація загальновідомої формули для розрахунку дисперсії та середньоквадратичного відхилення випадкової величини ЧОП від її середнього значення має наступний вид

$$D(W) = M(W - m)^2 = M(W^2) - m^2, \quad (2.3)$$

$$\sigma_w = \sqrt{D(W)}, \quad (2.4)$$

де $D(W)$ – дисперсія випадкової величини ЧОП;

m – середнє значення ЧОП ТЗ на ЗП;

σ_w – середньоквадратичне відхилення ЧОП.

Другий момент величини ЧОП на зупинці МПТ розраховується як

$$M(W^2) = \int_0^I t^2 \cdot \frac{dt}{I} = \frac{I^2}{3}. \quad (2.5)$$

Якщо підставити отримане значення другого моменту величини ЧОП у вираз (2.3), то можна отримати наступні значення дисперсії та середньоквадратичного відхилення

$$D(W) = \frac{I^2}{12} \text{ та } \sigma = \frac{I}{2\sqrt{3}}. \quad (2.6)$$

Тобто найкращий спосіб організації роботи маршруту забезпечує середнє значення випадкової величини ЧОП, що дорівнює половині середнього інтервалу руху ТЗ з середньоквадратичним відхиленням рівним $\frac{I}{2\sqrt{3}}$.

При розгляді другої технології організації руху ТЗ на маршруті зазвичай припускають, що відхилення часу прибуття ТЗ на ЗП розподілено по стандартизованому нормальному закону [69]. В свою чергу неможливість спарювання ТЗ призводить до того, що стандартне відхилення цієї величини розраховується згідно з правилом трьох сигм [69]

$$\sigma_I = \frac{I}{6}, \quad (2.7)$$

де σ_I – середньоквадратичне відхилення фактичного моменту часу прибуття ТЗ на ЗП від планового, хв.

Формула для розрахунку ЧОП згідно з [58]

$$M(t) = \frac{M(i^2)}{2M(i)}, \quad (2.8)$$

де M – оператор математичного очікування;

t – середнє значення ЧОП ТЗ на ЗП, хв;

i – фактичний інтервал прибуття ТЗ на ЗП, хв.

При цьому

$$M(i^2) = I^2 + \sigma_i^2, \quad (2.9)$$

де σ_i^2 – дисперсія випадкової величини інтервалу між черговими прибуттями ТЗ на ЗП, хв.

В такому випадку, виходячи з умови додавання дисперсій двох незалежних випадкових величин,

$$\sigma_i^2 = 2\sigma_I^2 = \frac{I^2}{18}. \quad (2.10)$$

Підстановка (2.10) у вираз (2.8) визначає математичне очікування ЧОП

$$M(t) = \frac{I}{2} \cdot \left(1 + \frac{1}{18}\right). \quad (2.11)$$

Тобто ЧОП при такому варіанті організації роботи ТЗ на маршруті, забезпечує достатній рівень якості обслуговування пасажирів, що не значно відрізняється від найкращого варіанту організації роботи МПТ.

При розгляді випадку, коли в розкладі руху ТЗ на маршруті зустрічаються різні інтервали, було прийнято припущення, що інтервали прибуття ТЗ на ЗП МПТ можуть приймати тільки два значення:

- I_{\min} – мінімальний інтервал руху ТЗ на маршруті;
- I_{\max} – максимальний інтервал руху ТЗ на маршруті.

При цьому сума мінімального і максимального інтервалу дорівнює двом середнім інтервалам руху ТЗ на маршруті

$$I_{\min} + I_{\max} = 2 \cdot I. \quad (2.12)$$

Використовуючи формулу (2.8), можна отримати наступний вираз

$$M(t) = \frac{I_{\min}^2 + I_{\max}^2}{2 \cdot (I_{\min} + I_{\max})}. \quad (2.13)$$

Для характеристики розкиду інтервалів доцільно ввести допоміжну величину $S \geq 1$, яка показує у скільки разів максимальний інтервал більше мінімального.

Тоді максимальний інтервал буде розраховуватися як

$$I_{\max} = S \cdot I_{\min}. \quad (2.14)$$

Підстановка виразу (2.14) в (2.13) дає математичне очікування ЧОП ТЗ на ЗП в наступному вигляді

$$M(t) = \frac{I_{\min}}{2} \cdot \left(\frac{1 + S^2}{1 + S} \right). \quad (2.15)$$

З іншого боку, з урахуванням (2.12)

$$I_{\min} = \frac{2 \cdot I}{S + 1}. \quad (2.16)$$

Тоді

$$M(t) = \frac{1 + S^2}{(1 + S)^2} \cdot I. \quad (2.17)$$

У випадку, коли $S = 2$

$$M(t) = \frac{1 + 4}{9} \cdot I = I \cdot 0,55, \quad (2.18)$$

а при $S = 3$ математичне сподівання складатиме $M(t) = I \cdot 0,625$. Тобто для такого розкладу тривалість очікування пасажиромі МПТ пропорційна відношенню максимального інтервалу до мінімального.

Під час спостережень за роботою МПТ було виявлено, що в багатьох випадках ТЗ відправляються від кінцевого ЗП слідом за попереднім ТЗ при наповненні салону до якогось критичного рівня. Кри-

тичний рівень, наприклад заповнення всіх сидінь в салоні ТЗ, є результатом колективної поведінки водіїв, а час наповнення салону при високій інтенсивності підходу пасажирів не є значимим і не впливає на відправку ТЗ.

Така ситуація спостерігається на багатьох кінцевих ЗП або на проміжних зупинках з великим пасажирообміном (поблизу станцій метрополітену, ринків і т.д.), де відбувається ритмічне або поступове накопичення пасажирів. В такому випадку ТЗ відправляється від кінцевого ЗП слідом за попереднім через час, за який салон наповниться до заданого рівня $l \geq 1$. Тоді щільність розподілу часу між черговими ТЗ, за умови найпростішого потоку підходу пасажирів до ЗП має вигляд

$$f_l(x) = \lambda \cdot \frac{(\lambda x)^{l-1}}{(l-1)!} \cdot e^{-\lambda x}, \quad (2.19)$$

де l – заданий рівень наповнення ТЗ, пас.;

λ – інтенсивність потоку пасажирів, пас./хв.

Математичне очікування часу відправлення чергового ТЗ становить:

$$I = M(i) = \frac{l}{\lambda}, \quad (2.20)$$

$$M(i^2) = \int_0^{\infty} x^2 f_l(x) dx = \frac{l \cdot (l+1)}{\lambda^2}. \quad (2.21)$$

Стаціонарне математичне очікування ЧОП на ЗП розраховується як

$$M(t) = \frac{M(i^2)}{2M(i)} = \frac{I}{2} \cdot \left(1 + \frac{1}{l}\right). \quad (2.22)$$

Наприклад, при $l = 5$

$$M(t) = \frac{I}{2} \cdot \left(1 + \frac{1}{5}\right) = I \cdot 0,6.$$

Якщо рівень наповнення салону $l = 10$, а параметр найпростішого потоку $\lambda = 60$ чол./год, тоді середній інтервал відправлення ТЗ від ЗП буде рівний

$$I = \frac{l}{\lambda} = \frac{1}{6} = 10 \text{ хв.}$$

Для такого випадку математичне очікування ЧОП ТЗ на ЗП

$$M(t) = \frac{I}{2} \cdot \left(1 + \frac{1}{10}\right) = I \cdot 0,55 = 5 \text{ хв } 30 \text{ с.}$$

З іншого боку, при такому способі взаємодії між водіями часто спостерігається ситуація коли час відправлення обмежено якоюсь величиною. Ця ситуація характерна для невисокої інтенсивності підходу пасажирів або надлишкової кількості ТЗ на маршруті. Тоді час відправлення контролюється іншими водіями, які перебувають на початковому ЗП маршруту.

Можна припустити, що час простою при посадці пасажирів обмежується константою T . Тоді ТЗ простоює на ЗП час, за який салон наповниться пасажирами до рівня l , але не більше часу T з моменту відправки попереднього ТЗ. При цьому, як і в попередніх технологіях організації роботи рухомого складу на маршрутах, процес підходу пасажирів описується найпростішим потоком з параметром λ .

Тоді інтервал відправлення ТЗ має щільність розподілу

$$f_l(x; T) = \begin{cases} \lambda \cdot \frac{(\lambda \cdot x)^{l-1}}{(l-1)!} \cdot \frac{e^{-\lambda x}}{A_l(T)} & \text{при } x \leq T; \\ 0 & \text{при } x > T, \end{cases} \quad (2.23)$$

де $A_l(T)$ – постійна величина, знайдена з умови нормування.

Математичне очікування інтервалу прибуття ТЗ на ОП знаходиться шляхом інтегрування виразу

$$I = M(i) = \int_0^{\infty} x f_l(x; T) \cdot dx = \frac{l}{\lambda} \cdot \frac{A_{l+1}(T)}{A_l(T)}. \quad (2.24)$$

Другий момент випадкової величини інтервалу прибуття ТЗ на ЗП має наступний вигляд:

$$M(i^2) = \int_0^{\infty} x^2 f_l(x; T) dx = \frac{l \cdot (l+1)}{\lambda^2} \cdot \frac{A_{l+2}(T)}{A_l(T)}. \quad (2.25)$$

Підстановка виразів (2.24) и (2.25) в формулу (2.8) дає математичне очікування ЧОП на ЗП в наступному вигляді

$$M(t) = \frac{l+1}{2 \cdot \lambda} \cdot \frac{A_{l+2}(T)}{A_{l+1}(T)}, \quad (2.26)$$

або

$$M(t) = \frac{I}{2} \cdot \left(\frac{A_l(T) \cdot A_{l+2}(T)}{(A_{l+1}(T))^2} \right) \cdot \left(1 + \frac{1}{l} \right). \quad (2.27)$$

Так як функція $A_l(T)$ має монотонний характер, то обмеження за часом відправлення ТЗ скорочує час очікування пасажирів.

З іншого боку, найгіршим варіантом організації роботи маршруту слід вважати спосіб, коли час відправлення ТЗ з кінцевого ЗП є випадковим та не залежить від часу відправлення інших ТЗ. Звичайно, такий спосіб роботи транспорту є малоймовірним в практиці роботи ГТ, але він представляє теоретичний інтерес, так як дозволяє отримати значення найбільшого часу очікування при інтервальному способі обслуговування пасажирів міськими маршрутами.

Слід відзначити одне важливе обмеження, яке використовувалося при формуванні цього способу. Воно полягає в тому, що спарювання ТЗ на маршрутах є лише випадковим. Без цього обмеження

найгіршим варіантом організації руху було б одночасне прибуття на ЗП усіх ТЗ, тобто рух цугом.

Припустимо, що в момент підходу пасажир до ЗП ТЗ рівномірно розподілені на маршруті, рисунок 2.4.

Рисунок 2.4 пояснюється наступним чином: якщо пасажир з'явився на маршруті у момент часу t і до моменту $t+x$ не з'явився жоден ТЗ, тоді це означає, що усі ТЗ розташовані на проміжку часу довжиною $T-x$. Ймовірність цієї події для кожного ТЗ буде становити $\left(\frac{T-x}{T}\right)$. Оскільки на маршруті може працювати деяка кількість ТЗ, то ймовірність того, що час очікування буде більшим ніж x , знаходиться з умови рівномірності та незалежності розподілу ТЗ на маршруті за наступною залежністю

$$P\{W > x\} = \left(1 - \frac{x}{T}\right)^n, \quad (2.28)$$

де T – час обертю ТЗ на маршруті, хв.

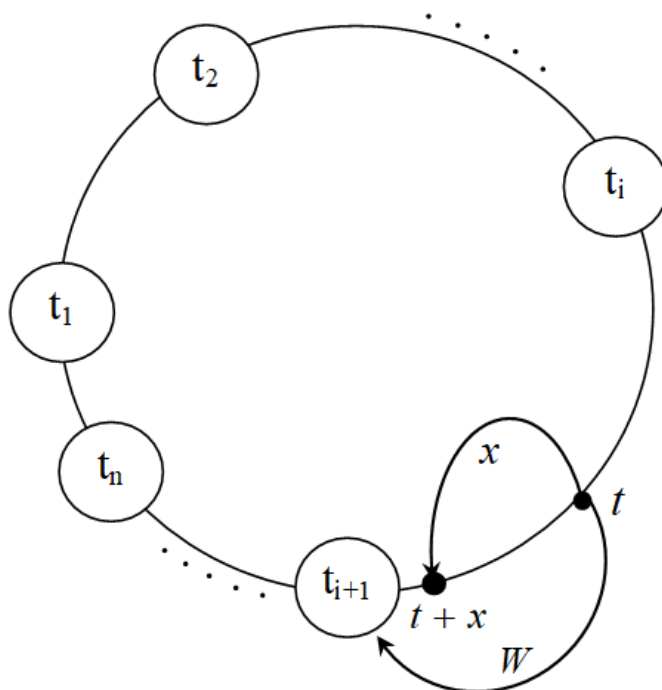


Рис. 2.4 Рівномірний розподіл ТЗ на маршруті: t_i, t_n – моменти часу на яких знаходяться ТЗ; t – момент підходу пасажир до ЗП; x – невід’ємний аргумент функції розподілу ймовірності ЧОП наступного ТЗ.

Математичне очікування знаходиться шляхом інтегрування виразу (2.28)

$$M(W) = \int_0^T \left(1 - \frac{X}{T}\right)^n \cdot dx = \frac{\left(1 - \frac{X}{T}\right)^{n+1}}{n+1} \Big|_0^T \cdot (-T) = 0 + \frac{T}{n+1}. \quad (2.29)$$

Тобто найгірший спосіб організації роботи маршруту забезпечує середнє значення випадкової величини ЧОП, яке майже дорівнює середньому інтервалу руху, при реальній кількості ТЗ.

Другий момент випадкової величини ЧОП буде дорівнювати

$$M(W)^2 = 2 \int_0^T X \left(1 - \frac{X}{T}\right)^n \cdot dx =$$

$$= \left. \begin{array}{l} 1 - \frac{X}{T} = z \\ (1 - z) \cdot T = x \\ dx = -T dz \end{array} \right| = 2 \int_0^T T \cdot T \cdot (1 - z) \cdot z \cdot dz = \quad (2.30)$$

$$= 2T^2 \cdot \left(\frac{z^{n+1}}{n+1} - \frac{z^{n+2}}{n+2} \right) \Big|_0^1 = 2T^2 \cdot \left(\frac{1}{n+1} - \frac{1}{n+2} \right) = 2T^2 \cdot \frac{1}{(n+1) \cdot (n+2)}.$$

Дисперсія випадкової величини ЧОП на ЗП становить

$$D(W) = T^2 \cdot \left(\frac{2}{(n+1) \cdot (n+2)} - \frac{1}{(n+1)^2} \right) = T^2 \cdot \frac{2 \cdot (n+1) - (n+2)}{(n+1)^2 \cdot (n+2)} = \quad (2.31)$$

$$= T^2 \cdot \frac{n}{(n+1)^2 \cdot (n+2)}.$$

Із залежності (2.31) можливо зробити висновок, що при $n \rightarrow \infty$
 $M(W) = \sqrt{D(W)}$.

Отримані залежності дозволяють повністю охарактеризувати

ЧОП на міських маршрутах при різних технологіях організації роботи ТЗ, але потребують експериментальної перевірки.

Аналітичні залежності розрахунку часу очікування пасажиром маршрутного транспорту побудовані на припущенні, що підхід пасажирів до зупиночного пункту є найпростішим потоком.

2.3 Теоретичні основи визначення середнього часу очікування пасажиром транспортних засобів у маршрутній системі міста

Функціонування будь-якої ММ міста характеризується взаємодією маршрутів одного і більше видів транспорту на спільних ділянках. Методика оцінки ЧОП, що запропонована авторами в роботах [72-75], може бути застосована для оцінки часу очікування ТЗ пасажиром при наявності лише одного маршруту, що дозволяє досягнути мету його пересування.

В умовах широкого розгалуження міських ММ така ситуація є малоімовірною, а наявність у пасажирів вибору не лише маршруту слідування, а й виду транспорту на спільних ЗП міських маршрутів понукає до розробки аналітичного апарату для розрахунку ЧОП для маршрутної системи міста.

В даній роботі розробка такого аналітичного апарату базується на припущенні про відповідність інтервалу руху на маршрутах вуличних видів МПТ гамма-розподілу. Перевірка коректності цього припущення виконується у наступному розділі роботи.

Припустимо, що кількість маршрутів, які задовольняють потребу пасажирів у пересуванні, складає величину l . Інтервал прибуття ТЗ на ЗП на i -му маршруті ($i = 1, \dots, l$) має гамма розподіл із параметрами форми n_i (лише цілі значення) та масштабу $\lambda = \frac{1}{I_i}$. Тоді математичне очікування інтервалу руху ТЗ, що проходять через ЗП, буде дорівнювати $I_i = \frac{n_i}{\lambda_i}$, а дисперсія інтервалу $\sigma_i = \frac{n_i}{\lambda_i^2}$. Щільність розподілу інтервалу прибуття ТЗ на ЗП має вид

$$f_i(t) = \frac{(\lambda_i \cdot t)^{n_i-1}}{(n_i-1)!} \cdot \lambda_i \cdot e^{-\lambda_i \cdot t}. \quad (2.32)$$

Функція розподілу інтервалу руху ТЗ на i -му маршруті дорівнює

$$F_i(t) = P\{I_i \leq t\} = \int_0^t \frac{(\lambda_i \cdot t)^{n_i-1}}{(n_i-1)!} \cdot \lambda_i \cdot e^{-\lambda_i \cdot t} \cdot dt =$$

$$= 1 - e^{-\lambda_i \cdot t} - (\lambda_i \cdot t) \cdot e^{-\lambda_i \cdot t} - \frac{(\lambda_i \cdot t)^{n_i-1}}{(n_i-1)!} \cdot e^{-\lambda_i \cdot t}, t > 0. \quad (2.33)$$

Нехай

$$1 - F_i(t) = P\{I_i > t\} = e^{-\lambda_i \cdot t} + (\lambda_i \cdot t) \cdot e^{-\lambda_i \cdot t} + \dots + \frac{(\lambda_i \cdot t)^{n_i-1}}{(n_i-1)!} \cdot e^{-\lambda_i \cdot t}, t > 0. \quad (2.34)$$

Стационарний час очікування W_{oi} має щільність розподілення:

$$W_i(t) = \frac{1 - F_i(t)}{I_i} = \frac{\lambda_i}{n_i} \cdot \sum_{k=0}^{n_i-1} \frac{(\lambda_i \cdot t)^k}{k!} \cdot e^{-\lambda_i \cdot t}. \quad (2.35)$$

Тепер можна знайти ймовірність того, що $\{W_i > t\}, t > 0$:

$$P\{W_i > t\} = \frac{1}{n_i} \cdot e^{-\lambda_i \cdot t} \cdot \sum_{s=1}^{n_i} \frac{(\lambda_i \cdot t)^{s-1}}{(s-1)!} \cdot (n_i - s + 1). \quad (2.36)$$

Нехай $W = \min\{W_1, W_2, \dots, W_l\}$ – час очікування найпершого ТЗ, що прибув на ЗП із l маршрутів. Тоді

$$P\{W_i > t\} = P\left\{\min_{i=1, l} W_i > t\right\} = P\{W_1 > t, W_2 > t, \dots, W_l > t\} = \prod_{i=1}^l P\{W_i > t\}. \quad (2.37)$$

З цього виходить, що

$$\begin{aligned}
P\{W_i > t\} &= \prod_{i=1}^l \frac{1}{n_i} \cdot e^{-\lambda_i t} \cdot \sum_{s=1}^{n_i} \frac{(\lambda_i \cdot t)^{s-1}}{(s-1)!} \cdot (n_i - s + 1) = \\
&= \frac{1}{\left(\prod_{i=1}^l n_i\right)} \cdot e^{-\lambda t} \cdot \prod_{i=1}^l \sum_{s_i=0}^{n_i-1} \frac{(\lambda_i \cdot t)^{s_i}}{s_i!} \cdot (n_i - s_i) = \\
&= \frac{1}{\left(\prod_{i=1}^l n_i\right)} \cdot e^{-\lambda t} \cdot \sum_{k=0}^n t^k \cdot \sum_{\substack{0 \leq s(1) \leq n_1-1 \\ 0 \leq s(2) \leq n_2-1 \\ 0 \leq s(l) \leq n_l-1 \\ s(1)+s(2)+\dots+s(l)=k}} \left(\prod_{i=1}^l \frac{\lambda_i^{s(i)}}{(s(i))!} \cdot (n_i - s(i)) \right) , \quad (2.38)
\end{aligned}$$

де $\lambda = \sum_{i=1}^l \lambda_i$; $s_{(i)} = s_i$; $n = \sum_{i=1}^l (n_i - 1)$.

Шляхом інтегрування отриманого виразу по позитивним t можна знайти математичне очікування ЧОП першого із ТЗ, що прибуде на зупинку, з врахуванням того, що $\int_0^{\infty} t^k \cdot e^{-\lambda t} \cdot dt = \frac{k}{\lambda^{k+1}}$:

$$\begin{aligned}
MW &= \int_0^{\infty} P\{W > t\} dt = \int_0^{\infty} \frac{1}{\prod_{i=1}^l n_i} \cdot e^{-\lambda t} \cdot \sum_{k=0}^n t^k \cdot \sum_{\substack{0 \leq s(1) \leq n_1-1 \\ 0 \leq s(2) \leq n_2-1 \\ 0 \leq s(l) \leq n_l-1 \\ s(1)+s(2)+\dots+s(l)=k}} \prod_{i=1}^l \frac{\lambda_i^{s(i)}}{(s(i))!} \cdot (n_i - s(i)) \cdot dt = \\
&= \frac{1}{\prod_{i=1}^l n_i} \cdot \sum_{k=0}^n \sum_{\substack{0 \leq s(1) \leq n_1-1 \\ 0 \leq s(2) \leq n_2-1 \\ 0 \leq s(l) \leq n_l-1 \\ s(1)+s(2)+\dots+s(l)=k}} \prod_{i=1}^l \frac{\lambda_i^{s(i)}}{(s(i))!} \cdot (n_i - s(i)) \cdot \left(\int_0^{\infty} t^k \cdot e^{-\lambda t} \cdot dt \right) =
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1}{\prod_{i=1}^l n_i} \cdot \sum_{k=0}^n \left(\int_0^{\infty} t^k \cdot e^{-\lambda \cdot t} \cdot dt \right) \sum_{\substack{0 \leq s(1) \leq n_1 - 1 \\ 0 \leq s(2) \leq n_2 - 1 \\ 0 \leq s(l) \leq n_l - 1 \\ s(1) + s(2) + \dots + s(l) = k}} \prod_{i=1}^l \frac{\lambda_i^{s(i)}}{(s(i))!} \cdot (n_i - s(i)) \cdot dt = \\
&= \frac{1}{\prod_{i=1}^l n_i} \cdot \sum_{k=0}^n \frac{k!}{\lambda^{k+1}} \cdot \sum_{\substack{0 \leq s(1) \leq n_1 - 1 \\ 0 \leq s(2) \leq n_2 - 1 \\ 0 \leq s(l) \leq n_l - 1 \\ s(1) + s(2) + \dots + s(l) = k}} \prod_{i=1}^l \frac{\lambda_i^{s(i)}}{(s(i))!} \cdot (n_i - s(i)).
\end{aligned} \tag{2.39}$$

Залежність (2.39) дозволяє проводити розрахунки ЧОП в цілому для всієї системи МПТ окремого міста при відсутності жорсткого розкладу руху на маршрутах та відсутності у пасажирів точної інформації щодо часу відправлення чергового ТЗ від ЗП маршрутів.

При формуванні моделі розрахунку часу очікування пасажирів транспортних засобів в маршрутній мережі міста вважалося, що інтервал прибуття транспортних засобів на зупиночний пункт розподілений по закону Ерланга, а пасажир може влаштуватися більше ніж один маршрут. Розроблена аналітична залежність дозволяє розраховувати математичне сподівання часу очікування пасажирями транспортних засобів в маршрутній мережі будь-якого міста України.

Використання найпростішого потоку для опису процесу підходу пасажирів до зупиночного пункту привело до необхідності перевірки точності сформованих аналітичних моделей. Єдиним доступним способом перевірки розроблених аналітичних моделей є імітаційний експеримент.

Висновки

1. Для інтервального способу обслуговування пасажирів міськими маршрутами при оцінці витрат часу очікування пасажирів необхідно враховувати технологію організації роботи рухомого складу на маршрутах, так як навіть без спарювання ТЗ ЧОП може коливатися в широких межах – від половини інтервалу до величини, майже рівної інтервалу руху ТЗ на маршруті.

2. Основними варіантами організації руху ТЗ на маршруті в даній роботі вважаються варіанти заздалегідь сформованого розкладу руху на маршруті або без дотримання розкладу. У першому випадку

розглядаються варіанти забезпечення рівного інтервалу руху без відхилень та з нормально розподіленими відхиленнями фактичного часу відправлення від розкладу, а також змінний інтервал з двома значеннями, що чергуються одне з одним. У другому випадку розглядається технологія відправлення ТЗ по рівню заповнення салону до заздалегідь визначеного рівня з обмеженням та без обмеження на час простою ТЗ на початковому ЗП маршруту, а також власне випадкове відправлення ТЗ з початкового ЗП.

3. Розроблені аналітичні моделі розрахунку ЧОП для виділених технологій організації роботи ГТ на міських маршрутах можуть бути використані для моделювання транспортних систем міст і визначення якості обслуговування пасажирів ГТ, але потребують експериментальної перевірки для реальних умов функціонування МПТ.

4. Отримана залежність (2.39) дозволяє проводити розрахунки ЧОП в цілому для всієї системи МПТ окремого міста за умови відсутності жорсткого розкладу руху на маршрутах та точної інформації у пасажирів щодо часу відправлення чергового ТЗ від ЗП маршрутів.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЧАСУ ОЧІКУВАННЯ ПАСАЖИРАМИ МІСЬКОГО ПАСАЖИРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ

В другому розділі монографії розроблені аналітичні моделі для визначення ЧОП із урахуванням шести способів організації руху маршрутного транспорту в місті. Найкращим способом для перевірки адекватності побудованих аналітичних залежностей стало б порівняння розрахункових значень ЧОП із емпіричними, які отримані в реальних умовах функціонування маршрутної системи міста.

Нажаль, знайти реальний об'єкт, який би чітко відповідав умовам, що були закладені в аналітичні залежності, немає можливості, оскільки процес функціонування ГТ – це не що інше, як деякий синтез різних варіантів організації роботи ТЗ на маршрутах та рівня обізнаності пасажирів щодо розкладу руху на них. Тому єдиним із методів, який практично придатний до застосування, враховуючи неможливість отримання емпіричних значень тривалості очікування пасажирів при кожній з описаних технологій організації роботи ТЗ, є імітаційне моделювання.

Використання імітаційних моделей виправдане, саме тоді, коли можливості методів дослідження системи за допомогою аналітичних моделей обмежені, а натурні експерименти з тих чи інших причин небажані чи неможливі.

3.1 Побудова плану проведення експерименту

Як об'єкт експериментальних досліджень обрано ММ МПТ міста Харкова, яка була сформована ще в радянську епоху. Вона, як і ММ більшості інших українських міст, до нашого часу зазнала значної трансформації в плані інфраструктури, технології обслуговування пасажирів та трасування маршрутів. В першу чергу, це сталося завдяки приватній ініціативі сучасних виконавців транспортної роботи на значній частині міських маршрутів.

Головні реорганізаційні зміни стосуються безпосередньо маршрутів ГТ, так як вони не потребують значних капіталовкладень, а суть реорганізації полягає в зміні траси маршруту на більш комерційно привабливий напрямок для перевізника та замовника транспортних послуг, але не завжди із якісними змінами для пасажирів.

В силу необхідності масштабних капіталовкладень і обмеженості державної підтримки повільніше розвиваються та розгалужуються територією міста наземний електротранспорт і метрополітен, хоча в Харкові, завдяки співробітництву з ЄБРР, метрополітен розширив свою мережу. Така ситуація в сфері міських пасажирських перевезень характерна для переважної більшості українських міст, де транспортна інфраструктура є історичною спадщиною радянських часів.

За основу в роботі використано модель ММ МПТ м. Харкова, яка побудована в програмному продукті по транспортному моделюванню маршрутних систем міст, німецької компанії PTV Vision – Visum. Приклад змодельованої ММ наведено на рисунку 3.1.

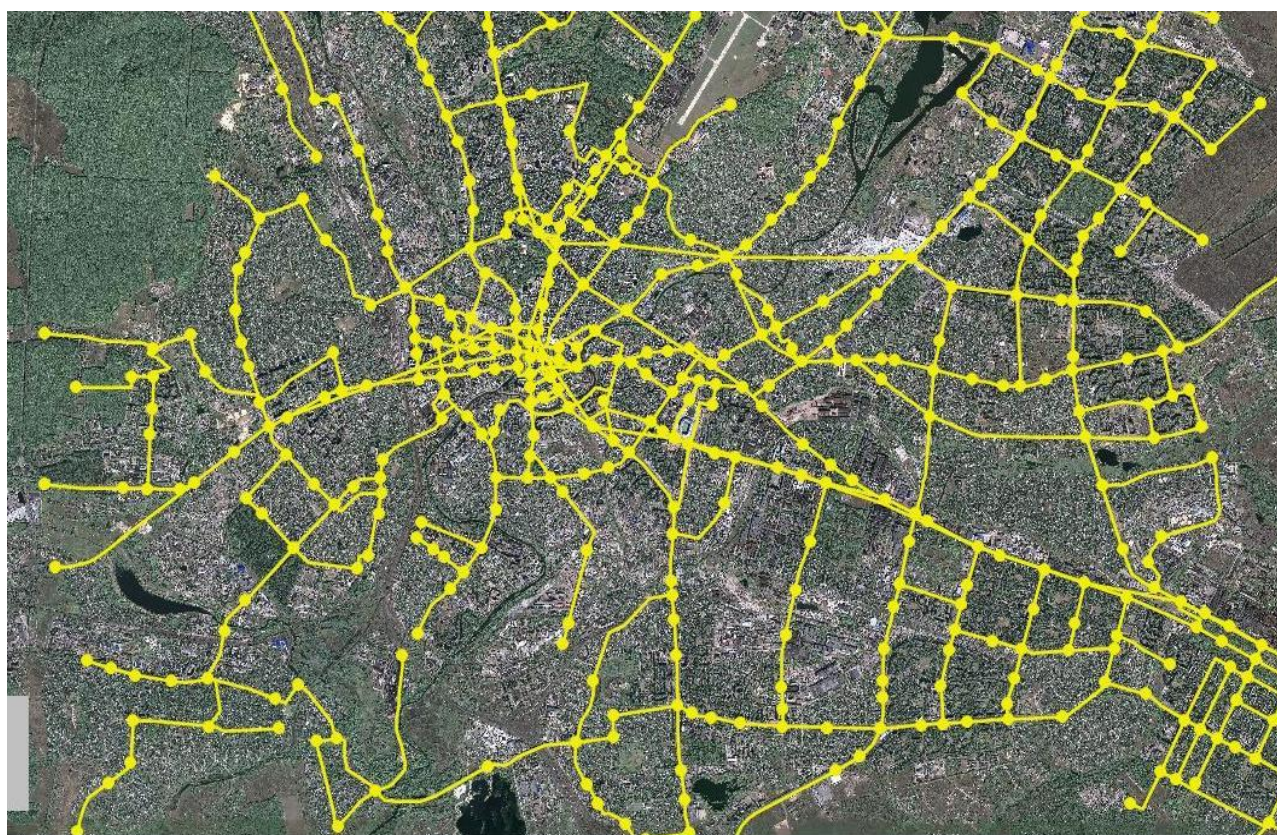


Рис 3.1 ММ МПТ міста Харкова в програмному середовищі Visum

Маршрутна мережа м. Харкова поєднує функціонування 141 автобусний маршрут, які працюють в різних режимах руху, 24 тролейбусних, 12 трамвайних маршрутів та 3 ліній метрополітену. В місті в загальному обсязі міськими маршрутами обслуговується 491 ЗП.

Розклад руху у виді інформаційних табличок присутній лиш на деяких ЗП, інформація відображена на них є мінімально необхідною

з точки зору діючого законодавства у сфері маршрутного транспорту. Вона не може в повній мірі задовольняти інтерес пасажирів, так як не містить точного часу прибуття та відправлення ТЗ по кожному маршруту, а відображає здебільшого перелік маршрутів, що проходять через ЗП, їх кінцеві зупинки, час початку і кінця роботи маршрутів та середній інтервал руху ТЗ на маршруті.

Метою проведення експерименту є розрахунок значень ЧОП для різних технологій організації роботи ТЗ на міських маршрутах та його порівняння з розрахунками середнього ЧОП отриманого за допомогою аналітичних моделей.

Експеримент проводиться за допомогою імітаційних моделей, тож результатом кожного розрахунку повинне стати випадкове значення середнього ЧОП для певної кількості пасажирів. Його збіг із середнім ЧОП, розрахованим за аналітичною моделлю є зовсім не обов'язковим, так як це значення формується під впливом багатьох факторів та є випадковим. Критерієм вірності аналітичної моделі має стати близькість багатьох експериментальних значень середнього ЧОП до аналітичного значення.

Для імітаційного моделювання ЧОП ТЗ на ЗП обрано період із 6:00 до 8:35, тобто ранковий час «пік», який прийнятий за результатами обстеження трудових пересувань методом безпосередньої фіксації вибору пасажирів, проведеного у м. Харкові в 1998 р. [76].

Величина кореспонденції в моделі ЧОП ТЗ означає кількість дослідів в одній серії, тому нижня межа її зміни повинна забезпечувати спроможність критеріїв, що й визначило її величину – 51 пас. [77].

Верхня межа кореспонденції 300 пас. прийнята з міркувань достатності, оскільки у вибраних межах міститься 44,5% всього обсягу кореспонденцій і 17% значень матриці трудових пересувань м. Харкова, отриманої методом анкетування підприємств міста в 1986 році. Більші за значенням кореспонденції зустрічаються лише в 2,3% випадків і відносяться скоріше до планової економіки з великими підприємствами та цільовими забудовами для них, ніж до теперішнього часу. Сформований план проведення експерименту графічно представлений на рисунку 3.2.

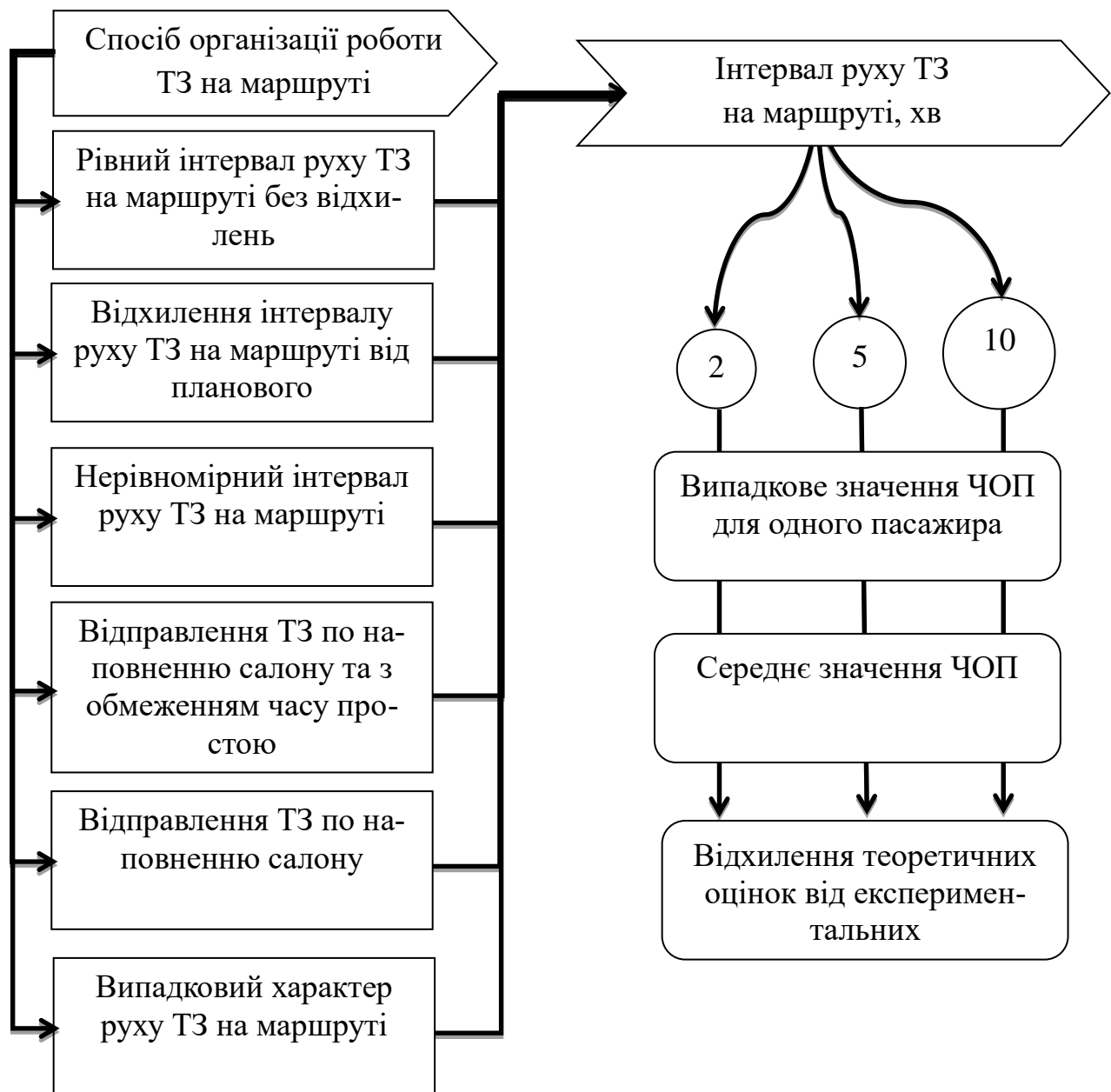


Рис 3.2 Схема експериментальних досліджень із розрахунку ЧОП

Межі зміни інтервалів руху на маршруті були прийняті за рекомендаціями [78] для ранкового періоду «пік» в межах від 2 хв до 10 хв і скориговані в бік збільшення верхньої межі до 20 хв з урахуванням сучасних умов роботи маршрутів. Результатом проведення експерименту є розраховане середнє значення ЧОП для 300 пасажирів. Кількість таких серій експерименту повинна становити 300, накопичені значення ЧОП будуть використані на етапі перевірки адекватності побудованих імітаційних моделей.

Для реалізації кожного з таких експериментів необхідно розробити методику і провести імітаційне моделювання двох випадкових

процесів: прибуття пасажирів на ЗП та прибуття ТЗ на ЗП. Перший процес не залежить від технології роботи ТЗ. Прибуття ТЗ на ЗП необхідно моделювати для кожного з шести способів організації роботи рухомого складу на маршрутах. Порівнявши значення цих двох параметрів, можна отримати шукану величину тривалості очікування ТЗ пасажирами.

3.2 Визначення параметрів прибуття пасажирів і транспортних засобів на зупиночний пункт та моделювання процесу їх взаємодії

Метою підрозділу є визначення розрахункових значень ЧОП на ЗП МПТ за допомогою імітаційного моделювання для визначених способів організації руху ТЗ на міських маршрутах.

Головна ідея, що застосована для побудови імітаційної моделі ЧОП ТЗ на ЗП, полягає в імітації взаємодії двох процесів:

- прибуття пасажирів на ЗП МПТ;
- прибуття ТЗ на ЗП МПТ.

Безпосередньо ЧОП на зупинках громадського транспорту – це різниця між часом прибуття пасажирів та ТЗ на ЗП

$$T_{оч_i} = t_{mз_i} - t_{n_i}, \quad (3.1)$$

де $T_{оч_i}$ – ЧОП ТЗ на ЗП, хв;

$t_{mз_i}$ – час прибуття першого ТЗ на ЗП, год:хв;

t_{n_i} – час прибуття пасажира на ЗП МПТ, год:хв.

Незважаючи на відмінність параметрів руху ТЗ на маршрутах, що обумовлена різними способами організації їх роботи, процес прибуття пасажирів на ЗП має однакові параметри та єдину методику імітації для шести розроблених у другому розділі моделей.

В такому разі першим етапом розробки будь-якої із шести імітаційних моделей розрахунку ЧОП ТЗ є моделювання часу підходу пасажирів t_{n_i} на ЗП МПТ.

Згідно з роботою [69] моделювання прибуття пасажирів необхідно проводити шляхом розрахунку двох випадкових величин:

- раннього часу виходу пасажира із дому;
- фактичного часу виходу пасажира із дому.

Ранній час виходу пасажирів із дому розраховується один раз для кожної серії експерименту i , відповідно до обстеження 1998 р., розподілений по нормальному закону із середнім значенням 7 год 20 хв та середньоквадратичним відхиленням, рівним 45 хв:

$$T_{\epsilon_i}^p = C_{откл}^{нас} \cdot \mu_i + \bar{t}_{\epsilon}, \quad (3.2)$$

де $T_{\epsilon_i}^p$ – ранній час виходу пасажирів із дому, год:хв;

$C_{откл}^{нас}$ – середньоквадратичне відхилення раннього часу виходу пасажирів із дому, год:хв;

μ_i – випадкова величина, розподілена по нормальному закону розподілу, год:хв;

\bar{t}_{ϵ} – середнє значення раннього часу виходу пасажирів із дому, год:хв.

Фактичний час виходу пасажирів із дому визначається в кожному експерименті як відхилення від раннього часу виходу. Його значення розподілене по експоненціальному закону із параметром $\lambda = 0,137$

$$T_{\epsilon_i}^{\phi} = -\log \cdot \xi_i \cdot \frac{1}{\lambda} + T_{\epsilon_i}^p, \quad (3.3)$$

де ξ_i – випадкове значення, розподілене по рівномірному закону розподілу;

λ – параметр експоненціального закону розподілу відхилення від раннього часу виходу пасажирів із дому.

Як інструмент для побудови імітаційних моделей та, відповідно, проведення експерименту використано пакет прикладного програмного забезпечення MS Excel. Стандартні можливості цього програмного продукту в значній мірі задовольняють більшість умов проведення експерименту, а додаткова можливість самостійного написання макросу для проведення нетабличних розрахунків дозволяє компенсувати обчислювальні обмеження табличного процесора Excel та частково автоматизувати хід моделювання.

В результаті першого етапу моделювання за допомогою залежностей (3.2) та (3.3) отримано масив із трьохсот значень моментів прибуття пасажирів на ЗП МПТ, які зорієнтовані в стовпчик. При

оновленні листа в програмному продукті вони перераховуються, формуючи новий набір випадкових значень.

Другим етапом побудови імітаційної моделі є моделювання процесу прибуття ТЗ на ЗП МПТ, який є більш складним та трудомістким у порівнянні з моделюванням процесу підходу пасажирів на ЗП.

Складність такого моделювання полягає у визначенні для кожної технології роботи ТЗ на маршрутах параметрів руху та побудови ланцюга моментів прибуття ТЗ на ЗП, враховуючи розроблений план проведення експерименту.

Принцип моделювання процесу прибуття ТЗ на ЗП є загальним для усіх технологій. Відмінними будуть розраховані інтервали, які в моделі описують рух ТЗ для різних технологій організації їх роботи на маршруті. Згідно із побудованим планом експерименту початок роботи маршруту припадає на початок ранкового часу «пік», тобто шосту годину ранку.

Тоді прибуття першого ТЗ на ЗП, t_{m_1} , незалежно від технології організації роботи на маршруті, буде о шостій годині ранку, а прибуття другого розраховується наступним чином:

$$t_{m_2} = 6:00 + I_i, \quad (3.4)$$

де I_i – інтервал прибуття кожного наступного ТЗ на ЗП у відповідності із обраною технологією організації роботи на маршруті, хв.

Прибуття третього та кожного наступного ТЗ на ЗП розраховується за формулою

$$t_{m_i} = t_{i-1} + I_i, \quad (3.5)$$

де t_{i-1} – час прибуття попереднього ТЗ на ЗП, год:хв.

Перший та найкращий варіант організації роботи ТЗ на маршруті, який забезпечує мінімум витрат ЧОП на зупинці – це коли ТЗ прибувають на ЗП через рівні проміжки часу (згідно з побудованим планом експерименту плановий інтервал $I = 2;5;10$ хв), а відхилення від планового часу прибуття в експерименті виключено.

В результаті розрахунку, користуючись (3.4) та (3.5), сформовано масив випадкових значень часу прибуття ТЗ на ЗП розмірністю $K=M \times N$. Де $M=300$ – кількість рядків (ланцюгів), які описують при-

буття ТЗ на ЗП для кореспонденції, рівної 300 пасажиром; N – кількість стовпців (довжина ланцюга), що описує тривалість часу пік, тобто з 6:00 до 8:35 для кожної моделі індивідуально в залежності від інтервалу руху ТЗ.

Приклад сформованого масиву для постійного інтервалу руху ТЗ на маршруті, рівному 10 хв, зображено на рисунку 3.3.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	6:00:00	6:10:00	6:20:00	6:30:00	6:40:00	6:50:00	7:00:00	7:10:00	7:20:00	7:30:00	7:40:00	7:50:00	8:00:00	8:10:00	8:20:00	8:30:00
2	6:00:00	6:10:00	6:20:00	6:30:00	6:40:00	6:50:00	7:00:00	7:10:00	7:20:00	7:30:00	7:40:00	7:50:00	8:00:00	8:10:00	8:20:00	8:30:00
3	6:00:00	6:10:00	6:20:00	6:30:00	6:40:00	6:50:00	7:00:00	7:10:00	7:20:00	7:30:00	7:40:00	7:50:00	8:00:00	8:10:00	8:20:00	8:30:00
4	6:00:00	6:10:00	6:20:00	6:30:00	6:40:00	6:50:00	7:00:00	7:10:00	7:20:00	7:30:00	7:40:00	7:50:00	8:00:00	8:10:00	8:20:00	8:30:00
5	6:00:00	6:10:00	6:20:00	6:30:00	6:40:00	6:50:00	7:00:00	7:10:00	7:20:00	7:30:00	7:40:00	7:50:00	8:00:00	8:10:00	8:20:00	8:30:00
297	6:00:00	6:10:00	6:20:00	6:30:00	6:40:00	6:50:00	7:00:00	7:10:00	7:20:00	7:30:00	7:40:00	7:50:00	8:00:00	8:10:00	8:20:00	8:30:00
298	6:00:00	6:10:00	6:20:00	6:30:00	6:40:00	6:50:00	7:00:00	7:10:00	7:20:00	7:30:00	7:40:00	7:50:00	8:00:00	8:10:00	8:20:00	8:30:00
299	6:00:00	6:10:00	6:20:00	6:30:00	6:40:00	6:50:00	7:00:00	7:10:00	7:20:00	7:30:00	7:40:00	7:50:00	8:00:00	8:10:00	8:20:00	8:30:00
300	6:00:00	6:10:00	6:20:00	6:30:00	6:40:00	6:50:00	7:00:00	7:10:00	7:20:00	7:30:00	7:40:00	7:50:00	8:00:00	8:10:00	8:20:00	8:30:00

Рис. 3.3 Масив значень часу прибуття ТЗ на ЗП

В другому варіанті організації роботи ТЗ вважається, що на маршрутах діє заданий розклад руху, а фактичний час прибуття ТЗ на ЗП відхиляється від планового. Прийнято допущення, що величина відхилення від планового часу прибуття розподілена по нормальному закону із математичним очікуванням, рівним 0, та середньоквадратичним відхиленням, рівним одній третині від планового інтервалу. Така дисперсія випадкової величини відхилення прийнята виходячи з правила трьох сигм.

Для такої технології роботи маршрутного транспорту, принцип побудови моделі прибуття ТЗ на ЗП полягає у моделюванні випадкової величини інтервалу руху ТЗ – I_i . Як і в попередньому варіанті використовуючи (3.4) і (3.5), необхідно сформулювати масив K із розрахунковими значеннями часу прибуття ТЗ на ЗП.

В такому разі випадкові значення інтервалів руху ТЗ на маршруті будуть розраховуватись за наступною залежністю

$$I_i = C_{откл} \cdot \mu_i, \quad (3.6)$$

де $C_{откл}$ – середньоквадратичне відхилення інтервалу руху ТЗ на маршруті від планового, хв.

При побудові імітаційної моделі розрахунку ЧОП для третього варіанту організації роботи ТЗ на маршруті, коли в розкладі зустрі-

чаються нерівномірні інтервали руху, було прийнято припущення, що вони можуть набувати лише два значення – мінімальне та максимальне.

Мінімальне значення визначається як планове за умовами проведення експерименту. Для характеристики величини розкиду інтервалів введено допоміжну величину S , яка показує в скільки разів максимальний інтервал більший від мінімального. Тоді максимальне значення інтервалу I_{\max} буде розраховуватись як

$$I_{\max} = I_{\min} \cdot S, \quad (3.7)$$

де I_{\min} – мінімальне значення інтервалу руху ТЗ на маршруті, хв.

Ланцюг моментів прибуття ТЗ на ЗП будується як і в попередньому варіанті, але до попереднього моменту прибуття ТЗ на ЗП мінімальне та максимальне значення інтервалу руху додається по чергово.

Наступною, четвертою технологією організації роботи є відправлення ТЗ від початкового пункту маршруту по ступеню заповнення салону з обмеженням по часу простою на початковій зупинці. Як показано у другому розподілі, така технологія приводить до розподілу Ерланга для інтервалів часу між відправленнями суміжних ТЗ завдяки показниковому закону розподілу інтервалів часу між підходом пасажирів у найпростішому потоці.

Розподіл Ерланга є окремим випадком гамма розподілу з цілим значенням параметру форми. Тому моделювання моментів прибуття ТЗ на ЗП для четвертої технології повинне виконуватися на основі моделювання гамма розподілених випадкових величин за правилами, наведеними у [79].

Гамма закон розподілу випадкової величини описується наступними параметрами [79]:

- параметр масштабу $B > 0$; часто використовується інший параметр, $\lambda = 1/B$;
- параметр форми $C > 0$.

Область значень випадкової величини гамма розподілу знаходиться в межах $0 \leq x < +\infty$. При значенні параметру $C=1$ гамма розподіл збігається із експоненціальним розподілом.

Випадкові значення інтервалу руху генеруються в програмному середовищі Excel. Фактичний час прибуття ТЗ на ЗП розраховується,

використовуючи залежності (3.4), (3.5) шляхом додавання кожного наступного інтервалу руху до попереднього часу прибуття. При цьому, як і в попередніх моделях, час під'їзду першого ТЗ збігається із часом початку роботи маршруту

$$t_{mz_i} = t_{i-1} + \lambda_i, \quad (3.8)$$

де λ_i – випадкове значення інтервалу руху ТЗ на маршруті, розподілене по гамма закону розподілу.

Результатом розрахунку є набір значень часу прибуття ТЗ на ЗП, що описують процес руху маршрутного транспорту згідно з планом експерименту для кореспонденції, що дорівнює трьомстам пасажиром.

З метою перевірки отриманих результатів імітації процесу прибуття ТЗ на ЗП було проведено пошук закону розподілу випадкових значень часу. Перевірка проводилась для 10 серій експерименту і середнього планового інтервалу руху ТЗ, який дорівнює 2, 5, 10 хв.

Порівняльна характеристика параметрів генерування інтервалу руху ТЗ на маршруті наведена в таблиці 3.1. Відхилення планового інтервалу від його змодельованого середнього значення не перевищує 2,3%. Висока точність отриманих результатів моделювання процесу прибуття ТЗ на ЗП має гарантувати адекватність результатів розрахунку ЧОП маршрутного транспорту.

Таблиця 3.1

Результати моделювання процесу руху ТЗ на маршруті

Параметри моделювання	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>P</i>	<i>J</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>P</i>	<i>J</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>P</i>	<i>J</i>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Вхідні	0,87	2,29	---	2	4,37	2,29	---	10	8,75	2,29	---	20
Вихідні												
Номер серії	0,86	2,45	0,63	2,10	4,09	2,47	0,77	10,09	7,45	2,56	0,91	19,07
1	0,90	2,27	0,63	2,04	4,59	2,20	0,54	10,09	6,84	2,69	0,98	18,40
2	0,76	2,52	0,10	1,92	4,67	2,12	0,54	9,89	8,68	2,40	0,68	20,81
3	0,91	2,33	0,51	2,11	4,13	2,44	0,49	10,07	10,07	2,00	0,68	20,12
4	0,95	2,28	0,53	2,17	4,06	2,43	0,58	9,86	9,11	2,20	0,29	20,03
5	0,96	2,06	0,68	1,97	4,59	2,32	0,54	10,64	8,07	2,42	0,79	19,53

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
6	0,82	2,32	0,67	1,90	4,27	2,42	0,60	10,31	9,15	2,12	0,85	19,39
7	0,96	2,16	0,38	2,08	4,78	2,15	0,68	10,26	8,79	2,40	0,58	21,06
8	0,79	2,50	0,44	1,97	4,04	2,47	0,12	9,96	8,79	2,27	0,59	19,94
9	0,92	2,39	0,47	2,20	3,54	2,78	0,38	9,83	8,19	2,59	0,68	21,17
10	0,86	2,45	0,63	2,10	4,09	2,47	0,77	10,09	7,45	2,56	0,91	19,07
Середнє значення	0,88	2,33	0,50	2,05	4,27	2,38	0,52	10,10	8,51	2,36	0,70	19,95
Відхилення, Δ	0,01	0,04	---	0,05	0,10	0,09	---	0,10	0,23	0,08	---	0,05

В результаті перевірки відповідності було встановлено гамма розподіл інтервалу руху ТЗ із значення довірчої ймовірності критерію Пірсона, який знаходиться в межах від 10 до 98 %. Приклад розподілу випадкових значень для серії експерименту із середнім інтервалом руху, який дорівнює 2 хв, наведено на рисунку 3.4.

На наступному етапі імітаційного моделювання ЧОП для кожної пари значень прибуття пасажирів і ТЗ проводиться порівняння за залежністю (3.1). Результатом імітаційного моделювання є розраховане значення середнього ЧОП ТЗ на ЗП для величини кореспонденції рівної 300 пасажирів.

Найгірший варіант організації роботи МПТ – це випадковий рух маршрутних ТЗ. При створенні такої моделі вважається, що інтервал руху ТЗ є розрахунковою похідною величиною від часу оборту та кількості ТЗ що працюють на маршруті.

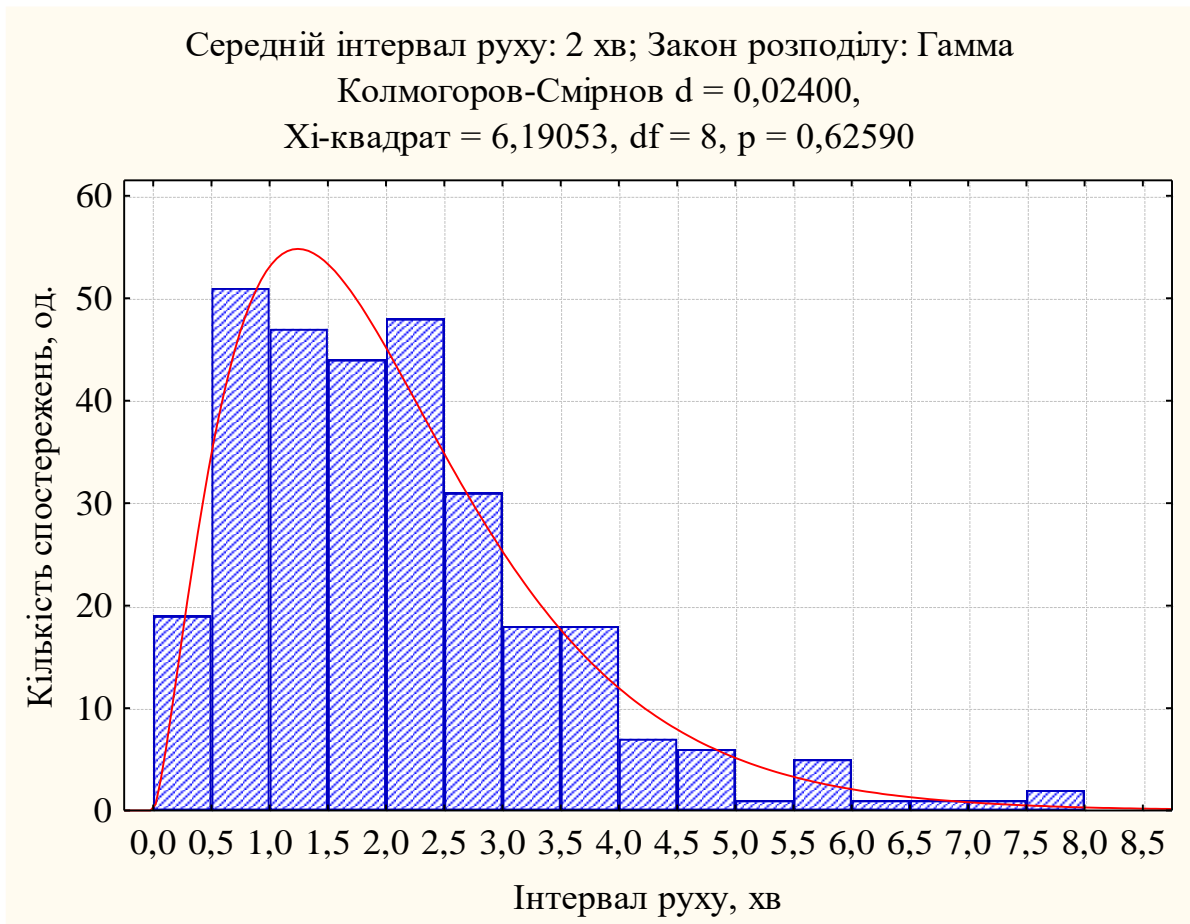


Рис. 3.4 Гамма розподіл згенерованого інтервалу руху ТЗ на маршруті при його плановому значенні – 2хв

В моделі шляхом підбору визначається така комбінація часу оберту і кількості ТЗ, щоб задовольнялися умови плану проведення експерименту, а саме величина планового інтервалу руху маршрутного транспорту. Плановий інтервал руху ТЗ буде розраховуватись як

$$I_{пл} = \frac{T_{об}}{n_{тз}}, \quad (3.9)$$

де $T_{об}$ – час оберту одного ТЗ на маршруті, год:хв,

$n_{тз}$ – кількість ТЗ які працюють на маршруті, од.

Фактично час оберту ТЗ залежить від довжини маршруту в прямому та зворотному напрямках та експлуатаційної швидкості руху транспорту. В імітаційній моделі немає прив'язки до якогось конкретного маршруту, а величина часу оберту задається із наступних міркувань: нижня межа 20 хв – для маршрутів які виконують роль підві-

зного транспорту, наприклад до найближчої станції метрополітену, і верхня межа до 2 год – для найбільш навантажених діаметральних міських маршрутів. Тобто для дотримання мінімального планового інтервалу, який передбачений планом експерименту – 2 хв, при заданому часі оборту 20 хв, необхідно 10 ТЗ.

З метою дотримання випадковості розподілу ТЗ на маршруті, прийнято рішення, що інтервал прибуття на ЗП кожного із десяти ТЗ буде відхилитися від планового на величину розподілену по рівномірному закону розподілу.

Розмірність масиву випадкових значень $K=M \times N$, де $M=300$ – кількість рядків (ланцюгів), які описують прибуття ТЗ на ЗП для кореспонденції рівної 300 пасажирів, а N – кількість ТЗ. Фактичний інтервал прибуття ТЗ на ЗП буде розраховуватись як

$$t_{mz_i} = t_{i-1} + \xi_i, \quad (3.10)$$

де ξ_i – випадкова величина розподілена по рівномірному закону розподілу. Розрахунок величини ЧОП проводиться за процедурою як і в попередніх імітаційних моделях.

Заключним етапом проведення імітаційного моделювання ЧОП маршрутного транспорту є перевірка всіх отриманих результатів на адекватність. Така перевірка виконується шляхом порівняння значення ЧОП отриманого на основі імітаційного моделювання із розрахованим за розробленою аналітичною залежністю. Прийнято, що якщо різниця між шуканими величинами складатиме менш ніж 10%, то можна із високою впевненістю стверджувати про високу точність як результатів імітаційного, так і аналітичного моделювання.

Іншим способом перевірки на адекватність імітаційного моделювання є пошук закону розподілу випадкової величини відхилень експериментальних оцінок від теоретичних. В такому випадку повинна підтвердитись гіпотеза про нормальність розподілу величини відхилення.

В розроблених імітаційних моделях оцінка ЧОП надається як середнє значення для 300 пасажирів. Таким чином одна серія експерименту дає одну оцінку ЧОП та одне значення відхилення експериментальної величини від теоретично розрахованої. З метою пошуку закону розподілу випадкової величини відхилення кожна серія експерименту генерувалась 300 разів, таким чином відхилення накопи-

чувались в окремий масив даних, який в подальшому імпортувався в програмне середовище STATISTICA.

Для усіх імітаційних моделей підтвердилась гіпотеза про нормальність розподілу величини відхилення. Результати імітаційного моделювання та перевірки на адекватність розроблених імітаційних моделей наведено у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Результати імітаційного моделювання ЧОП ТЗ на ЗП МПТ та результати перевірки адекватності отриманих даних

Спосіб організації роботи ТЗ на маршруті	Середній інтервал, хв	Середній час очікування, хв		Відхилення експериментальних оцінок від теоретичних, хв		Вид закону розподілу випадкової величини ЧОП
		по моделі	по експерименту	середнє	Середньо-квадратичне відхилення	
1	2	3	4	5	6	7
Рівний інтервал руху ТЗ на маршруті без відхилень від планового	2	1	0,98	-0,002	0,04	Нормальний
	5	2,5	2,45	0,004	0,159	
	10	5	5,03	-0,025	0,533	
Відхилення прибуття ТЗ на ЗП від планового	2	1,05	1,08	-0,001	0,039	Нормальний
	5	2,63	2,6	-0,003	0,123	
	10	5,28	5,3	0,033	0,327	
Нерівномірний інтервал руху ТЗ на маршруті	2	1,03	1,08	-0,008	0,052	Нормальний
	5	2,6	2,65	0,006	0,225	
	10	5,2	5,35	0,071	0,8	

1	2	3	4	5	6	7
Відправлення із ЗП слідом за попереднім по наповненню з обмеженням часу простою	2	1,09	1,1	0,002	0,021	Нормальний
	5	2,63	2,623	-0,007	0,038	
	10	5,28	5,333	0,053	0,111	
Відправлення із ЗП слідом за попереднім по наповненню салону	2	1,1	1,13	-0,002	0,042	Нормальний
	5	2,75	2,76	-0,003	0,129	
	10	5,5	5,46	-0,057	0,364	
Випадковий характер руху ТЗ	2	1,96	1,93	-0,013	0,113	Нормальний
	5	4,8	4,55	0,008	0,243	
	10	9,23	9,35	0,031	0,487	

Приклад побудованої гістограми розподілу для імітаційної моделі ЧОП при рівному інтервалі без відхилень, при плановому інтервалі 5 хв, наведено на рисунку 3.5.

Середня величина відхилення експериментальних значень від теоретичних не перевищує 0,1 хв, випадкова величина розбіжності оцінок у всіх випадках розподілена по нормальному закону із значенням ймовірності критерію χ^2 $P > 5$ %, що свідчить про адекватність побудованих теоретичних моделей та можливість їх використання для оцінки середнього ЧОП в ММ в цілому.

Метою проведення наступного обстеження є визначення фактичного значення тривалості очікування пасажирами ТЗ на міських зупинках, у випадку коли їм відомий розклад руху ТЗ на маршруті.

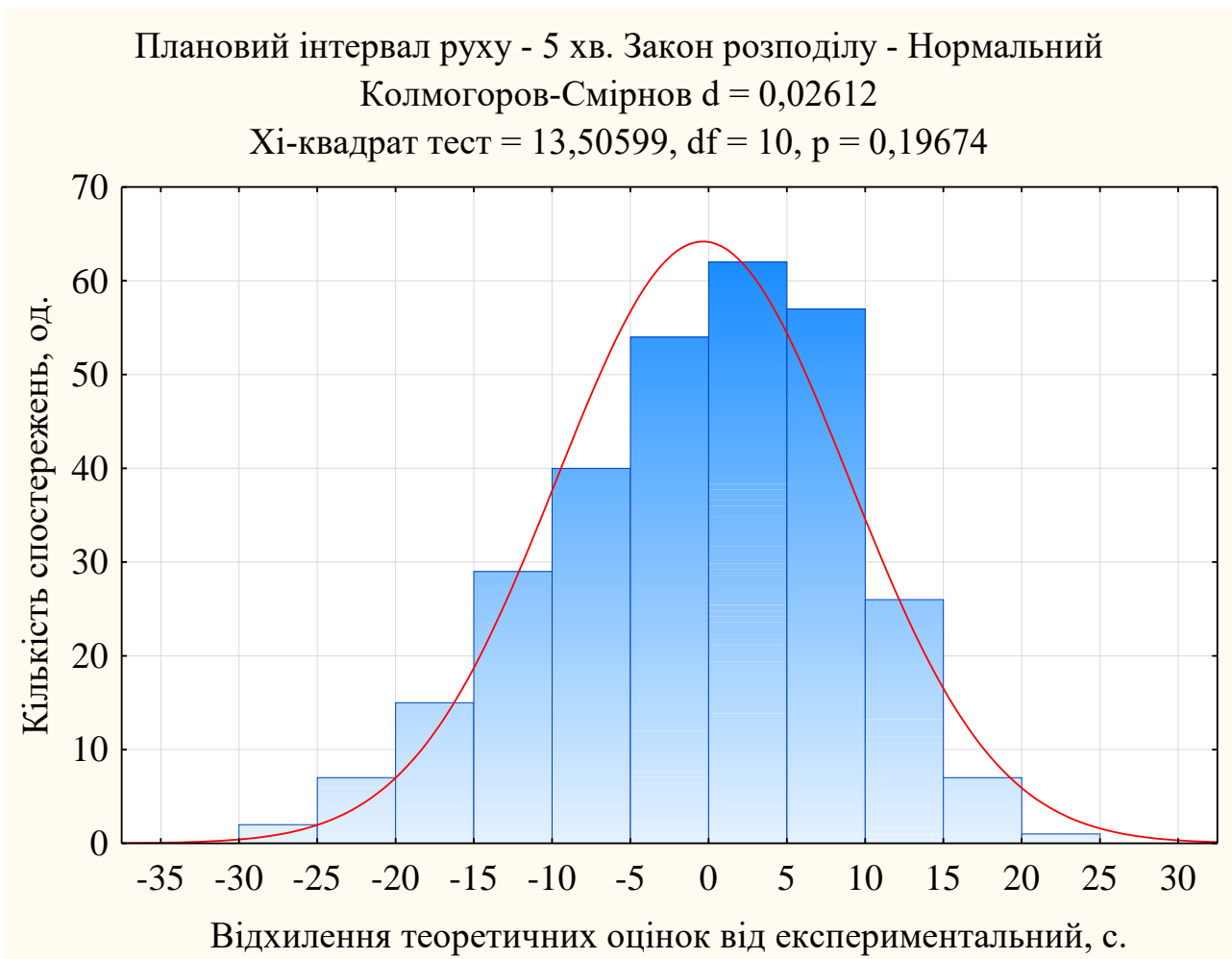


Рис. 3.5 – Гістограма розподілу випадкової величини відхилення експериментальних оцінок від теоретичних для моделі «Рівний інтервал руху без відхилень» при плановому інтервалі 5 хв

3.3 Обстеження фактичного часу очікування пасажирями транспортних засобів на зупиночних пунктах міських маршрутів

Складність отримання емпіричних значень ЧОП полягає у випадковості досліджуваного процесу та наявності чималої кількості форм організації роботи рухомого складу на маршрутах, які виникли в процесі взаємодії між перевізниками та органами місцевого самоврядування. До того ж, перевізники не забезпечують пасажирів достатнім рівнем інформаційного забезпечення про режими та графіки руху ТЗ на маршрутах, а при їх наявності виникає проблема виконання водіями маршрутних ТЗ цих графіків.

Рівень інформаційного забезпечення пасажирів може бути обмежений двома крайніми випадками:

- пасажирів мають повне уявлення про режим та розклад руху ТЗ на маршруті;

- пасажирів не мають уяви про характер руху ТЗ на маршруті.

У першому випадку тривалість очікування МПТ на ЗП визначається індивідуально пасажиром. Кожен пасажир самостійно планує поїздку та заздалегідь прогнозує можливий час очікування транспорту на зупинці.

У другому випадку тривалість очікування є випадковою величиною, яка залежить від параметрів руху ТЗ на маршруті та характеристик потоку підходу пасажирів до ЗП МПТ. В дійсності умови функціонування ММ міст задовольняють пасажирів деяким проміжним рівнем інформаційного забезпечення про параметри роботи міського транспорту.

Метою проведення обстеження є визначення фактичного значення тривалості очікування пасажирів ТЗ на міських зупинках, у випадку коли пасажирів усвідомлені про розклад руху ТЗ на маршруті. Відповідно об'єктом дослідження є тривалість очікування пасажирів прибуття ТЗ на ЗП.

Специфічність проведення такого роду обстеження полягає у тому, що міські маршрутні системи функціонують зазвичай із непередбачуваними по тривалості відхиленнями руху ТЗ на маршруті від затвердженого графіку або взагалі без жорсткого графіку руху, а рівень обізнаності пасажирів про режими роботи рухомого складу далекий від ідеалу. В таких умовах, для фіксування емпіричних значень ЧОП ТЗ на ЗП необхідно обрати маршрути, місце та час проведення обстеження таким чином, щоб підхід пасажирів до ЗП міського транспорту відбувався гарантовано усвідомлено під плановий час прибуття ТЗ.

У якості методу вирішення поставленої мети обрано натурний пасивний експеримент, що проводився на реальних міських пасажирських маршрутах, які обслуговують населення міста Харкова. На етапі організації проведення обстеження зроблено два припущення:

- по-перше – найбільш ймовірно пасажирів обізнані про розклад руху ТЗ на маршруті, які здійснюють посадку на кінцевій, другій чи третій зупинці у напрямку слідування маршруту;

- по-друге – пасажирів точно знають розклад руху та ним користуються здійснюючи поїздки на перших рейсах до ранкового пікового періоду.

В основному респондентами є контингент пасажирів-працівників, які слідуєть на першу ранкову зміну різного роду підприємств чи інших об'єктів прикладання праці.

Дійсно, спостерігаючи за поведінкою пасажирів на кінцевому ЗП маршруту, виявлено, що вони підходять на зупинку із усвідомленням графіка руху під момент прибуття ТЗ. Вранці це із 5:00 до 6:00 на перші рейси відправлення транспорту і їх час очікування як наслідок має мінімальні значення. Така ситуація спостерігалася в Харкові на автобусних маршрутах: 119, 88, 221; трамвайних: 20, 27, 6, 5, 8 та троллейбусних 40 і 2.

Для проведення обстеження було обрано візуально-табличний метод та розроблена картка для фіксування значень ЧОП, рисунок 3.6.

Перевагою обраного методу дослідження є його низька трудомісткість з точки зору організації та проведення обстеження [1, 80-83]. Простота його реалізації дає змогу швидко отримувати об'єктивні дані про величину очікування пасажирів ТЗ на ЗП, які в подальшому можуть використовуватися для моделювання цієї величини.

Під час проведення обстеження обліковець розміщується безпосередньо на обраному ЗП в максимально оглядовому місці. Спочатку в розробленій картці записується дата, напрямок руху, та назва ЗП на якому проводиться обстеження.

Спостерігаючи за процесом підходу обліковець фіксує в картці обстеження час прибуття та кількість пасажирів, що прибули на ЗП. Важливо візуально, за певними ознаками (колір та стиль одягу, вік, стать, головний убір, наявність сумки чи рюкзака та інше) запам'ятати пасажирів і приналежність його до зафіксованого в картці часу прибуття.

Для спрощення ідентифікації в картці напроти часу прибуття пасажирів можна робити робочі помітки. Це необхідно у випадку, коли пасажир не скористується можливістю поїздки на першому ТЗ, що прибуде до ЗП. Тоді тривалість його очікування продовжується і завершиться в момент прибуття наступного ТЗ, який задовольнить ціль поїздки.

КАРТКА ОБСТЕЖЕННЯ ЧАСУ ОЧІКУВАННЯ ПАСАЖИРІВ

Дата _____ Назва зупиночного пункту _____
Напрямок руху _____

Час підходу пасажира до ЗП	Кількість пасажирів, що підійшли до ЗП	Час прибуття ТЗ	Номер маршруту	Час очікування

П. І. Б. обліковця _____ Підпис _____

Рис. 3.6 Картка обстеження ЧОП

Така ситуація спостерігається на ЗП через які проходять декілька маршрутів із різними напрямками, вартістю поїздки чи видами транспорту. Пасажири, які були присутні до прибуття обліковця не можуть бути враховані в обстежені, так як їх точний час прибуття на ЗП невідомий.

В момент наближення ТЗ до ЗП фіксується номер маршруту та точний час його прибуття. Далі обліковець спостерігає які пасажири, що враховані в обстежені, а їх час прибуття на ЗП зафіксовано в обліковій картці, здійснили посадку в ТЗ. Напроти часу прибуття пасажера, який виконує посадку в ТЗ, у відповідній колонці, проставляється час прибуття ТЗ та номер маршруту.

Час підходу пасажирів, які по тим чи іншим причинам відмовились здійснювати посадку і залишились на ЗП очікувати іншого ТЗ,

необхідно ідентифікувати та враховувати під час здійснення їх посадки на наступний ТЗ, який влаштовуватиме їх ціль поїздки.

Підхід пасажирів на ЗП у ранковий час характеризується низькою інтенсивністю і часто носить груповий характер. Кількість респондентів в одній групі не перевищує чотирьох осіб. Великий інтервал руху ТЗ, який характерний для ранкового допікового періоду, та той факт, що підхід пасажирів виконується під момент прибуття ТЗ із мінімальним очікуванням, надають можливість обліковцю в інтервали вільного часу підрахувати та записати в картку обстеження ЧОП попереднього спостереження.

Безпосередньо ЧОП розраховується як різниця між часом прибуття ТЗ на ЗП та часом прибуття пасажира (3.1). Приклад заповненої картки обстеження, що проведене 11.09.12 р. на трамвайному маршруті № 20 та автобусних №199, №88 на зупинці «Шкільна» наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

Результати проведення обстеження ЧОП на зупинці «Шкільна»

Час підходу пасажира до ЗП	Кількість пасажирів, що підійшли до ЗП	Час прибуття ТЗ	Номер маршруту	Час очікування
1	2	3	4	5
5:04	1	5:14	20	0:10
5:09	1	5:14	20	0:05
5:11	1	5:14	20	0:03
5:14	1	5:14	20	0:00
5:20	1	5:34	119	0:14
5:24	1	5:34	119	0:10
5:26	1	5:34	119	0:08
5:28	2	5:34	119	0:06
5:29	1	5:34	119	0:05
5:31	1	5:34	119	0:03
5:33	1	5:34	119	0:01
5:34	1	5:34	119	0:00
5:45	1	5:53	88	0:08
5:46	1	5:53	88	0:07
5:50	2	5:53	88	0:03
5:51	3	5:53	88	0:02
5:54	1	6:04	20	0:10

1	2	3	4	5
5:55	2	6:04	20	0:09
5:56	1	6:04	20	0:08
5:59	1	6:04	20	0:05
6:01	1	6:04	20	0:03
6:02	5	6:04	20	0:02
5:04	1	5:14	20	0:10
5:09	1	5:14	20	0:05
5:11	1	5:14	20	0:03
5:14	1	5:14	20	0:00

Наступним етапом дослідження ЧОП при відомому розкладі руху є розрахунок середнього його значення по кожному маршруту окремо та в цілому. Розроблена робоча гіпотеза, яка потребує перевірки. Її суть полягає у наступному – ЧОП у випадку, коли пасажери усвідомлені про розклад руху описується експоненціальним законом розподілу випадкової величини, на відмінну від очікування пасажирів при невідомому розкладі руху.

В загальному обсязі, обстеження ЧОП проведено протягом 15 робочих днів на 12 міських маршрутах, всього отримано 568 емпіричних значень ЧОП. За результатами проведення обстеження оброблено картки та згруповано дані за приналежністю до місця проведення обстеження та конкретного маршруту. По кожному маршруту і напрямку окремо розраховано середній ЧОП та середній інтервал руху ТЗ, таблиця 3.4.

Таблиця 3.4

Результати проведення обстеження ЧОП при відомому розкладі руху

Маршрут	Місце проведення обстеження	Середній ЧОП, хв	Середній інтервал руху ТЗ на маршруті, хв
1	2	3	4
ТЛ2	Коло тролейбусів	2,08	30,00
ТЛ40	Коло тролейбусів	9,18	30,00
ТМ6	Кінний ринок	5,15	13,18
ТМ5	Кінний ринок	4,85	13,75

1	2	3	4
ТМ8	Кінний ринок/Із Салтівки	4,37	13,75
ТМ8	Кінний ринок/На Салтівку	7,25	31,50
ТМ27	Кінний ринок/Із Салтівки	5,16	13,84
ТМ27	Кінний ринок/На Салтівку	5,41	13,22
ТМ20	Зупинка Шкільна	5,33	49,33
АВ221	Зупинка Шкільна	6,33	23,00
АВ119	Зупинка Шкільна	9,69	36,00
АВ 88	Зупинка Шкільна	3,86	50,00
---	---	5,72	26,46

Кінцевим результатом є розраховане середнє значення ЧОП для 12 обстежених маршрутів. Для проведеного обстеження воно становить 5,72 хв, при середньому фактичному інтервалі руху ТЗ – 26,46 хв. Визначено, що випадкова величина ЧОП для охоплених обстеженням маршрутів розподілена за показниковим законом розподілу із ймовірністю критерію χ^2 $P = 7\%$.

Перевірка гіпотези про експоненціальний розподіл випадкових значень ЧОП при відомому розкладі руху ТЗ на маршруті підтвердилася для усіх спостережень.

Приклад побудованої гістограми розподілу ЧОП для трамвайного маршруту №27 та тролейбусного № 2 наведено на рисунку 3.7 та 3.8 відповідно.

Розраховане середнє значення часу очікування використовується у подальшому для порівняння з часом очікування при інтервальної технології та визначення доцільності переходу обслуговування пасажирів від інтервальної технології до технології за відомим розкладом руху.

Маршрут: Трамвай №27, Закон розподілу: Показниковий
 Колмогоров-Смірнов $d = 0,076$,
 Хі-квадрат = 10,74337, $df = 5$, $p = 0,057$

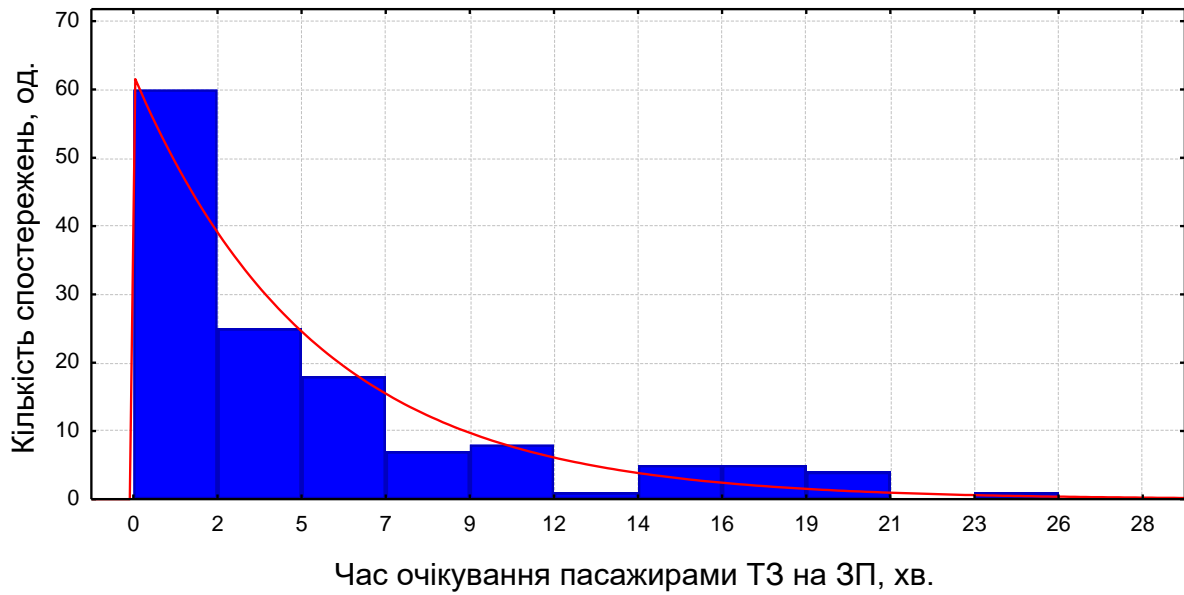


Рис. 3.7 Гістограма розподілу випадкових значень ЧОП на трамвайному маршруті № 27

Маршрут: Тролейбус №2
 Закон розподілу: Показниковий
 Колмогоров-Смірнов $d = 0,077$
 Хі-квадрат = 0,86585, $df = 1$, $p = 0,35$

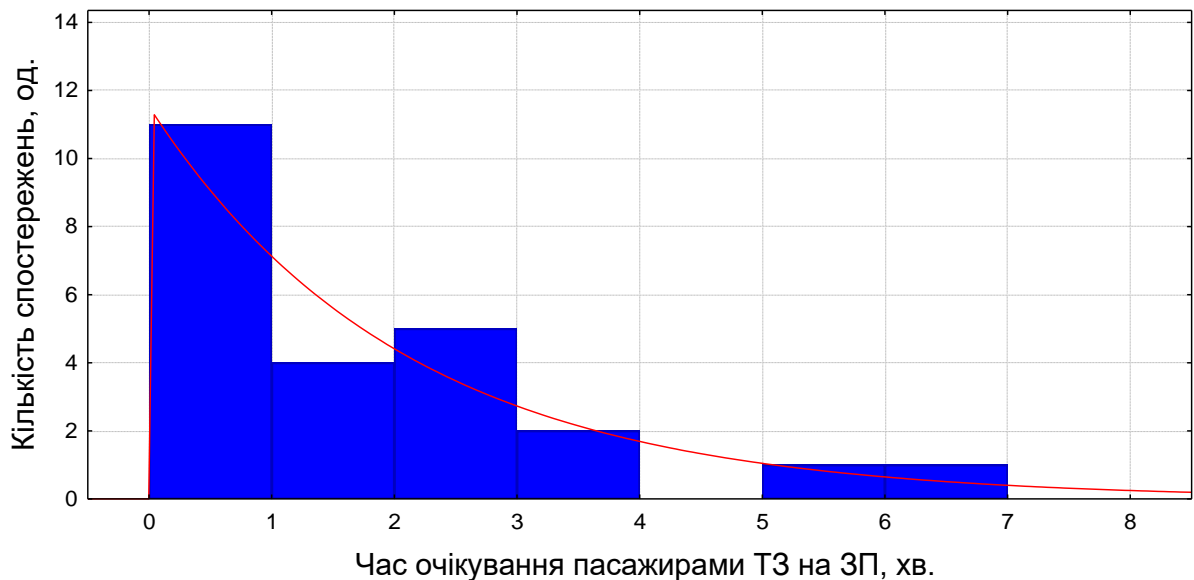


Рис. 3.8 Гістограма розподілу випадкових значень ЧОП на троллейбусному маршруті № 2

3.4 Параметри функціонування маршрутів вуличних видів транспорту у місті Харкові

В умовах широкого розгалуження міських маршрутних мереж ситуація коли через ЗП проходить лише один маршрут є можливою але малоймовірною, а наявність у пасажирів вибору не тільки маршруту слідування, а й виду транспорту на спільних ЗП міських маршрутів, понукає до розробки апарату для розрахунку ЧОП для маршрутної системи міста.

В розділі «Теоретичні основи моделювання часу очікування пасажирів громадського транспорту» представлено аналітичну модель, яка дозволяє розрахувати ЧОП враховуючи комплексну взаємодію усіх маршрутів та видів транспорту, які функціонують в місті. При цьому вважається, що МПТ працює за інтервальною технологією обслуговування пасажирів.

На цьому етапі досліджень вирішується задача, яка полягає в побудові програмної реалізації аналітичної моделі (2.39) з прогнозування ЧОП для ММ міста в цілому. Для такої реалізації необхідно отримати повну характеристику функціонування маршрутів та ЗП міста Харкова. Отримані таким чином результати дозволять надати кількісну оцінку ефективності переходу до технології обслуговування пасажирів за відомим розкладом руху.

Основним інформаційним носієм параметрів функціонування ММ м. Харкова має слугувати її транспортна модель, яка побудована в програмному середовищі VISUM. Необхідні для побудови обчислювальної моделі параметри функціонування ММ м. Харкова можуть бути отримані шляхом експортування бази даних з цього програмного продукту.

До таких параметрів відносяться:

- перелік маршрутів усіх видів транспорту із закодованими номерами ЗП які обслуговуються маршрутом;
- середній інтервал руху ТЗ на маршрутах в ранковий піковий період;
- перелік ЗП із характеристикою приналежності до транспортного району та кількості маршрутів які обслуговують зупинку;
- ємності транспортних районів, матриця кореспонденції ранкового часу «пік».

Всього ММ м. Харкова налічує 181 маршрут:

- 59 автобусних;
- 82 маршрутних таксі;
- 24 тролейбусних;
- 12 трамвайних
- 3 лінії метрополітену.

Всього МПТ обслуговується 491 ЗП включаючи станції метрополітену.

Протягом останніх років 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. Грунтуючись на натурних спостереженнях організацію роботи МПТ в Харкові можна віднести до технології, коли ТЗ відправляються від кінцевого ЗП після наповнення салону пасажирами до якогось визначеного водієм рівня або через максимальний можливий інтервал часу.

Для отриманих емпіричних даних руху ТЗ, шляхом підбору, по кожному маршруту окремо обрано закон розподілу випадкової величини інтервалу руху. Для всіх випадків найбільш прийнятним виявився розподіл по гамма закону. Значення довірчої ймовірності критерію Пірсона коливаються в діапазоні 0,05 – 0,84 %, параметри закону розподілу по кожному маршруту наведено у таблиці 3.5, на рисунку 3.9 наведено гістограму закону розподілу інтервалу руху ТЗ для автобусного маршруту № 263.

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 з визначення середнього часу очікування пасажирами ТЗ у ММ міста Харкова, таблиця 3.5.

В результаті проведення регресійного аналізу виявлено, що параметр масштабу має дуже тісний зв'язок із інтервалом руху ТЗ на маршруті, тому модель забезпечує достатню точність прогнозування параметру масштабу

$$B = 0,437 \cdot J, \quad (3.11)$$

де B – параметр масштабу гамма-розподілу інтервалу прибуття ТЗ на ЗП;

J – заданий інтервал руху ТЗ на маршруті, хв.

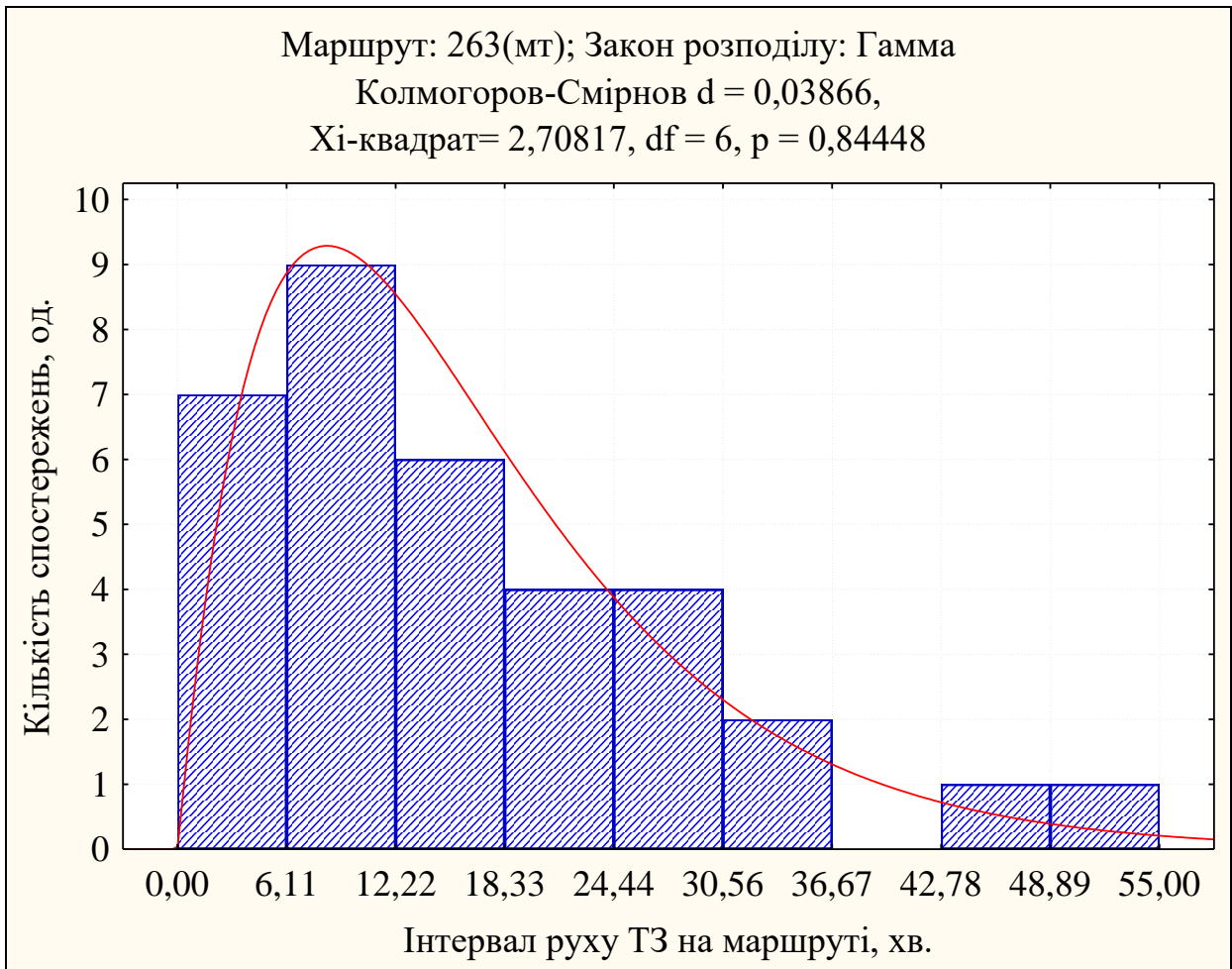


Рис. 3.9 Гістограма закону розподілу інтервалу руху транспортних засобів на автобусному маршруті № 263 м. Харкова

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 гамма-розподілу

$$C = \frac{J}{B}, \quad (3.12)$$

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

Таблиця 3.5

Результати дослідження фактичного інтервалу руху ТЗ на міських маршрутах

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

Проведена оцінка взаємозв'язку між ЧОП та інтервалом руху ТЗ на маршруті за допомогою регресійного аналізу, параметрів форми та масштабу гама-розподілу показала, що множинний коефіцієнт кореляції регресійної моделі масштабу та форми має значення практично рівне одиниці. Це підтверджує високий рівень зв'язку планового інтервалу руху ТЗ на маршруті із ЧОП. Вільний член регресії, для побудованих моделей масштабу та форми гама розподілу, виявився статистично не вагомим. Характерним для даного дослідження є те, що основним вхідним параметром імітаційної моделі ЧОП є інтервал руху. Інші показники процесу перевезення пасажирів такі як: час початку роботи маршруту; фактичний час виходу з дому; тривалість підходу пасажирів до ЗП, тривалість під'їзду ТЗ, не впливають на величину ЧОП.

Якісні характеристики моделей параметрів розподілу інтервалу руху ТЗ на маршруті наведено у таблиці 3.6.

Таблиця 3.6

Характеристики регресивних моделей параметрів 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 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

Отриманні таким чином характеристики функціонування маршрутів та ЗП м. Харкова створюють можливість для проведення розрахунків середнього часу очікування пасажирами ТЗ на зупиночних пунктах маршрутів у ранковий період «пік» для міста в цілому.

Висновки

1. Єдиним практично можливим способом перевірки адекватності аналітичних моделей ЧОП ТЗ на ЗП міських маршрутів є проведення імітаційного експерименту в якому відображаються реальні процеси взаємодії пасажирів та ТЗ на зупиночних пунктах. Найбільш придатними для імітаційного експерименту внаслідок високій регулярності та значної обізнаності пасажирів про параметри роботи маршрутів являються трудові пересування з дому на роботу.

2. Критерієм адекватності аналітичних залежностей ЧОП являються нормальний розподіл відхилень експериментальних значень відносно аналітичного ЧОП та близькість математичного очікування відхилень до 0. Перевірка всіх аналітичних моделей ЧОП на маршруті підтвердила їх точність та можливість використання у подальших розрахунках. Максимальне відхилення експериментальних оцінок від теоретичних значень ЧОП склало 0,071 хв при 10-ти хвилинному інтервалі, тобто біля 1.3 %. Розподіл відхилень виявився у всіх випадках нормальним.

3. Результати проведення обстеження ЧОП при відомому розкладі руху на 12-ти трамвайних, тролейбусних та автобусних маршрутах м. Харкова показав, що ЧОП у випадку, коли пасажир обізнаний про час відправлення ТЗ від ЗП розподілене за показниковим законом з параметром 0,175 та середнім значенням 5,72 хв при середньому фактичному інтервалі руху ТЗ на обстежених маршрутах – 26,46 хв.

4. Існуючий рівень організації роботи маршрутів вуличних видів транспорту, сформований власниками транспортних підприємств та складними умовами руху ТЗ на вулично-дорожній мережі (ВДМ) у найбільшому ступені відповідає умовам роботи без заздальгідь розробленого розкладу руху або зі змінним інтервалом руху у розкладі. Інтервал руху на маршрутах при цьому розподілений згідно з гамма розподілом з параметром масштабу лінійно залежним від середнього інтервалу руху ТЗ на маршруті.

4 ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ПЕРЕХОДУ ДО ТЕХНОЛОГІЇ ОБСЛУГОВУВАННЯ ПАСАЖИРІВ ЗА ВІДОМИМ РОЗКЛАДОМ РУХУ

В результаті розробки аналітичного апарату визначення ЧОП маршрутних ТЗ на ЗП при різних способах організації руху ТЗ на маршрутах і різних технологіях обслуговування пасажирів, а також проведення експериментальних досліджень з визначення ЧОП встановлено, що потенційно більшу ефективність, у порівнянні з іншими, має технологія обслуговування пасажирів за відомим розкладом руху. Перехід до неї доцільний у будь-якій маршрутній системі за виключенням тих, де такий перехід уже відбувся.

Впровадження такої технології має зекономити час пересування пасажирів у ММ за рахунок скорочення тривалості фази очікування ТЗ протягом розрахункового періоду (доба, місяць чи рік). Результатом такої економії власного часу пасажирів є соціальний ефект, для якого може бути визначена вартісна оцінка. Це дозволить порівняти позитивний ефект цього заходу з витратами на його реалізацію.

4.1 Обґрунтування методики переходу до технології обслуговування пасажирів за відомим розкладом руху

Основними завданнями при переході з інтервальної технології на обслуговування пасажирів ГТ за розкладом руху є, по-перше, власне організація роботи маршрутних ТЗ з дотриманням заздалегідь сформованого розкладу руху на маршрутах та, по-друге, організація ефективної системи ознайомлення пасажирів з цим розкладом, яка забезпечить високий рівень обізнаності пасажирів про розклад руху.

Розроблені та експериментально перевірені в роботі моделі надають адекватну оцінку ЧОП ТЗ для будь-якого виду транспорту, але реальні умови функціонування маршрутів електротранспорту та автобусних маршрутів у містах України суттєво відрізняються між собою з точки зору наявності дійсних розкладів руху на маршрутах.

Для всіх видів електротранспорту у всіх містах України характерна комунальна або державна форма власності підприємств, що обслуговують міські маршрути. Для них також бов'язковою є наявність маршрутного розкладу. Перетворення останнього у зрозумілий та

корисний для пасажирів розклад руху по зупинках є простою технічною операцією. Тобто при розгляді електротранспорту можна вважати, що перше завдання переходу, тобто організація роботи маршрутних ТЗ з дотриманням заздалегідь сформованого розкладу руху на маршрутах, виконується автоматично.

Інша ситуація виникає, коли справа стосується автобусних маршрутів, які обслуговуються приватними підприємствами, з більш вільним, у певному сенсі навіть недбалим, ставленням до організації роботи ТЗ на маршруті та до розкладу руху на ньому.

Слід розуміти, що згідно з правилами перевезення пасажирів [84], умовами організації перевезень пасажирів [85] та порядком розроблення та затвердження паспорта автобусного маршруту [86] жодний міський маршрут не може працювати без заздалегідь розробленого розкладу руху ТЗ на ньому. В діючих нормативах відрізняються лише вимоги до ступеню деталізації такого розкладу для звичайного режиму руху ТЗ та роботи ТЗ в режимі маршрутного таксі.

В останньому випадку для кожного рейсу визначаються лише час відправлення від початкової зупинки та час закінчення рейсів, що потребує додаткових зусиль при створенні необхідного для переходу на новий спосіб обслуговування пасажирів розкладу руху ТЗ на зупинках та створює перешкоди при організації контролю за дотриманням маршрутного розкладу руху.

Взагалі, робота ТЗ у режимі маршрутного таксі унеможлиблює реалізацію технології обслуговування пасажирів за відомим розкладом руху внаслідок відсутності останнього. Проте, цей режим руху не створює значних проблем для організації чіткої роботи міських маршрутів у теперішній час, оскільки застосування режиму маршрутного таксі для роботи автобусних маршрутів у свій час було прийняте для надання більшої комерційної свободи підприємствам, що обслуговують міські маршрути. Він надавав можливість встановити власні тарифи на перевезення пасажирів та організувати прибуткові перевезення в умовах дефіциту рухомого складу.

Цей час вже давно минув, а розроблена Міністерством інфраструктури методика розрахунку тарифів на автобусних маршрутах [87] є єдиною та не виділяє окремі категорії маршрутів. Також не привносить особливих позитивних результатів можливість посадки та висадки пасажирів маршрутного таксі поза передбачених паспортом маршруту ЗП, оскільки це суттєво зменшує швидкість руху ТЗ на

маршрутах та може вважатися доцільним лише для мікроавтобусів, які у багатьох містах зараз є скоріше виключенням, ніж правилом.

Тому зараз цей режим вносить більшою мірою безлад у роботу міських маршрутів, ніж надає додаткові можливості замовнику перевезень на них, а тому може бути безболісно змінений на звичайний режим.

Але й автобусні маршрути створюють більш складну проблему для переходу на обслуговування пасажирів за розкладом руху, ніж електротранспорт, так як загальною для багатьох українських міст є ситуація, за якої розклад руху ТЗ на маршруті є умовним, розробленим лише задля отримання дозволу на роботу на маршруті. При цьому його реальне виконання водіями ТЗ не контролюється ані керівництвом підприємства, ані замовником перевезень на маршрутах.

Ця ситуація вимагає визначення шляхів переходу від саморегульованої роботи ТЗ на маршрутах, при якій спосіб відправлення ТЗ від початкової зупинки визначається взаємовідносинами між водіями на маршруті, до заздалегідь визначеного розкладу руху на маршруті, який є основою для створення розкладу руху для пасажирів.

Ефективним засобом подолання цієї проблеми є організація громадського контролю за дотриманням водіями розкладів руху на маршрутах з боку пасажирів. Для цього пасажирам необхідно надати інформацію про час прибуття та відправлення кожного ТЗ на зупинку, а також можливість для безкоштовних повідомлень за допомогою телефону гарячої лінії відповідальним працівникам замовника перевезень про випадки несвоєчасного прибуття ТЗ на зупинку. Так як надання інформації про час прибуття та відправлення кожного ТЗ на зупинку є обов'язковою умовою організації обслуговування пасажирів за розкладом руху, організація громадського контролю роботи міських маршрутів потребує витрат лише на створення та обслуговування телефонної безкоштовної гарячої лінії.

У зв'язку з цим в даному дослідженні вважається, що для чіткої організації роботи автобусних маршрутів слід виконати два кроки, які є організаційними та не потребують значних матеріальних ресурсів для їх реалізації: перехід всіх автобусних маршрутів на роботу у звичайному режимі руху та організація громадського контролю за дотриманням водіями розкладів руху на маршрутах.

Розробка графіків руху може виконуватися силами виконавця або замовника перевезень. В останньому випадку виникає можли-

вість узгодження розкладів руху різних маршрутів з метою скорочення часу пересадки між ними. Складання розкладу руху ТЗ на маршруті є комплексною задачею, що передбачає не лише визначення часу прибуття ТЗ на зупинку та відправлення від неї, але й відображення цього часу у декількох видах розкладу.

Серед існуючих видів розкладу [88] для міських пасажирських систем виділяються наступні типи:

- маршрутний;
- робочий;
- станційний;
- інформаційний (пасажирський).

Основним видом розкладу, складання якого вимагає найбільше зусиль та за допомогою якого створюються всі інші види розкладів, є маршрутний розклад. Він розробляється та слугує інформацією для організації роботи всіх експлуатаційних та технічних служб транспортного підприємства. Розклад руху по маршруту повинен складатися таким чином, щоб дотримувалися вимоги щодо організації праці водіїв.

Правильно складений маршрутний розклад має забезпечувати:

- найменший час очікування пасажирами транспорту та час їх поїздки;
- рівномірне наповнення рухомого складу на всіх перегонах маршруту;
- високу регулярність і швидкість сполучення;
- ефективність використання рухомого складу;
- нормальний режим роботи водіїв.

Маршрутний розклад повинен містити:

- пункти організації руху (початкові, кінцеві та проміжні ЗП, місця надання обідніх перерв, внутрішньо-змінних перерв, заправки рухомого складу, контрольні пункти маршруту);
- розклад виходів ТЗ на маршрут (час виїзду з парку, прибуття на маршрут, вибуття з маршруту, повернення в парк, обідньої перерви (відстою), перезміни водіїв);
- розклад прибуття і відправлення ТЗ із ЗП для кожного рейсу;
- зведені дані про виконання рейсів на маршруті за день (норми часу на рейс за періодами доби і кількість рейсів за напрямками, нульові і продуктивні пробіги);
- зведені дані про роботу ТЗ за день (кількість одиниць всього і

по періодах доби, число виходів по змінах, інтервали руху, загальний пробіг, автомобіле-години, експлуатаційна швидкість).

На підставі маршрутного розкладу складається робочий розклад на кожен виїзд ТЗ, яким користуються водії та контролюючі структури підприємства. Робочий розклад видається водієві при виході на лінію для дотримання регулярності руху, тобто є обов'язковим до виконання водіями ТЗ.

У ньому повинна міститися наступна інформація:

- час виїзду з гаража і прибуття на початковий ЗП;
- час початку руху по маршруту для кожного рейсу;
- тривалість зміни, час обіду і відстою (якщо вони є);
- найменування контрольних пунктів і час їх проходження по кожному рейсу;
- пункт і час закінчення руху (перезміни);
- час прибуття в гараж.

Робочий розклад складається для кожного виходу ТЗ на маршрут. Зміст робочого розкладу ґрунтується на інформації з маршрутного розкладу.

Наступним є станційний розклад, який використовується на пунктах диспетчерського контролю. Станційний розклад являє собою витяжку із маршрутного розкладу, використовується виключно для організації стаціонарних пунктів контролю руху ТЗ на маршруті. Він складається в табличній формі, де по вертикалі заносять всі рейси, по горизонталі – час прибуття і відправлення по кожному рейсу.

Для відома пасажирів на кінцевих і проміжних пунктах маршруту, на автовокзалах та автостанціях розміщується розклад для пасажирів. На початкових ЗП в інформаційному розкладі вказується точний час початку руху транспортного засобу для кожного рейсу протягом доби. На проміжних ЗП для міських і приміських маршрутів вказується номер обслуговуючого ЗП маршруту, початок і закінчення роботи маршруту, характерні інтервали руху по періодах доби; для міжміських маршрутів – точний час прибуття і відправлення транспортного засобу протягом доби.

Що стосується міських маршрутів, то згідно з правилами перевезення пасажирів [89] у пасажирському розкладі дозволяється вказувати інтервал руху замість точного часу прибуття та відправлення пасажирів, якщо інтервал не перевищує 10 хвилин. Зазвичай ці вимоги не виконуються та взагалі, перехід на обслуговування пасажирів

за розкладом руху передбачає повне ознайомлення пасажирів з ним.

Ці додаткові вимоги до організації роботи маршрутів за розкладом руху не вимагають зміни нормативних документів, а можуть бути вирішені в межах договору на перевезення пасажирів між замовником та виконавцем перевезень [89]. Тобто створення всіх видів розкладу від маршрутного до пасажирського та практична реалізація роботи ТЗ на маршрутах за заздалегідь визначеним розкладом є цілком реальним завданням для організаторів перевезень на міських маршрутах.

Іншою та найбільш вагомою стороною процесу обслуговування пасажирів за розкладом руху є інформування пасажирів про час прибуття та відправлення ТЗ на кожному ЗП. Взагалі це інформування забезпечується за допомогою пасажирського розкладу руху, який походить від маршрутного розкладу руху, є його деталізацією та містить в собі час кожного відправлення ТЗ від ЗП. Зрозуміло, що повний масив такої інформації у масштабах міста є дуже великим та напевно чи необхідним хоча би одному пасажирові.

Для повного інформування пасажирів більш ніж достатньо, коли пасажир має можливість обрати потрібний йому час відправлення перед початком пересування. Цей рівень обізнаності швидко досягається без особливих додаткових зусиль з боку пасажирів при рутинних, наприклад трудових, пересуваннях при наявності розкладу на ЗП та навіть без нього.

Що стосується інших видів пересувань, коли інформація про розклад руху на потрібному маршруті у деякий період часу є необхідною дуже рідко, найкращим засобом отримання такої інформації заздалегідь є мережа Internet, в якій організується доступ до пасажирського розкладу руху по зупинках міських маршрутів. Але у дійсності існує багато ситуацій, коли останній шлях не забезпечує бажаної мети або не має сенсу. З метою поширення серед потенційних пасажирів інформації про розклад руху у світі використовується доволі багато різних методів.

Взагалі, серед вже розроблених методів слід виділити декілька найбільш розповсюджених способів інформування пасажирів про розклад руху ТЗ на міських маршрутах:

- публікація розкладу руху маршрутного транспорту у періодичних або спеціальних міських друкованих виданнях (газетах, довідниках та ін.);

- розміщення розкладу руху на web-сайті міста, перевізника чи окремо розробленому спеціальному Internet-ресурсі;
- розміщення розкладу на інформаційних таблицях на ЗП МПТ;
- розробка спеціальних інформаційних програм для мобільних телефонів або інших мобільних пристроїв;
- розробка та розповсюдження інформаційних брошур різного виду та формату.

Кожний з цих способів має певні переваги та недоліки, період дії та цільову аудиторію, необхідні матеріальні ресурси та можливу ступінь охоплення пасажирів при виконанні разових або повсякденних пересувань.

Що стосується першого способу інформування пасажирів, тобто публікацій розкладу руху на маршрутах в газеті або довіднику, то за доступністю він може охоплювати найбільш широку цільову аудиторію. Однак, у зв'язку із широким розповсюдженням Internet-ресурсів та різного роду переносних гаджетів зростає і частка їх користувачів. Тому такий спосіб інформування більш актуальним буде для пасажирів похилого віку, яким легше користуватися звичними для них носіями інформації.

Розміщення розкладу на web-сайті міста, перевізника чи спеціально розробленому Internet-ресурсі, а також розробка спеціальних інформаційних програм для мобільних телефонів – найбільш перспективний та інноваційний для українських умов спосіб інформаційного забезпечення пасажирів про розклад руху міського транспорту.

При такому варіанті слід враховувати, що користувачі в найбільш зручний для них час матимуть змогу ознайомитись із розкладом руху та спланувати поїздки. Перевагою цих способів є те, що вони не потребують безпосереднього знаходження користувача міського транспорту на ЗП або в ТЗ для ознайомлення із розкладом руху.

Для усіх користувачів маршрутного транспорту буде доступний розклад маршрутів, якими вони користуються, якщо він буде розташований на інформаційних таблицях на ЗП або розповсюджений у вигляді різноформатних брошур водіями в салоні ТЗ.

Кожен із способів інформування може бути реалізований із деякими матеріальними і трудовими витратами, які складають витратну частину переходу на обслуговування пасажирів за розкладом руху.

Визначення загальних витрат на інформаційне забезпечення пасажирів про розклад руху на маршрутах дозволить провести їх порі-

вняльну характеристику з позитивними результатами від переходу з інтервального способу на обслуговування пасажирів за відомим розкладом руху.

4.2 Оцінка ефективності переходу до технології обслуговування пасажирів громадським транспортом за відомим розкладом руху

Визначення соціального ефекту полягає у порівнянні середнього ЧОП для двох технологій обслуговування пасажирів МПТ: при інтервальній технології та за відомим розкладом руху. Також під час розрахунку ефекту необхідно враховувати величину кореспонденції та період прогнозування, тобто на добу, місяць або рік. Інформаційною основою для проведення розрахунків стала матриця кореспонденцій ранкових годин пік у робочий день у місті Харків.

Загальна кількість пересувань для ранкових годин пік міста Харкова становить 359467 пасажирів, але їх реалізація в умовах відомого розкладу руху означала б, що всі пасажирів володіють інформацією про розклад руху ТЗ на маршруті. Таке твердження для технології обслуговування пасажирів за розкладом руху буде помилковим, оскільки в силу різних обставин далеко не всі пасажирів та далеко не завжди можуть бути ознайомлені із розкладом руху.

Процедура розрахунку ефекту передбачає охоплення обсягу трудових регулярних поїздок звичними для пасажирів маршрутами та трудових переміщень за новими невідомими маршрутами або рідкісними нерегулярними для пасажирів напрямками.

До того ж необхідно враховувати частку пасажирів, що вперше ознайомилися із розкладом безпосередньо на ЗП або в салоні ТЗ, так як для них інформація вже є фактом, а не засобом для попереднього планування.

Визначення ймовірності та частки ознайомлення пасажирів із розкладом руху, враховуючи п'ять представлених способів інформаційного забезпечення, є окремою задачею, що потребує додаткових досліджень, виконання яких не є задачею цієї роботи.

Для визначення доцільності переходу від інтервального способу обслуговування пасажирів до обслуговування за відомим розкладом руху ТЗ на маршрутах цілком достатнім є визначення ефекту при такому рівні обізнаності пасажирів про розклад руху, досягнутому за

допомогою всіх перерахованих методів, який вочевидь буде ними забезпечений.

Тому в рамках даного дослідження зроблено припущення, що із урахуванням усіх способів інформування із розкладом будуть ознайомлені лише 1% пасажирів від загальної кількості пересувань у матриці пасажирських кореспонденцій, тобто 3595 пасажирів.

Враховуючи вище викладене, соціальний ефект переходу до обслуговування пасажирів за відомим розкладом руху розраховується за наступною залежністю

$$C = \frac{(W_{оч}^{it} - W_{оч}^{pp}) \cdot Q \cdot D_p}{60}, \quad (4.1)$$

де $W_{оч}^{it}$ – середній ЧОП ТЗ на ЗП для ММ при інтервальній технології обслуговування, хв;

$W_{оч}^{pp}$ – середній ЧОП при технології обслуговування за відомим розкладом руху ТЗ на маршрутах, хв;

Q – кількість пересувань, що реалізують пасажирів, які проінформовані про розклад руху за один день, пас./доб.

D_p – кількість робочих днів у році (у 2019 році – 250 днів).

У третьому розділі монографії представлено результати обстеження фактичного ЧОП ТЗ в місті Харкові у випадку, коли вони знають розклад руху та підходять на ЗП, заздалегідь прогножуючи тривалість очікування. В результаті такого обстеження було розраховано середнє значення ЧОП для ранкових годин пік, яке становить 5,72 хв, тобто 5 хв 43 с.

Розрахунок фактичного ЧОП ТЗ на ЗП для ММ в цілому при інтервальній технології обслуговування пасажирів з використанням залежності (2.39) складається з декількох етапів:

- визначення для кожної пари ЗП в місті інтервалів руху ТЗ усіх маршрутів, що їх сполучають;

- розрахунок параметру форми розподілу інтервалів руху ТЗ на маршрутах;

- визначення ЧОП для кожної пари ЗП, враховуючи параметри форми гамма-розподілу випадкової величини інтервалів руху ТЗ на маршруті;

- визначення величини кореспонденції між кожною парою ЗП;

- розрахунок середньозваженого ЧОП для маршрутної мережі міста.

Джерела отримання необхідної інформації для реалізації цієї процедури в програмному середовищі MS Excel докладно описані у підрозділі 3.4.

Середня тривалість очікування ТЗ пасажирами при інтервальній технології обслуговування пасажирів для ранкового пікового періоду за результатами розрахунку становить 9,9 хв.

Завдяки цьому за залежністю (4.1) можливо визначити очікуваний соціальний ефект від впровадження технології обслуговування пасажирів за розкладом руху, який становить

$$C = \frac{(9,9 - 5,72) \cdot 3595 \cdot 250}{60} = 62613 \text{ год/рік.}$$

В результаті проведених розрахунків навіть при найбільш песимістичному прогнозі щодо частки пасажирів, які ознайомлені із розкладом під час здійснення поїздки, отримано переконливий соціальний ефект у вигляді економії часу поїздки пасажирів при переході маршрутного транспорту на обслуговування пасажирів за розкладом руху.

Розрахунку можливої економії часу ще недостатньо для отримання повного уявлення про доцільність будь-якого заходу, в тому числі й зміни технології обслуговування пасажирів. Проведення економічного аналізу передбачає визначення двох основних параметрів: витрат, які потрібні на впровадження запропонованих заходів, та зекономлених коштів від реалізації останніх. В загальному вигляді для цього можна записати наступний вираз:

$$E = D - B, \quad (4.2)$$

де E – ефект від реалізації запропонованих заходів щодо реорганізації процесу обслуговування пасажирів МПТ, грн/рік;

D – потенційна економічна вигода пасажирів за рахунок економії часу очікування транспорту на ЗП, грн/рік;

B – витрати, необхідні на реалізацію запропонованих заходів, грн/рік.

Потенційна економічна вигода повинна розраховуватись як добуток виграного часу, середньої вартості однієї робочої години і кі-

лькості робочих днів у році. В якості вихідних даних обрано доступну статистичну інформацію за 2019 рік. Згідно із [90] середньомісячна заробітна плата у розрахунку на одного штатного робітника становить 8935 грн/місяць. Кількість робочих годин у 2019 році за офіційними джерелами [90] при 40 годинному робочому тижні дорівнює 2000 години. Отже, середня вартість однієї години праці середньостатистичного робітника становить

$$C_{\pi} = \frac{3 \cdot 12}{T}, \quad (4.3)$$

де 3 – середньомісячна заробітна плата одного робітника, грн/міс.;
 T – кількість робочих годин у розрахунковому році, год.

Із розрахунку на 2019 рік середня вартість однієї години роботи штатного робітника становить

$$C_{\pi} = \frac{8935 \cdot 12}{2000} = 53,61 \text{ грн/год.}$$

В такому разі вигода від економії часу пасажирів під час очікування транспорту на зупинці може становити

$$D = C \cdot C_{\pi}, \quad (4.4)$$

$$D = 62613 \cdot 53,61 = 3356683 \text{ грн/рік.}$$

Витратна частина переходу до технології обслуговування пасажирів ГТ за відомим розкладом руху пов'язана, перш за все, із процедурою інформування пасажирів та контролю за дотриманням водіями розкладу руху.

Під час розрахунку економічного ефекту в роботі вважається, що водії чітко дотримуються розроблених перевізниками графіків роботи рухомого складу на маршрутах та в цілому забезпечується висока надійність наданих транспортних послуг.

Витратну частину реалізації переходу слід поділити на дві групи: обов'язкові та додаткові.

По-перше, до першої групи слід віднести обов'язковий і надійний спосіб інформування пасажирів про поточний розклад руху ГТ на міських маршрутах – розміщення по кожному маршруту розкладу руху безпосередньо на ЗП.

По-друге – обов’язкова розробка електронної бази даних, що містить інформацію про розклад руху усіх видів транспорту, що функціонують в місті, і розміщення цієї інформації на електронному ресурсі в мережі Internet із вільним доступом.

По-третє – це організація роботи та обслуговування гарячої лінії, необхідної для забезпечення фіксування випадків недотримання водіями графіків руху або взагалі зривів рейсів.

І до четвертої обов’язкової частини витрат слід віднести публікацію розкладу в щоденних або періодичних друкованих виданнях.

Додаткові витрати будуть пов’язані із розробкою спеціальних програм для кишенькових переносних пристроїв та друк різного роду брошур для розповсюдження безпосередньо в ТЗ.

В такому випадку витрати, спрямованні на належне інформування пасажирів, будуть становити

$$B = B_{ep} + B_{pp} + B_{gl} + B_{пв} + B_{пп} + B_{б}, \quad (4.5)$$

де B_{ep} – витрати пов’язані із розробкою електронної бази даних та електронного ресурсу в мережі Internet, грн/рік;

B_{pp} – витрати на розробку, виготовлення та розміщення розкладу руху на ЗП ММ міста, грн/рік;

B_{gl} – витрати на організацію та обслуговування гарячої лінії, грн/рік.

$B_{пв}$ – витрати на публікацію розкладу в щоденних чи періодичних виданнях, грн/рік;

$B_{пп}$ – витрати на розробку програмного продукту для кишенькових гаджетів, грн/рік;

$B_{б}$ – витрати на друк різноманітних брошур із розкладом, грн/рік.

Згідно з інформацією офіційного порталу веб-студії розроблення сайтів «Interneta», нижня межа вартості розробки найпростішого корпоративного web-сайту адаптивного типу (адаптивний тип дозволяє переглядати інформацію на сайті не лише із комп’ютерів, а й із будь-яких персональних гаджетів) становить 14 800 грн.

Найпростішим і найменш витратним способом інформування пасажирів про час прибуття ТЗ на ЗП є розміщення на ній інформаційної таблиці із розкладом руху усіх маршрутів, що проходять через

зупинку. Загальна кількість зупинок, що налічує ММ МПТ м. Харкова, становить 491 од.

Мінімальна кількість маршрутів, що проходять через ЗП, складає 1, максимальна – 28. Весь масив ЗП було поділено на два типи: перший – це ЗП, через які проходить до 10 маршрутів, та другий – проходить більше 10 маршрутів. Зупинок першого типу виявилось 413 од., а другого – 78 од.. Такого роду розмежування зроблено з метою оформлення розкладу руху на двох друкованих форматах: А3 для першого типу зупинок і А2 для другого типу зупинок відповідно.

Вартість друку і ламінування одного листа формату А3 дорівнює 31,3 грн та формату А2 – 58 грн. Тоді загальний обсяг витрат, необхідний для друку розкладів руху для ММ м. Харків в прямому та зворотному напрямках, становить

$$B_{pp} = (413 \cdot 31,3 + 78 \cdot 58) \cdot 2 = 34901,8 \text{ грн.}$$

Організація та обслуговування гарячої лінії є найбільш швидким та дієвим способом фіксування порушень з боку водіїв правил перевезення пасажирів та відхилень від розкладу руху ТЗ на маршрутах. Більшість маршрутів МПТ розпочинають працювати о 5:00 і завершують роботу приблизно о 23:00. Відповідно тривалість роботи гарячої лінії повинна охоплювати період роботи транспорту.

В даній роботі прийнято рішення скоротити тривалість роботи гарячої лінії, так як перші та останні випуски не охоплюють ні ранкові, ні вечірні години пік. Тому витрати на обслуговування гарячої лінії наведені із розрахунку на період із 6:00 і до 22:00.

В такому випадку тривалість роботи складає 16 годин. Враховуючи восьмигодинний робочий день, необхідно мінімум три працівника на обслуговування телефонної лінії, заробітна плата для яких становитиме як мінімальна за 2019 рік – 4173 грн.

Витрати безпосередньо на утримання номеру гарячої лінії складаються із вартості підключення, щомісячної абонентської плати та вартості однієї хвилини розмови. Таким чином вартість організації роботи гарячої лінії буде становити

$$B_{гл} = B_{зп} + B_{ап}, \quad (4.6)$$

де $B_{зп}$ – витрати на оплату праці робітників, що обслуговуватимуть телефон гарячої лінії, грн/місяць;

$B_{\text{ап}}$ – витрати на відкриття телефонного номеру та щомісячні витрати, грн/рік.

Із розрахунку на трьох працівників річні витрати на заробітну плату становитимуть

$$B_{\text{зп}} = N_{\text{роб}} \cdot 3П \cdot 12, \quad (4.7)$$

де $N_{\text{роб}}$ – необхідна кількість робітників (мінімум необхідно 3 робітника);

$3П$ – заробітна плата одного робітника, грн/місяць.

$$B_{\text{зп}} = 3 \cdot 4173 \cdot 12 = 150228 \text{ грн.}$$

Витрати на відкриття телефонного номеру та щомісячні витрати становитимуть:

$$B_{\text{ап}} = B_{\text{підкл.}} + B_{\text{міс}} \cdot 12 + B_{\text{хв}} \cdot N_{\text{хв}} \cdot D_{\text{р}}, \quad (4.8)$$

де $B_{\text{підкл.}}$ – разові витрати на підключення безкоштовного телефонного номеру, грн (600 грн);

$B_{\text{міс}}$ – щомісячна абонентська плата за користування телефоном, грн/місяць (100 грн);

$B_{\text{хв}}$ – вартість однієї хвилини вхідного дзвінка, грн/хв (0,4 грн/хв);

$N_{\text{хв}}$ – тривалість розмови протягом доби, хв.

Невідомою та непрогнозованою величиною в даній залежності є можлива тривалість розмов протягом доби. Варіант зайнятості лінії протягом 16 годин малоімовірний, тому прийнято, що найгіршим варіантом була б тривалість розмов протягом 8 годин, тобто 480 хвилин за один робочий день.

Тоді витрати на утримання номеру гарячої лінії становитимуть

$$B_{\text{ап}} = 600 + 100 \cdot 12 + 0,4 \cdot 480 \cdot 250 = 49800 \text{ грн/рік.}$$

Загальні витрати на обслуговування гарячої лінії

$$B_{\text{гл}} = 150228 + 49800 = 200028 \text{ грн/рік.}$$

Що стосується публікацій в періодичних виданнях, то середня вартість розробки макету однієї сторінки становить 60 грн та друку газети формату А4 на 8 сторінок тиражем у 20000 одиниць становить

23786 грн. Достатньою буде щомісячна публікація із можливими оновленнями в розкладі руху МПТ.

Тоді вартість такого способу інформування становитиме

$$B_{\text{пв}} = (B_{\text{м}} \cdot N_{\text{стор}} + B_{\text{тир}}) \cdot 12, \quad (4.9)$$

де $B_{\text{м}}$ – вартість розробки макету однієї сторінки, грн/стор.;

$N_{\text{стор}}$ – кількість сторінок в газеті, стор.;

$B_{\text{тиражу}}$ – вартість друку тиражу, грн.

$$B_{\text{пв}} = (60 \cdot 8 + 23786) \cdot 12 = 291192 \text{ грн/рік.}$$

Розробка програмного забезпечення, наприклад на найбільш розповсюджену операційну систему для смартфонів Android, було б найбільш технологічним та інноваційним рішенням питання інформаційного супроводу пасажирів про розклад руху ТЗ на маршрутах. Створення такої інформаційної програми із системою GPS позиціонування ТЗ на маршрутах вивело б систему МПТ на новий якісний рівень.

Звичайно, такі кроки до розвитку транспортної системи потребують обов'язкової підтримки з боку органів місцевого самоврядування та значних трудових і фінансових витрат. Тому на початковому етапі було б доцільне створення інформаційної бази на систему Android із перспективою подальшого розвитку в напрямку організації роботи МПТ та інформаційного забезпечення пасажирів.

Вартість розробки інформаційного програмного забезпечення коливається в широкому діапазоні, починаючи із \$1000 і до верхньої межі, яка може сягати понад \$10000. Найпростіший варіант розробки такого програмного продукту міг би коштувати приблизно \$3000, що в еквіваленті національної валюти складає 69772,2грн.

Тому в рамках даної роботи така сума прийнята у витратній частині на інформаційне забезпечення пасажирів про розклад руху ТЗ на маршрутах.

Ще один із способів інформаційного супроводу пасажирів, який широко використовується в розвинених країнах Європи, – це розповсюдження розкладу руху за допомогою друкованих флаєрів в салоні ТЗ або на зупинках міських маршрутів.

Враховуючи можливу зміну або корегування розкладу, природне зношення флаєрів як в салоні ТЗ, так і в обігу у пасажирів, доцільно щомісячно оновлювати друковані екземпляри. Вартість друку флаєрів розміром 210x100 тиражем 20000 шт. – 2780 грн. Тобто в рік необхідно витратити на друк розкладу 33360 грн.

Підсумовуючи всі статті витрат, можна отримати річні витрати в розмірі

$$B = 14800 + 34901,8 + 200028 + 291192 + 69772,2 + 33360 = 644054 \text{ грн/рік.}$$

Реалізація такої програми переходу до обслуговування пасажирів МПТ за відомим розкладом руху потребує певного періоду часу, зусиль та фінансових витрат. Але позитивна сторона від переходу, при досить малій долі ознайомлення пасажирів із розкладом значна у порівнянні із витратною частиною. В цьому випадку економічна вигода від ознайомлення мешканців м. Харкова з розкладом руху у ранкові години пік протягом одного року становитиме

$$E = 3356683 - 644054 = 2712629 \text{ грн.}$$

Отриманий результат наглядно свідчить про ефективність цього напряму діяльності для міської влади, оскільки при достатньо невисоких матеріальних витратах на організацію обслуговування пасажирів за розкладом руху та інтенсивному повідомленні пасажирів про розклад руху ТЗ на міських маршрутах місто зможе забезпечити суттєве зниження ЧОП, досягти значного покращення умов пересувань ГТ та підвищити його конкурентоздатність по відношенню до приватного транспорту.

Висновки

1. Перехід до технології обслуговування пасажирів за розкладом руху можливий за умови переведення всіх автобусних маршрутів, що функціонують у режимі маршрутного таксі, на роботу у звичайному режимі та організацію громадського контролю за дотриманням водіями розкладів руху на маршрутах з боку пасажирів за допомогою інформаційного забезпечення пасажирів про розклад руху на маршруті поряд зі створенням замовником безкоштовної «гарячої лінії» для повідомлення про випадки несвоєчасного прибуття ТЗ на зупинку.

2. Найбільш розповсюдженими способами інформування пасажирів про розклад руху ТЗ на міських маршрутах є: публікація розкладу руху у періодичних або спеціальних міських друкованих виданнях; розміщення розкладу руху у мережі Internet та на інформаційних таблицях на ЗП МПТ; розробка спеціальних інформаційних програм для мобільних пристроїв; розробка та розповсюдження інформаційних брошур різного виду та формату.

3. Розрахунок фактичного ЧОП ТЗ на ЗП для маршрутної мережі в цілому при інтервальній технології обслуговування пасажирів, виконаний за допомогою обчислювальної процедури (реалізованої у програмному середовищі MS Excel), показав, що середня тривалість очікування ТЗ пасажирами при інтервальній технології обслуговування пасажирів для ранкового пікового періоду у м. Харкові становить 9,9 хв.

4. Очікуваний соціальний ефект від впровадження технології обслуговування пасажирів за розкладом руху, який при найбільш песимістичному прогнозі щодо частки пасажирів, які ознайомлені із розкладом під час здійснення поїздки, становить 62613 год/рік, що переконливо свідчить про велику соціальну ефективність переходу маршрутного транспорту на обслуговування пасажирів за розкладом руху.

5. Реалізація програми переходу до обслуговування пасажирів МПТ за відомим розкладом руху потребує певного періоду часу, зусиль та фінансових витрат, які протягом року складатимуть 644 тис. грн. Позитивний ефект від переходу, навіть при досить малій частці ознайомлення пасажирів із розкладом, значна у порівнянні із витратною частиною та складає 3356,7 тис. грн. В цьому випадку економічна вигода від ознайомлення мешканців м. Харкова з розкладом руху у ранковий піковий період протягом одного року становитиме 2712,6 тис. грн, що свідчить про ефективність цього напряму діяльності для міста.

ВИСНОВКИ

1. Розроблені на цей час теоретичні моделі розрахунку ЧОП ТЗ на ЗП міських маршрутів не охоплюють увесь спектр можливих технологій організації роботи рухомого складу на маршрутах вуличних видів МПТ, потребують експериментальної перевірки, з урахуванням фактичних закономірностей поведінки пасажирів при трудових пересуваннях та приводять до необхідності розробки моделі розрахунку ЧОП в ММ з метою оцінки можливих результатів впровадження передових технологій обслуговування пасажирів.

2. Основними способами організації руху ТЗ на маршруті є варіанти дотримання заздалегідь сформованого розкладу руху на маршруті або, навпаки, робота без жорсткого розкладу. У першому випадку виділяються варіанти забезпечення рівного інтервалу руху без відхилень та з нормально розподіленими відхиленнями фактичного часу відправлення від розкладу, а також змінний інтервал з двома значеннями, що чергуються. У другому випадку застосовується технологія відправлення ТЗ за наповненням салону до заздалегідь визначеного рівня з обмеженням та без обмеження на час простою ТЗ на початковому ЗП маршруту, а також власне випадкове відправлення ТЗ з початкового ЗП. Розроблені для цих варіантів аналітичні моделі розрахунку ЧОП можуть бути використані при моделюванні транспортних систем міст і визначення якості обслуговування пасажирів громадським транспортом, але потребують експериментальної перевірки для реальних умов функціонування МПТ.

3. Результати проведення обстеження ЧОП при відомому розкладі руху на 10-ти трамвайних, тролейбусних та автобусних маршрутах м. Харкова за допомогою розробленої методики показали, що випадкові значення ЧОП, у випадку коли пасажир обізнаний про час відправлення ТЗ від ЗП, розподілені за показниковим законом з параметром 0,175 та середнім значенням 5,72 хв при середньому фактичному інтервалі руху ТЗ на обстежених маршрутах – 26,46 хв.

4. Розроблені імітаційні моделі взаємодії пасажирів та маршрутних транспортних засобів достатньо повно відображають реальні процеси на ЗП. Проведений за допомогою імітаційних моделей, для трудових пересувань мешканців м. Харкова з дому на роботу, чисельний експеримент показав, що всі аналітичні моделі ЧОП на маршруті виявились достатньо точними для використання у подальших

розрахунках. Максимальне відхилення експериментальних оцінок середнього ЧОП від його теоретичних значень склало 0,071 хв при 10-ти хвилинному інтервалі, тобто біля 1,3 %. Підтвердженням адекватності аналітичних моделей також є відповідність розподілу різниці між експериментальними та теоретичними оцінками середнього ЧОП нормальному закону.

5. Отримана теоретична залежність (24) дозволяє проводити розрахунки ЧОП для всієї системи МПТ окремого міста в цілому за умови відсутності жорсткого розкладу руху на маршрутах, точної інформації у пасажирів щодо часу відправлення чергового ТЗ від ЗП маршрутів та існуючої технології організації роботи маршрутів вуличних видів транспорту, яка у найбільшому ступені відповідає умовам роботи без заздалегідь розробленого розкладу руху або зі змінним інтервалом руху у розкладі. Інтервал руху на маршрутах при цьому розподілений відповідно до гамма розподілу з параметром масштабу лінійно залежним від середнього інтервалу руху ТЗ на маршруті, а фактичний ЧОП ТЗ на ЗП для маршрутної мережі м. Харків у цілому склав 9,9 хв.

6. Очікуваний соціальний ефект від впровадження технології обслуговування пасажирів за розкладом руху становить 62613 год/рік, що забезпечує вартісну оцінку результату впровадження у розмірі 3356,7 тис. грн за рік. Реалізація програми переходу до обслуговування пасажирів МПТ за відомим розкладом руху та ознайомлення мешканців м. Харкова з розкладом руху у ранковий піковий період потребує 644,1 тис. грн на рік. Вартісна оцінка соціального ефекту цього переходу протягом одного року становитиме 2712,6 тис. грн, що наглядно свідчить про високу ефективність цього напряму діяльності для міста.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ефремов И.С. Теория городских пассажирских перевозок / И.С. Ефремов, В.М. Кобозев, В.А. Юдин. – М. : Высшая школа, 1980. – 535 с.
2. Куниця О.А. Зниження часу очікування пасажирами міських маршрутних транспортних засобів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.22.01 «Транспортні системи» / О.А. Куниця. – Х., 2008. – 21 с.
3. Горбачёв П.Ф. Моделирование спроса на услуги пассажирского маршрутного транспорта в крупных городах : монография / П.Ф. Горбачёв, А.В. Россолов. – Харьков : ХНАДУ, 2012. – 152 с.
4. Давідіч Ю.О. Проектування автотранспортних технологічних процесів з урахуванням психофізіології водія / О.Ю. Давідіч. – Харків : ХНАДУ, 2006. – 292 с.
5. Антошвили М.Е. Оптимизация городских автобусных перевозок / М.Е. Антошвили, С.Ю. Либерман, И.В. Спирин. – М. : Транспорт, 1985. – 102 с.
6. Артынов А.П. Формализация некоторых методов диспетчерского управления городского пассажирского транспорта / А.П. Артынов, Л.А. Воронов, Е.И. Скалецкая, В.В. Скалецкий // Методы оптимального планирования и управления в городском хозяйстве (пассажирский транспорт). – Владивосток : ИАПУ ДВНЦ АН СССР. – 1976. – С. 3 – 14.
7. Ахундов Р.М. Исследование путей совершенствования перевозок пассажиров ТЗ в системе «Город – пригород» : автореф. дисс. ... канд. техн. наук : спец. 05.22.01 «Транспортные системы» / Р.М. Ахундов. – М., 1978. – 168 с.
8. 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.
9. 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.

10. Либерман С.Ю. Динамическая модель городских корреспонденции / С.Ю. Либерман // Организация автомобильных перевозок и безопасность движения. – М. : МАДИ. – 1977. – Вып. 131. – 73 – 77 с.

11. Павленко Г.П. Автоматизированные системы диспетчерского управления движением городского транспорта / Г.П. Павленко, В.С. Половников, А.П. Лопатин. – М. : Транспорт, 1979. – 207 с.

12. 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.

13. Спирин И.В. Распределение подвижного состава по городским автобусным маршрутам / И.В. Спирин – Экспресс-информация ЦБНТИ Минавтотранса РСФСР, Пассажиры автомобильные перевозки. – М. : 1976. – 38 с.

14. Спирин И.В. Прогрессивные методы транспортного обслуживания в больших городах / И.В. Спирин, С.Ю. Либерман. – Обзорная информация «Проблемы больших городов». – М. : ГОСИНТИ, 1981. – Вып. 2. – 26 с.

15. Аррак А. Социально-экономическая эффективность пассажирских перевозок / А. Аррак. – Таллин : Ээсти раамат, 1982. – 198 с.

16. Baldwin Hess D. Waiting for the Bus / D. Baldwin Hess, J. Brown, D. Shoup // Journal of Public Transportation. – 2004. – Vol. 7, № 4. – P. 67 – 84.

17. Mishalani R. Passenger wait time perceptions at bus stops : Empirical results and impact on evaluating real-time bus arrival information / R. Mishalani, M. McCord, J. Wirtz // Journal of Public Transportation. – 2006. – Vol. 9, № 2. – P. 89 – 106.

18. 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.

19. Аникст М.Т. Моделирование работы городского пассажирского транспорта / М.Т. Аникст, А.П. Артынов, В.В. Скалецкий // Управление и информация. – Владивосток : ИАПУ ДВНЦ АН СССР, 1974. – Вып. 13. – С. 84 – 94.

20. Антошвили М.Е. Исследование некоторых вопросов орга-

низации перевозок пассажиров ТЗ в городах : дис. ... канд. техн. Наук : спец. 05.22.01 «Транспортные системы» / М.Е. Антошвили. – М.: МАДИ, 1973. – 159 с.

21. 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.

22. 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.

23. Adebisi O. A mathematical model for headway variance of bixed-route buses / O. Adebisi // Transportation research. – 1986. – Vol. 20, № 1. – p.p. 53 – 70.

24. Boyd Colin W. Notes on the theoretical dynamics of intermittent public transportation systems / Colin W. Boyd // Transportation research. – 1983. – A-17, № 5. – p.p. 347 – 354.

25. Girard J. Les études sur l'irrégularité des lignes d'autobus / J. Girard, E. Heurgon, N. Cornet, J. Doras // Transport, environnement, circulation. – 1983. – Vol. 56. – p.p. 16 – 22.

26. William C. Jordan Zone scheduling of bus routes to improve service reliability / C. Jordan William, A. Tuphquist Mark // Transportation science. – 1979. – Vol. 13, № 3. – p.p. 242 – 267.

27. 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.

28. Use and Deployment of Mobile Device Technology for Real-Time Transit Information : Transit Cooperative Research Program (TCRP). / National Academy Press, Washington, D.C. – 2011. – Synthesis 91. – 78 p.

29. Juan Argote. A visual approach to providing bus arrival prediction information / Juan Argote, Jean C. Doig // Transportation Research Board. – 93rd Annual Meeting. – Washington, D.C. – 2004. – p.p. 12 – 16.

30. Baldwin Hess D. Waiting for the Bus / D. Baldwin Hess, J. Brown, D. Shoup // Journal of Public Transportation. – 2004. – Vol. 7,

№ 4. – p.p. 67 – 84.

31. Mishalani R. Passenger wait time perceptions at bus stops: Empirical results and impact on evaluating real-time bus arrival information / R. Mishalani, M McCord, J. Wirtz // *Journal of Public Transportation*. – 2006. – Vol. 9, № 2. – p.p. 89 – 106.

32. Psarros I. An Empirical Investigation of Passenger Wait Time Perceptions Using Hazard-Based Duration Models / I. Psarros, K. Kepaptsoglou, Matthew G. Karlaftis // National Technical University of Athens, *Journal of Public Transportation*. – 2011. – Vol. 14, No. 3. – p.p. 109 – 122.

33. Paliska D. Using Computer Vision and Dead Reckoning Technology to Monitor Transit Service Reliability / Dejan Paliska, Roman Starin // *EPE Journal*. – 2006. – Vol. 1, № 6. – p.p. 2041 – 2044.

34. A Handbook for Measuring Customer Satisfaction and Service Quality : Transit Cooperative Research Program (TCRP). / National Academy Press, Washington, D.C. – 1999. – Report 47. – 40 p.

35. Bates J. The Valuation of Reliability for Personal Travel, / J. Bates, P. Polak, J. Jones, A. Cook // *Transportation Research*. – 2001. – Part E, No. 37. – p.p. 191 – 229.

36. Prioni P. Measuring Service Quality in Scheduled Bus Services / P. Prioni, D. Hensher // *Journal of Public Transportation*. – 2000. – Vol. 3. – p.p. 51 – 74.

37. Welding P. The Instability of Close Interval Service / P. Welding // *Operational Research Quarterly*. – 1957. – No. 8. – p.p. 133 – 148.

38. Turnquist M. A Model for Investigating the Effects of Service Frequency and Reliability on Bus Passenger Waiting Times / M. Turnquist // *Transportation Research Record*, 1978. – No. 663. – p.p. 70 – 73.

39. Bowman L. Service Frequency, Schedule Reliability and Passenger Wait Times at Transit Stops / L. Bowman, M. Turnquist // *Transportation Research*. – 1981. – Part A, vol. 15. – p.p. 465 – 471.

40. Wilson N. Service Quality Monitoring for High Frequency Transit Lines / N. Wilson, D. Nelson, A. Palmere, T. Grayson and C. Cederquist // *Transportation Research Record*, Washington, DC. – 1992. – No. 1349. – 11 p.

41. Mohring H. The Values of Waiting Time, Travel Time, and a Seat on the Bus / J. Schroeter and P. Wiboonchutikula // *Rand Journal of*

Economics. – 1987. – No.18 (1). – p.p. 40 – 56.

42. Casello J. Quantifying the Impacts of Transit Reliability on User Costs / Jeffrey Casello, Akram Nour, Bruce Hellinga // Transportation Research Record, Washington, DC. – 2009. – No. 2112. – 9 p.

43. Weber W. Die Reisezeit der Fahrgäste öffentlicher Verkehrsmittel in Abhängigkeit von Bahnart und Raumlage / W. Weber // Technische Hochschule Stuttgart, 1966.

44. O'Flaherty C.A. Bus Passenger Waiting Times in Central Areas / O'Flaherty C.A., D.O. Mangan // Traffic Engineering and Control. – 1970. – p.p. 419 – 421.

45. Seddon P.A. Bus passenger waiting times in Greater Manchester / P.A. Seddon, M.P. Day // Traffic Engineering and Control, 1974. – p.p. 442 – 445.

46. Jolliffe J.K. A Behavioural Explanation of the Association Between Bus and Passenger Arrivals at a Bus Stop / J.K. Jolliffe, T.P. Hutchinson // Transportation Science. – 1975. – Vol. 9. – p.p. 248 – 282.

47. Braendli H. Fahrplanabhängigkeit des Fahrgastzuflusses zu Haltestellen // H. Braendli, H. Mueller // Institute for Transport Planning and Systems, 1981. – Report No. 81/5.

48. Jolliffe J.K. A Behavioural Explanation of the Association Between Bus and Passenger Arrivals at a Bus Stop / J.K. Jolliffe, T.P. Hutchinson // Transportation Science. – 1975. – Vol. 9. – p.p. 248 – 282.

49. Barnett A. On controlling randomness in transit operations / A. Barnett // Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts. – 1974. – Sci. 8. – p.p. 102 – 116.

50. De Pirey Y.A. Simulation of a Bus Line as a Means to Analyze and Improve Bus Transit Reliability / Y.A. De Pirey // M. S. Thesis, Northwestern University, Department of Civil Engineering, Evanston, Illinois, 1971. – 124 p.

51. Friedman R.R. Statistical Models of the Mean and Standard Deviation of Passenger Wait Time in Urban Bus Transit / R.R. Friedman // M. S. Thesis, Northwestern University, Transportation Center, Evanston, Illinois, 1974. – 136 p.

52. Bly P.H. Evaluation of bus control strategies by simulation / P.H. Bly, R.L. Jackson // Transport and Road Res., Crowthorne, Berkshire, England, 1974. – No. 637.

53. Okrent M.M. Effects of Transit Service Characteristics on

Passenger Waiting Time / M.M. Okrent // M. S. Thesis, Northwestern University, Department of Civil Engineering, Evanston, Illinois, 1974.

54. Jolliffe J.K. A behavioral explanation of the association between bus and passenger arrivals at a bus stop / J.K. Jolliffe, T.P. Hutchinson // *Transportation Science*, 1975. – Vol. 9, No. 3. – p.p. 248 – 282.

55. Jackson W.H. Bus Passenger Arrival Times. Master of Engineering / W.H. Jackson // Thesis, University of Toronto, Department of Civil Engineering, Toronto, Ontario, 1977.

56. Turnquist M.A. A model for investigating the effects of service frequency and reliability on bus passenger waiting time / M.A. Turnquist // *Transps Res.* – 1978. – Rec. 663. – p.p. 70 – 73.

57. Цибулка Ян / Качество пассажирских перевозок в городах / Ян Цибулка : [пер. с чеш.]. – М. : Транспорт, 1987. – 239 с.

58. Блинкин М.Я. Модифицированная схема Зильберталь : анализ, обобщение, применение / М. Блинкин, Г. Гуревич // *Совершенствование перевозок пассажиров автомобильным транспортом.* – Сб. тр. НИИАТ. – 1981. – №.5. – С. 16 – 32.

59. Зильберталь Х.А. Трамвайное хозяйство / Х.А. Зильберталь. – Ленинград : Огиз, Гострансиздат. – 1932. – 304 с.

60. Welding P.I. The Instability of a Close-Interval Service / P.I. Welding // *Operational Research Quarterly.* – 1957. – Vol.8, No.3. – p.p. 133 – 148.

61. Holroyd E.M. Waiting Times for Buses in Central London / E.M. Holroyd, D.A. Scraggs // *Traffic Engineering and Control.* – 1966. – Vol.8, No.3. – p.p. 158 – 160.

62. Osuna E.E. Control Strategies for an Idealized Public Transportation System / E.E. Osuna, G.F. Newell // *Transportation Science.* – 1972. – Vol.6, No.1. – pp. 57 – 72.

63. O'Flaherty C.A. Bus Passenger Waiting Time in Central Areas / C.A. O'Flaherty, D. O. Mangan // *Traffic Engineering and Control.* – 1970. – Vol.11, No.9. – pp. 419 – 421.

64. Seddon P.A. Bus Passenger Waiting Times in Greater Manchester / P.A. Seddon, M.P. Day // *Traffic Engineering and Control.* – 1974. – No. 15. – p.p. 422 – 445.

65. Salek M.D. Characterizing Bus Transit Passenger Wait Times / M.D. Salek, R.B. Machemehl // *Southern Region University Transportation Center.* – 1999. – No. 167211-1. – p.p. 98 – 111.

66. Wei F. Characterizing bus transit passenger waiting times / 2nd Material Specialty Conference of the Canadian Society for Civil Engineering / Wei Fan, Randy B. Machemehl // Department of Civil Engineering, University of Texas at Austin, USA. – June 5-8 – 2002.

67. Bowman L.A. Service frequency, schedule reliability and passenger waiting times at transit stops / L.A. Bowman, M.A. Turnquist // Transportation Research. – 1981. – Part A, No. 15A (6). – p.p. 465 – 471.

68. Рюгер З. Эксплуатация городского пассажирского транспорта / З. Рюгер : [пер. с нем. Ю. Ваклер, В. Феоктистова, Э. Шабарова]. – М. : Транспорт, 1977. – 462 с.

69. Горбачев П.Ф. Параметры плотности распределения времени ожидания пассажирами городских маршрутов / П.Ф. Горбачев // Вестник ХНАДУ : сб. науч. тр. – 2007. – № 37. – С. 90 – 95.

70. Горбачов П.Ф. Дослідження часу очікування пасажирів на зупиночних пунктах міського пасажирського транспорту / П.Ф. Горбачов, В.М. Чижик // Автомобільний транспорт. – 2012. – № 30 – С. 67–71.

71. Доля В.К. Теоретические основы и методы организации маршрутных автобусных перевозок пассажиров в крупных городах : В 2 т. : дис. ... д-ра техн. наук : 05. 22. 10 / В.К. Доля. – М. : 1993. – 301 л.

72. Горбачов П.Ф. Аналітична оцінка мінімальних та максимальних витрат часу пасажирів на зупинці міського маршруту / П.Ф. Горбачов, О.В. Макаричев, О.В. Россолов, Є.В. Любий, В.М. Чижик // Автомобільний транспорт. – 2013. – № 32. – С. 67–71.

73. Горбачёв П.Ф. Оценка времени ожидания при различных способах организации движения транспортных средств на маршруте / П.Ф. Горбачёв, О.В. Макаричев, В.М. Чижик // Автомобильный транспорт. – 2013. – № 33. – С. 82 – 86.

74. Horbachev P. Assessment of waiting time in urban transit system for random passenger arrival at a stop / P. Horbachev, V. Chyzhyk // Trip Modelling and Travel Forecasting: Research and Technical Papers of Polish Association for Transportation Engineers in Cracow (Proceedings of 4th scientific-technical conference Modelling 2014), 12th-13th June 2014, Cracow / Politechnika Krakowska. – Cracow: PK, 2014. – p. 87–98.

75. А.С. Методика оцінки часу очікування пасажирів при різних способах організації руху транспортних засобів на маршруті / В.М. Чижик, (Україна). – № 61679; зареєстровано 14.09.2015

76. Горбачев П.Ф. Совершенствование схем маршрутов автобусов в крупнейших городах : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.01 / П.Ф. Горбачев. – Харьков, 1993. – 164 с.

77. Венецкий И.Г. Основные математико-статистические понятия и формулы в экономическом анализе / И.Г. Венецкий, В.И. Венецкая. – М. : Статистика, 1979. – 447 с.

78. Самойлов Д.С. Городской транспорт / Д.С. Самойлов. – М. : Стройиздат, 1983. – 384 с.

79. Хастингс Н. Справочник по статистическим распределениям / Н. Хастингс, Дж. Пикок : [пер. с англ. А.К. Звонкина]. – М. : Статистика, 1980. – 95 с.

80. Спирин И.В. Организация и управление пассажирскими автомобильными перевозками : учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / И.В. Спирин. – М. : Изд-во «Академия», 2003. – 400 с.

81. Зенгбуш М.В. Пассажиропотоки в городах / М.В. Зенгбуш, А.Ю. Белинский, А.Г. Дынкин ; под общ. ред. проф. М.С. Фишельсона ; ГНИИАТ. – М. : Транспорт, 1974. – 136 с.

82. Варелопуло Г.А. Организация движения и перевозок на городском пассажирском транспорте / Г.А. Варелопуло. – М. : Транспорт, 1990. – 208 с.

83. Доля В.К. Методы организации перевозок пассажиров в городах : монографія / В.К. Доля. – Х. : Изд-во «Основа» при Харьк. ун-те., 1992. – 144 с.

84. Про внесення змін до Правил надання послуг пасажирського автомобільного транспорту : Постанова КМУ від 26 вересня 2007 р. № 1184. Редакція від 22.06.2012, підстава 528-2012-п / Офіц. вісник України. – 2007. – № 75. – С. 5 – 23.

85. Про затвердження Порядку організації перевезень пасажирів та багажу автомобільним транспортом [Електронний ресурс]: Наказ міністерства інфраструктури України від 15.07.2013 р. № 480 – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z1282-13>.

86. Про затвердження Порядку розроблення та затвердження паспорта автобусного маршруту [Електронний ресурс]: Наказ міністерства транспорту та зв'язку України від 07.05.2010 р. № 480. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z0408-10>.

87. Про затвердження Методики розрахунку тарифів на послуги пасажирського автомобільного транспорту [Електронний ресурс]:

Наказ міністерства транспорту та зв'язку України від 17.11.2009 р. № 1175. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z1146-09>.

88. Давідіч Ю.О. Розробка розкладу руху транспортних засобів при організації пасажирських перевезень: навч. посіб. / Ю.О. Давідіч. – Х. : ХНАМГ, 2010. – 345 с.

89. Про внесення змін до Правил надання послуг пасажирського автомобільного транспорту : Постанова КМУ від 26.09.2007 р. № 1184. Редакція від 22.06.2012 р., підстава 528-2012-п / Офіц. вісник України. – 2007. – № 75. – С. 5–23.

90. Офіційний веб-портал Міністерства соціальної політики України [Електронний ресурс] / – Режим доступу : www.mlsp.gov.ua. – Заробітна плата та умови праці.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
1 СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ МОДЕЛЮВАННЯ ЧАСУ ОЧІКУВАННЯ ПАСАЖИРАМИ ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ	6
1.1 Методи зниження витрат часу пасажирів на пересування	6
1.2 Підходи до розрахунку часу очікування пасажирами маршрутних транспортних засобів на зупиночних пунктах міста	13
1.3 Існуючі підходи до організації обслуговування пасажирів громадським транспортом	25
Висновки	28
2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ МОДЕЛЮВАННЯ ЧАСУ ОЧІКУВАННЯ ПАСАЖИРАМИ ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ.....	30
2.1 Вибір та обґрунтування варіантів обслуговування пасажирів міським пасажирським транспортом	31
2.2 Аналітичне моделювання часу очікування пасажирів для обраних варіантів обслуговування міським транспортом	37
2.3 Теоретичні основи визначення середнього часу очікування пасажирами транспортних засобів у маршрутній системі міста	47
Висновки	50
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЧАСУ ОЧІКУВАННЯ ПАСАЖИРАМИ МІСЬКОГО ПАСАЖИРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ.....	52
3.1 Побудова плану проведення експерименту	52
3.2 Визначення параметрів прибуття пасажирів і транспортних засобів на зупиночний пункт та моделювання процесу їх взаємодії	56
3.3 Обстеження фактичного часу очікування пасажирами транспортних засобів на зупиночних пунктах міських маршрутів.....	67
3.4 Параметри функціонування маршрутів вуличних видів транспорту у місті Харкові	75
Висновки	80
4 ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ПЕРЕХОДУ ДО	

ТЕХНОЛОГІЇ ОБСЛУГОВУВАННЯ ПАСАЖИРІВ ЗА ВІДОМИМ РОЗКЛАДОМ РУХУ	81
4.1 Обґрунтування методики переходу до технології обслуговування пасажирів за відомим розкладом руху	81
4.2 Оцінка ефективності переходу до технології обслуговування пасажирів громадським транспортом за відомим розкладом руху	88
Висновки	96
ВИСНОВКИ	98
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	100

Наукове видання

ГОРБАЧОВ Петро Федорович
МАКАРІЧЕВ Олександр Володимирович
ЧИЖИК Віталій Михайлович

**ЧАС ОЧІКУВАННЯ В СИСТЕМІ МІСЬКОГО
МАРШРУТНОГО ТРАНСПОРТУ**

Монографія

Відповідальний за випуск *П.Ф. Горбачов*

Авторська редакція