

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ УНІВЕРСИТЕТ

ЧИЖИК ВІТАЛІЙ МИХАЙЛОВИЧ

УДК 656.072

РОЗРОБКА АНАЛІТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСУ ОЧІКУВАННЯ
ПАСАЖИРАМИ МАРШРУТНОГО ТРАНСПОРТУ В МІСТАХ

Спеціальність 05.22.01 – транспортні системи

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2018

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті Міністерства освіти і науки України, м. Харків.

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор
Горбачов Петро Федорович,
Харківський національний автомобільно-
дорожній університет, завідувач
кафедри транспортних систем і логістики.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Мороз Микола Миколайович,
Кременчуцький національний університет
імені Михайла Остроградського,
завідувач кафедри транспортних
технологій.

кандидат технічних наук, доцент
Криstopчук Михайло Євгенович,
Національний університет водного
господарства та природокористування
Міністерства освіти і науки України,
завідувач кафедри транспортних технологій і
технічного сервісу.

Захист відбудеться «27» червня 2018 р. о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.059.02 при Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті за адресою: 61002, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківського національного автомобільно-дорожнього університету за адресою: 61002, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

Автореферат розісланий «25» травня 2018 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



О.П. Смирнов

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Швидкий темп життя мешканців великих міст, постійний розвиток міських транспортних систем, чимала конкуренція на ринку транспортних послуг та наявність альтернатив вибору пасажирями видів транспорту і маршрутів пересування, обумовлює необхідність підвищення якості обслуговування населення громадським транспортом. Основною задачею при виборі пасажирями 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 пасажирями найбільш гостро, як марні витрати часу. До того ж він є найбільш складним для прогнозування, оскільки має випадковий характер. 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.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Задача прогнозування ЧОП МПТ відповідає Транспортній стратегії України на період до 2020 року, затвердженій постановою КМУ №2174-р. від 20.10.2010 р. Запропоновані в роботі методики були використані під час виконання наступних науково-дослідницьких робіт (НДР): НДР «Проблеми розвитку та функціонування транспортних систем» (реєстраційний номер 0116U007628), НДР «Розробка наукових основ та методів удосконалення транспортних систем мегаполісів» (реєстраційний номер 0111U001503), НДР «Розробка заходів щодо коригування схеми руху міського маршрутного пасажирського транспорту міста Суми» (реєстраційний номер 0112U004747), «Оцінка ефективності заходів щодо коригування та внесення змін до існуючої схеми руху міського пасажирського транспорту міста Суми» (реєстраційний номер 0116U003918), НДР «Розробка раціонального варіанту маршрутної мережі міста Кіровоград» (реєстраційний номер 0112U00692), НДР «Проведення обстеження пасажиропотоків та визначення обсягів перевезень пасажирів на міських автобусних маршрутах загального користування міста Нікополя» (реєстраційний номер 0117U004879).

Мета і задачі дослідження. Мета дисертаційної роботи – отримання залежностей зміни часу очікування пасажирями міського маршрутного транспорту згідно з технологіями організації роботи транспортних засобів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- проаналізувати стан проблеми визначення ЧОП МПТ на ЗП;
- формалізувати всі існуючі на цей час технології організації роботи ТЗ на маршрутах;

- розробити теоретичні залежності визначення ЧОП ТЗ на ЗП МПТ на окремому маршруті та маршрутній мережі (ММ) міста в цілому;
- розробити методику, провести обстеження та розрахувати середнє значення ЧОП на ЗП міських маршрутів при відомому пасажиром розкладі руху ТЗ;
- розробити імітаційні моделі та провести експериментальні дослідження із визначення ЧОП транспорту на міських зупинках для різних технологій організації роботи ТЗ на маршруті;
- розрахувати можливі зміни 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 зупиночний пункт.

Методи дослідження. Під час розробки теоретичних основ оцінки ЧОП ТЗ використовувались методи теорії ймовірностей та аналітичне моделювання. При визначенні можливих технологій організації роботи ТЗ на міських маршрутах та способів обслуговування пасажирів громадським транспортом використано аналіз, формалізацію, порівняння та дедуктивний метод. В процесі побудови імітаційних моделей ЧОП ТЗ на міських маршрутах, для різних технологій організації роботи громадського транспорту, застосовано індукцію, регресійний аналіз, методи теорії ймовірностей та математичної статистики. Емпіричний метод обстеження було використано під час визначення параметрів руху громадського транспорту на міських маршрутах та дослідження фактичного ЧОП ТЗ на ЗП. В ході визначення ефективності обслуговування пасажирів громадським транспортом, який працює за відомим розкладом руху застосовано гіпотетичний метод та порівняння.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що *вперше*:

- розроблені теоретичні моделі для розрахунку часу очікування пасажиром транспортних засобів на міському маршруті, які, на відмінну від існуючих, враховують технологію організації роботи міського пасажирського транспорту;
- розроблено теоретичну залежність розрахунку середнього часу очікування пасажиром транспортних засобів на зупинках громадського транспорту в маршрутній мережі міста в цілому, яка, в порівнянні із існуючими, дозволяє врахувати технологію організації роботи кожного міського маршруту.

Удосконалено підхід до розрахунку часу очікування пасажиром транспортних засобів при відомому пасажиром розкладі руху за рахунок визначення параметрів їх підходу до зупиночного пункту.

Подальший розвиток отримали моделі розрахунку ЧОП ТЗ на ЗП, які враховують ймовірність відхилення часу прибуття ТЗ на ЗП від планового.

Практичне значення отриманих результатів:

- розроблено методику імітаційного моделювання, яка дозволяє отримати достовірні значення часу очікування для існуючих технологій організації роботи маршрутних ТЗ;
- розроблений механізм розрахунку ЧОП транспорту на ЗП ММ, який може бути застосований для будь-якого міста.

Отримані результати були використані при:

- розробці раціонального варіанту ММ м. Кіровоград;
- розробці заходів щодо коригування схеми руху міського маршрутного пасажирського транспорту м. Суми;
- у навчальному процесі ХНАДУ при підготовці студентів спеціальності «Транспортні технології».

Практична значимість отриманих результатів підтверджується відповідними актами впровадження на рівні виконавчих комітетів Сумської та Кіровоградської міських рад. Розроблена методика оцінки тривалості ЧОП ТЗ на ЗП, застосована для визначення якості функціонування ММ міста у навчальному процесі дисципліни «Транспортне планування великих та значних міст» при підготовці студентів факультету транспортних систем Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, що підтверджується відповідним актом впровадження.

Особистий внесок здобувача. Усі положення, що виносяться на захист, і результати їх застосування наведені в роботах [1 – 10] та отримані автором самостійно. У наукових роботах, які опубліковані у співавторстві, особистий вклад здобувача полягає в наступному: проаналізовано принципи побудови та математичний апарат основних видів моделей розрахунку ЧОП ТЗ на ЗП міста [1 – 4]; наведено результати імітаційного моделювання ЧОП ТЗ на ЗП міста, при невідомому для них розкладі руху, описано статистичні моделі параметрів закону розподілу значень ЧОП міського маршрутного транспорту [1, 5]; визначено існуючі варіанти організації роботи рухомого складу на міських маршрутах та способи обслуговування пасажирів МПТ [6]; на основі аналітичного моделювання визначено середній ЧОП ТЗ на міських зупинках при невідомому пасажирам розкладі руху та двох технологіях організації роботи рухомого складу на маршруті, які дають екстремальні значення тривалості очікування [2, 9]; наведено результати аналітичного моделювання ЧОП на ЗП для можливих технологій організації роботи ТЗ на міських маршрутах при інтервальному способі обслуговування пасажирів [4, 5, 7, 8].

Апробація результатів дисертації. Матеріали та результати дисертаційної роботи доповідались, обговорювались і були схвалені на:

- VII Всеукраїнській науково-практичній конференції студентів та аспірантів “Підвищення надійності машин і обладнання” (КНТУ, м. Кіровоград, 2013р.);
- IV Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми розвитку транспортних систем і логістики» (СНУ ім. В. Даля, м. Луганськ, 2013 р.);
- Міжнародній науково-методичній конференції «Сучасні інформаційно-комунікаційні технології в науці та освіті» (ХНАДУ, м. Харків, 2013 р.);
- Proceedings of 4th scientific-technical conference Modelling «Trip Modelling and Travel Forecasting» (Tadeusz Kościuszko Cracow University of Technology, Cracow, 2014).

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 9 наукових праць, з яких 5 статей у фахових виданнях України, що входять до міжнародних наукометричних баз, 4 тези у збірниках матеріалів вітчизняних та міжнародних конференцій, отримано 1 авторське свідоцтво.

Структура й обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Обсяг основного тексту дисертаційної роботи становить 108 сторінок, 11 рисунків та 6 таблиць, 5 додатків на 50 сторінках, список використаних джерел складає 95 найменувань, розміщених на 10 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано її мету та основні задачі, визначено об'єкт і предмет дослідження, наведено наукову новизну, теоретичне і практичне значення отриманих результатів.

Перший розділ дисертації присвячений аналізу існуючих методів розрахунку та зниження витрат часу пасажирів на пересування МПТ. Розглянуто можливі підходи до розрахунку ЧОП ТЗ на ЗП та розроблено структурно-логічну схему етапів проведення дослідження.

Джерелом інформації для вивчення вказаних питань послужили роботи таких дослідників як: Антошвілі М.Е., Артинов А.П., Анікст М.Т., Блінкін М.Я., Горбачов П.Ф., Гюлев Н.У., Давідіч Ю.О., Єфремов І.С., Зільберталь А.Х., Кобозев В.А., Куниця О.А., Самойлов Д.С., Спірін І.В., Цибулка Я., Adebisi O.A., Baldwin H.D., Bowman L., Brown J., Flaherty C.A., Holroyd E.M., Mangan D.O., Mishalani R., Mohring H., Nelson D., Osuna E.E., Palmere A., Salek M.D., Seddon P.A., Turnquist M., Welding P., Wilson N., та ін.

ЧОП маршрутних ТЗ є однією зі складових загальних витрат часу пасажирів на пересування громадським транспортом. Виникнення ЧОП пов'язано із наявністю не нульових інтервалів часу при русі ТЗ на маршрутах. За інтервал руху між ТЗ, які слідують один за одним, здійснюється накопичення пасажирів на ЗП. Кожен пасажир очікує посадки деякий час протягом всього інтервалу руху ТЗ. У наслідок того, що ТЗ має обмежену місткість, при досить великій кількості пасажирів, що підійшли до зупинки, не всі бажаючі можуть здійснити посадку. У результаті деяка частина їх залишається на ЗП очікувати наступний ТЗ та в цьому випадку їхній час очікування збільшується на величину інтервалу.

Різні аспекти рішення проблеми зниження витрат часу розглядалися в роботах багатьох дослідників. У будь-якому випадку величину ЧОП можна описати як функцію наступних факторів: закономірності прибуття пасажирів до ЗП; інтервалу руху ТЗ; регулярності руху, яку можна оцінити середньоквадратичним відхиленням інтервалу руху ТЗ на маршруті; місткістю ТЗ. Серед розглянутих методів зниження тривалості очікування пасажирами ТЗ МПТ деякі автори розглядають можливість інформування пасажирів про графіки руху ТЗ. В такому випадку ЧОП буде залежати виключно від кожного користувача МПТ та його індивідуального ставлення до поїздки в цілому, що дозволяє мінімізувати як самі витрати часу, так і негативне сприйняття цих витрат пасажиром. Але дослідження цього питання виконувались лише в рамках одного маршруту та не враховувались можливі технології організації роботи ТЗ на міських маршрутах.

У **другому розділі** визначено та формалізовано можливі варіанти обслуговування пасажирів МПТ, для кожного з них сформовано аналітичні залежності для ро-

зрахунку ЧОП ТЗ на ЗП, а також розроблено математичний апарат для переходу від розрахунку ЧОП на одному маршруті до маршрутної системи міста.

У теперішній час у сфері МПТ України сформувалася досить велика кількість технологій організації роботи рухомого складу на маршрутах. Це обумовлено зазвичай не повним виконанням органами місцевого самоврядування функцій замовника перевезень пасажирів міськими маршрутами. В багатьох випадках фактично відсутній контроль за додержанням розкладу руху, наведеного в паспортах маршрутів та навіть за кількістю ТЗ, які на них працюють. Це призводить до занадто великої свободи для транспортних підприємств у виборі форми організації руху ТЗ на маршрутах та появі нових, саморегульованих форм організації роботи ТЗ на міських маршрутах, які унеможливають попереднє ознайомлення пасажирів з часом прибуття чергового ТЗ на ЗП. У цих умовах на ринку транспортних послуг України, за рівнем інформаційного забезпечення, система обслуговування пасажирів міськими маршрутами може мати будь-який рівень у діапазоні між двома крайніми випадками: від повного ознайомлення пасажирів про розклад руху ТЗ на маршруті до повної відсутності такого знання (інтервальний спосіб обслуговування пасажирів). 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. При низькому рівні інформаційного забезпечення пасажирів час очікування ТЗ на ЗП є випадковою величиною, яка визначається технологією організації роботи ТЗ на маршрутах, рис. 1.



Рисунок 1 – Класифікація способів обслуговування пасажирів міським транспортом

Повне уявлення про розклад руху ТЗ на маршруті можливе лише при наявності останнього, що дозволяє виділити дві основні класифікаційні ознаки способів обслуговування пасажирів МПТ: по-перше – це рівень інформаційного забезпечення

пасажирів про розклад руху маршрутного транспорту; по-друге – технологія організації роботи ТЗ на маршруті, рис. 1. При відсутності жорсткого графіку руху, процес відправлення ТЗ від кінцевого ЗП може залежати від інтенсивності наповнення салону ТЗ пасажирями та бути обмеженим часом простою, який в свою чергу визначається водієм маршрутного ТЗ. Крайнім випадком виступає повністю випадковий характер відправлення ТЗ із кінцевого ЗП, який має виключно теоретичне значення.

При невідомому пасажиром розкладі руху, найліпші умови руху ТЗ по маршруту, з точки зору ЧОП, створюються коли ТЗ прибувають на ЗП через рівні інтервали часу.

$$\begin{cases} I_{\phi} = I \\ \sigma_I = 0 \end{cases}, \quad (1)$$

де I_{ϕ} – фактичний інтервал руху ТЗ на маршруті; I – середній інтервал руху ТЗ на маршруті.

Загальновідомо, що математичне сподівання ЧОП для цього випадку завжди буде дорівнювати половині середнього інтервалу руху ТЗ, що є мінімальною оцінкою середньої тривалості випадкового очікування.

Цей результат було отримано за умови прибуття ТЗ на ЗП відповідно до умов стаціонарного потоку, який приймається за основу також і при дослідженні інших технологій організації роботи ТЗ на міських маршрутах. Додатковою умовою при теоретичних дослідженнях вважається можливість спарювання ТЗ на трасі маршруту лише випадковим чином.

Другий варіант роботи маршруту припускає випадкові відхилення часу прибуття ТЗ на ЗП, які розподілені по нормальному закону з нульовим математичним сподіванням та стандартним відхиленням, визначеним згідно з правилом трьох сигм (2). Розклад руху при цьому є рівномірним, як і у попередньому випадку.

$$\sigma_I = \frac{I}{6}, \quad (2)$$

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

Розрахунок стаціонарного ЧОП базується на загальній залежності (3).

$$M(t) = \frac{M(i^2)}{2M(i)}, \quad (3)$$

де M – оператор математичного сподівання; t – середнє значення ЧОП ТЗ на ЗП, хв; i – фактичний інтервал прибуття ТЗ на ЗП, хв.

При цьому:

$$M(i^2) = I^2 + \sigma_i^2, \quad (4)$$

де σ_i^2 – дисперсія випадкової величини інтервалу між черговим прибуттям ТЗ маршруту на ЗП, хв.

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

$$\sigma_i^2 = 2\sigma_I^2 = \frac{I^2}{18}. \quad (5)$$

Підстановка (5) у вираз (3) визначає математичне сподівання ЧОП:

$$M(t) = \frac{I}{2} \cdot \left(1 + \frac{1}{18}\right). \quad (6)$$

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

При розгляді наступного випадку, коли в заданому розкладі руху ТЗ на маршруті зустрічаються різні інтервали, приймається припущення, що інтервали прибуття ТЗ на ЗП МПТ можуть мати тільки два значення: $I_{\min}$ – мінімальний інтервал руху ТЗ на маршруті; $I_{\max}$ – максимальний інтервал руху ТЗ на маршруті. Сума мінімального і максимального інтервалу дорівнює двом середнім інтервалам руху ТЗ:

$$I_{\min} + I_{\max} = 2 \cdot I. \quad (7)$$

Для цього випадку, на основі (3) можна отримати наступний вираз:

$$M(t) = \frac{I_{\min}^2 + I_{\max}^2}{2 \cdot (I_{\min} + I_{\max})}, \quad (8)$$

Для характеристики ступеню нерівномірності інтервалів доцільно ввести допоміжну величину $S \geq 1$, яка показує у скільки разів максимальний інтервал більше мінімального. Тоді максимальний інтервал буде розраховуватися як:

$$I_{\max} = S \cdot I_{\min}. \quad (9)$$

Підстановка виразу (9) в (8), дає наступний вигляд математичного сподівання ЧОП ТЗ на ЗП:

$$M(t) = \frac{I_{\min}}{2} \cdot \left(\frac{1 + S^2}{1 + S} \right). \quad (10)$$

З іншого боку, з урахуванням (7)

$$M(t) = \frac{1 + S^2}{(1 + S)^2} \cdot I. \quad (11)$$

Тобто, для нерівномірного розкладу, тривалість очікування пасажирями МПТ суттєво залежить від ступеню нерівномірності інтервалів.

Під час натурних спостережень за роботою МПТ було виявлено, що в багатьох випадках ТЗ відправляються від кінцевого ЗП слідом за попереднім ТЗ при наповненні салону до певного рівня. Цей рівень, наприклад заповнення всіх сидінь в салоні автобусу, є результатом колективної поведінки водіїв, а час наповнення салону при високій інтенсивності підходу пасажирів, не є значимим і не впливає на відправлення ТЗ. Така ситуація спостерігається на багатьох кінцевих або на проміжних ЗП з великим пасажирообміном (поблизу станцій метрополітену, ринків і т.д., де відбувається значне накопичення пасажирів) та визначає четвертий варіант організації роботи ТЗ на маршруті. У цьому варіанті ТЗ відправляється від ЗП слідом за попереднім через час, за який салон наповниться до заданого рівня $l \geq 1$. Щільність розподілу часу між черговими ТЗ, за умови стаціонарного потоку підходу пасажирів до ЗП, має вигляд:

$$f_l(x) = \lambda \cdot \frac{(\lambda x)^{l-1}}{(l-1)!} \cdot e^{-\lambda x}, \quad (12)$$

де l – заданий рівень наповнення автобусу, осіб; λ – інтенсивність потоку пасажирів, осіб/хв.

Математичне сподівання часу відправлення чергового ТЗ становить:

$$I = M(i) = \frac{l}{\lambda}, \quad (13)$$

а другий момент:

$$M(i^2) = \int_0^{\infty} x^2 f_l(x) dx = \frac{l \cdot (l+1)}{\lambda^2}. \quad (14)$$

Тоді стаціонарне математичне сподівання ЧОП на ЗП значно залежить від бажаного рівня заповнення салону:

$$M(t) = \frac{M(i^2)}{2M(i)} = \frac{I}{2} \cdot \left(1 + \frac{1}{l}\right). \quad (15)$$

З іншого боку, при такому способі взаємодії між водіями, часто спостерігається ситуація коли час відправлення обмежений деякою 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, що створює п'ятий варіант організації роботи ТЗ на міському маршруті. Нехай час простою на посадку пасажирів обмежується константою T . Тоді ТЗ простоює на ЗП час, за який салон наповниться пасажирями 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

$$f_l(x; T) = \begin{cases} \lambda \cdot \frac{(\lambda \cdot x)^{l-1}}{(l-1)!} \cdot \frac{e^{-\lambda x}}{A_l(T)}; x \leq T, \\ 0; x > T \end{cases}, \quad (16)$$

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

Математичне сподівання інтервалу прибуття ТЗ на ЗП знаходиться шляхом інтегрування виразу

$$I = M(i) = \int_0^{\infty} x f_l(x; T) \cdot dx = \frac{l}{\lambda} \cdot \frac{A_{l+1}(T)}{A_l(T)}. \quad (17)$$

Другий момент інтервалу прибуття ТЗ на ЗП має наступний вигляд

$$M(i^2) = \int_0^{\infty} x^2 f_l(x; T) dx = \frac{l \cdot (l+1)}{\lambda^2} \cdot \frac{A_{l+2}(T)}{A_l(T)}. \quad (18)$$

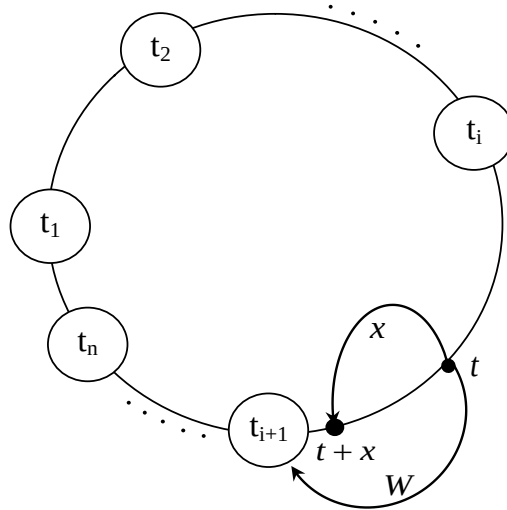
Підстановка (17) і (18) в (3) дає математичне сподівання ЧОП на ЗП:

$$M(t) = \frac{I}{2} \cdot \left(\frac{A_l(T) \cdot A_{l+2}(T)}{(A_{l+1}(T))^2} \right) \cdot \left(1 + \frac{1}{l} \right). \quad (19)$$

Так як функція $A_l(T)$ має монотонний характер, то обмеження за часом відправлення ТЗ зменшує ЧОП в порівнянні із попереднім варіантом.

Найгірший варіант організації роботи маршруту створюється, коли час відправлення ТЗ від початкового ЗП є цілком випадковим та не залежить від часу відправлення інших ТЗ. Обмеження на спарювання ТЗ при цьому унеможлиблює рух цугом. Звичайно, такий спосіб роботи ТЗ є практично неможливим в реальності, але він представляє теоретичний інтерес, так як дозволяє отримати значення найбільшого ЧОП при інтервальному способі обслуговування пасажирів міськими маршрутами.

Нехай в момент підходу пасажирів до ЗП ТЗ рівномірно розподілені на маршруті, рис. 2. 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 n ТЗ розташовані на проміжку часу довжиною $T - x$. Ймовірність цієї події для кожного ТЗ буде становити $\left(\frac{T - x}{T} \right)$.



Умовні позначення:

t_i, t_n – моменти часу на яких знаходяться ТЗ; t – момент підходу пасажирів до ЗП; x – невід’ємний аргумент функції розподілу ймовірності ЧОП наступного ТЗ.

Рисунок 2 – Рівномірний розподіл ТЗ на маршруті

Оскільки на маршруті може працювати декілька ТЗ, то ймовірність того, що час очікування буде більшим ніж x , знаходиться з умови рівномірності та незалежності розподілу ТЗ на маршруті за наступною залежністю:

$$P\{W > x\} = \left(1 - \frac{x}{T}\right)^n, \quad (20)$$

а математичне сподівання знаходиться шляхом інтегрування попереднього виразу:

$$M(W) = \int_0^T \left(1 - \frac{x}{T}\right)^n \cdot dx = \frac{T}{n+1}. \quad (21)$$

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

Функціонування будь-якої ММ міста характеризується взаємодією спільних ділянок маршрутів одного або більше видів транспорту. Розроблені в роботі моделі оцінки ЧОП можуть бути застосовані для оцінки часу очікування ТЗ пасажиром лише одного маршруту, що задовольняє ціль його пересування. В умовах широкого розгалуження міських ММ така ситуація мало ймовірна, 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.

Нехай кількість маршрутів які задовольняють пасажирів в пересуванні дорівнює R . Інтервал прибуття ТЗ на ЗП на i -му маршруті ($i = 1, \dots, R$) має гамма закон

розподілу із параметрами форми n_i (лише цілі значення) та масштабу $\lambda = \frac{1}{I_i}$. Тоді математичне сподівання інтервалу руху ТЗ що проходять через ЗП буде дорівнювати $I_i = \frac{n_i}{\lambda_i}$, а дисперсія $\sigma_i = \frac{n_i}{\lambda_i^2}$. Щільність розподілу інтервалу прибуття ТЗ на ЗП має вид:

$$f_i(t) = \frac{(\lambda_i \cdot t)^{n_i-1}}{(n_i-1)!} \cdot \lambda_i \cdot e^{-\lambda_i \cdot t}. \quad (22)$$

Найпростіший час очікування W_{oc} має щільність розподілу:

$$W_i(t) = \frac{1 - F_i(t)}{I_i} = \frac{\lambda_i}{n_i} \cdot \sum_{k=0}^{n_i-1} \frac{(\lambda_i \cdot t)^k}{k!} \cdot e^{-\lambda_i \cdot t}. \quad (23)$$

Математичне сподівання ЧОП першого із ТЗ, що прибуде на зупинку:

$$MW = \int_0^{\infty} P\{W > t\} dt = \frac{1}{\prod_{i=1}^R n_i} \cdot \sum_{k=0}^{\infty} \frac{k!}{\lambda^{k+1}} \cdot \sum_{\substack{0 \leq s(1) \leq n_1-1 \\ 0 \leq s(2) \leq n_2-1 \\ 0 \leq s(R) \leq n_R-1 \\ s(1)+s(2)+\dots+s(R)=k}} \prod_{i=1}^R \frac{\lambda_i^{s(i)}}{(s(i))!} \cdot (n_i - s(i)). \quad (24)$$

Залежність (24) 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.

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 ММ м. Харкова, визначені параметри підходу пасажирів до ЗП при невідомому для них розкладу руху ТЗ. Наведені результати емпіричних досліджень та розрахунку середнього ЧОП ТЗ на ЗП при відомому для пасажирів розкладі руху.

Розроблені теоретичні моделі ЧОП маршрутних ТЗ засновані на припущенні про найпростіший потік пасажирів, яке в реальності може виявитися некоректним, що вимагає перевірки точності моделей на основі характеристик реального потоку пасажирів. Єдиним практично можливим способом проведення такої перевірки є імітаційний експеримент, для якого в роботі побудований план проведення та імітаційні моделі з розрахунку ЧОП для кожної із визначених технологій організації руху ТЗ на міських маршрутах, при інтервальному способі обслуговування пасажирів.

Експериментальна перевірка полягає у проведенні серії експериментів, в кожному з яких визначаються параметри підходу 300 пасажирів до ЗП та прибуття на нього ТЗ протягом ранкового періоду пік. Для кожного пасажирів визначається час очікування за умови, що він використовує для поїздки перший маршрутний ТЗ, який

прибув на зупинку. Кількість таких серій експерименту також прийнята рівною 300, а накопичені випадкові значення середнього ЧОП використовуються для перевірки адекватності теоретичних моделей. Теоретичну модель можливо вважати точною, якщо розподіл відхилень отриманих середніх значень ЧОП від теоретичного середнього виявився нормальним, з математичним сподіванням близьким до нуля.

Імітаційні моделі описують два випадкові процеси: 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 окремо.

Час очікування кожного пасажирів безпосередньо є різницею між часом під'їзду ТЗ на ЗП та часом підходу пасажирів:

$$T_{\text{оч.пас.}} = T_i^{\text{під.тз}} - T_{\text{підх.пас.}} \rightarrow \min, \quad (25)$$

де $T_i^{\text{під.тз}}$ – час прибуття ТЗ на ЗП, год:хв; $T_{\text{підх.пас.}}$ – час прибуття пасажирів на ЗП, год:хв.

Час прибуття пасажирів на ЗП розраховується як:

$$T_{\text{підх.пас.}} = t_{\text{ран.вих.}} + \mu, \quad (26)$$

де $t_{\text{ран.вих.}}$ – ранній час виходу пасажирів із дому, год:хв; μ – відхилення часу виходу пасажирів із дому від раннього часу, год:хв.

Ранній час виходу пасажирів із дому розраховується один раз для кожної серії експерименту i , згідно з результатами обстежень в Харкові, він розподілений по нормальному закону із середнім значенням 7 год 20 хв і середньоквадратичним відхиленням рівним 45 хв. Фактичний час виходу із дому визначається для кожного пасажирів через випадкову затримку відносно раннього часу виходу, яка розподілена по показниковому закону із параметром $\lambda = 0,137$.

Час прибуття ТЗ на ЗП розраховується відповідно до технології організації роботи рухомого складу на маршрутах:

$$T_i^{\text{під.тз}} = t_{i-1}^{\text{під.тз}} + J_i, \quad (27)$$

де $t_{i-1}^{\text{під.тз}}$ – час прибуття попереднього ТЗ на ЗП, год:хв; J_i – розрахункове значення інтервалу руху ТЗ в залежності від обраної технології роботи на маршруті, хв.

Межі зміни інтервалів руху ТЗ на маршруті були прийняті для ранкового періоду пік в межах 2 – 10 хв. Результати проведення імітаційного експерименту наведено в таблиці 1.

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.

Таблиця 1 – Результати імітаційного експерименту з оцінки точності теоретичних моделей

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	Середньоквадратичне відхилення	
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	
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	

Метою проведення наступного обстеження є визначення фактичного значення тривалості очікування пасажирів ТЗ на міських зупинках, у випадку коли їм відомий розклад руху ТЗ на маршруті. Для забезпечення цієї умови обстеження проводилося вранці з 5-ї до 6-ї години, коли перші рейси на маршрутах міського транспорту завжди виконуються за розкладом, а кількість випадкових пасажирів, незнайомих з розкладом руху, є незначною. Спостереження проводились в Харкові протягом 15 робочих днів на 10 міських маршрутах: автобусних – №№ 88, 119, 221; трамвайних – №№ 5, 6, 8, 20, 27 та тролейбусних – №2 і №40. Всього отримано 594 емпіричних значень ЧОП, середній ЧОП за результатами обстеження склав 5,72 хв. Виявилося, що випадкова величина ЧОП для охоплених обстеженням маршрутів розподілена за показниковим законом розподілу із ймовірністю критерію χ^2 $P = 7\%$.

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.

Розрахунок фактичного ЧОП ТЗ на ЗП для ММ в цілому, при інтервальній технології обслуговування пасажирів з використанням залежності (24) складається з

декількох етапів: визначення для кожної пари ЗП в місті інтервалів руху ТЗ усіх маршрутів, що їх з'єднують; розрахунок параметру форми розподілу інтервалів руху ТЗ на маршрутах; визначення ЧОП для кожної пари ЗП, враховуючи параметри форми випадкової величини інтервалів руху ТЗ на маршруті; визначення величини кореспонденції між кожною парою ЗП; розрахунок середньозваженого ЧОП для ММ міста.

Середня тривалість очікування ТЗ пасажирями при інтервальній технології обслуговування пасажирів відповідно для ранкового пікового періоду за результатами розрахунку становить 9,9 хв, що суттєво перевищує аналогічний показник для пасажирів, що знають розклад руху на маршрутах.

Визначення соціальної ефективності полягає у порівнянні середнього ЧОП для двох технологій обслуговування пасажирів МПТ: інтервальній та за відомим розкладом руху. Інформаційною основою для проведення розрахунків стала матриця кореспонденцій ранкового періоду пік у робочий день у місті Харків.

$$C = \frac{(W_{\text{оч}}^{\text{ит}} - W_{\text{оч}}^{\text{пп}}) \cdot Q \cdot D_p}{60}, \quad (28)$$

де $W_{\text{оч}}^{\text{ит}}$ – середній ЧОП ТЗ на ЗП для ММ при інтервальній технології обслуговування, хв; $W_{\text{оч}}^{\text{пп}}$ – середній ЧОП при технології обслуговування за відомим розкладом руху ТЗ на маршрутах, хв.; Q – кількість пересувань, що реалізують пасажирів, які ознайомлені з розкладом руху за один день, пас./добу; D_p – кількість робочих днів у році (у 2015 році – 250 днів).

За залежністю (28) очікуваний соціальний ефект від впровадження технології обслуговування пасажирів за розкладом руху становить 62613 год/рік.

Основними завданнями при переході з інтервальної технології на технологію обслуговування пасажирів громадського транспорту 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 розповсюдження інформації про розклад руху, яка забезпечить високий рівень ознайомлення пасажирів із ним.

Тому 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.

$$E = D - B, \quad (29)$$

де E – вартісна оцінка соціального ефекту від реалізації запропонованих заходів щодо реорганізації процесу обслуговування пасажирів МПТ, грн/рік; D – вартісна оцінка вигоди пасажирів за рахунок економії часу очікування транспорту на ЗП, грн/рік; B – витрати, необхідні на реалізацію запропонованих заходів, грн/рік.

Потенційна вартісна оцінка вигоди за рік має розраховуватись як добуток виграного пасажирями часу протягом доби, середньої вартості однієї робочої години і кількості робочих днів у році. Як вихідні дані обрано доступну статистичну інформацію за 2015 рік. Середньомісячна заробітна плата у розрахунку на одного штатного робітника становить 4195 грн/місяць. Кількість робочих годин у 2015 році за офіційними джерелами при 40-ка годинному робочому тижні дорівнює 2004 години. Тоді середня вартість однієї години праці робітника становить 25,12 грн/год. В такому разі, вигода від скорочення тривалості очікування пасажирями транспорту на зупинці складає 1572839 грн/рік.

Витратна частина переходу до технології обслуговування пасажирів громадським транспортом за відомим розкладом руху, пов'язана перш за все із процедурою інформування пасажирів про розклад руху та організацією контролю за дотриманням водіями графіків руху. Для забезпечення високого рівня обізнаності пасажирів стосовно розкладу руху ТЗ, система їх ознайомлення з розкладом має включати в себе найбільш ефективні способи інформування, до яких відносяться: публікація розкладу руху маршрутного транспорту у періодичних або спеціальних міських друкованих виданнях (газетах, довідниках та інш.); розміщення розкладу руху на WEB сайті міста, перевізника чи окремо розробленому спеціальному інтернет ресурсі; розміщення розкладу на інформаційних таблицях на ЗП МПТ; розробка спеціальних інформаційних програм для мобільних телефонів або інших пристроїв; розробка та розповсюдження інформаційних брошур різного виду та формату.

Тоді витрати, спрямованні на належне інформування пасажирів, дорівнюють

$$B = B_{\text{ер}} + B_{\text{рр}} + B_{\text{гл}} + B_{\text{пв}} + B_{\text{пп}} + B_{\text{б}}, \quad (30)$$

де $B_{\text{ер}}$ – витрати пов'язані із розробкою електронної бази даних та розробка електронного ресурсу в мережі інтернет, грн/рік; $B_{\text{рр}}$ – витрати на розробку, виготовлення та розміщення розкладу руху на ЗП ММ міста, грн/рік; $B_{\text{гл}}$ – витрати на організацію та обслуговування гарячої лінії, грн/рік.; $B_{\text{пв}}$ – витрати на опублікування розкладу в щоденних чи періодичних виданнях, грн/рік; $B_{\text{пп}}$ – витрати на розробку програмного продукту на мобільні пристрої, грн/рік; $B_{\text{б}}$ – витрати на друк різноманітних брошур із розкладом, грн/рік.

Сума всіх статей витрат надає загальні річні витрати в розмірі

$$B = 14800 + 34901,8 + 165000 + 291192 + 81754,8 + 33360 = 786009 \text{ грн/рік.}$$

Тоді соціальний ефект ознайомлення мешканців м. Харкова з розкладом руху у ранковий піковий період протягом одного року становитиме

$$E = 1572839 - 786009 = 786830 \text{ грн/рік.}$$

Отриманий результат свідчить про високу ефективність цього напряму діяльності для міської влади, оскільки при достатньо невисоких матеріальних витратах на організацію обслуговування пасажирів за розкладом руху, місто зможе забезпечити

суттєве зниження ЧОП, досягти значного покращення умов руху громадським транспортом та підвищити його конкурентоздатність по відношенню до приватного транспорту.

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 1572,8 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 786 тис. грн на рік. Вартісна оцінка соціального ефекту цього переходу протягом одного року становитиме 786,8 тис. грн, що наглядно свідчить про високу ефективність цього напрямку діяльності для міста.

СПИСОК НАУКОВИХ ПРАЦЬ ЗАТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. 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.
2. Горбачов П.Ф. Аналітична оцінка мінімальних та максимальних витрат часу пасажирів на зупинці міського маршруту / П.Ф. Горбачов, О.В. Макарічев, О.В. Россолов, Є.В. Любий, В.М. Чижик // Автомобільний транспорт. – 2013. – № 32. – С. 67–71.
3. Россолов О.В. Дослідження закономірності зміни тривалості часу очікування пасажирів маршрутних транспортних засобів / О.В. Россолов, В.М. Чижик, С.Ю. Гончаренко // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2013. – №5. – С. 67–69.
4. 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.
5. Горбачов П.Ф. Оцінка середнього часу очікування пасажирів транспортних засобів для маршрутної мережі міста / П.Ф. Горбачов, О.В. Макарічев, В.М. Чижик // Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. – 2016. – № . 72. – С. 67–71.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

6. Збірник тез доповідей VII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів та аспірантів “Підвищення надійності машин і обладнання”. – Кіровоград: КНТУ, 2013. – 215 с.
7. Матеріали IV-ої Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми розвитку транспортних систем і логістики», м. Євпаторія, 14-16 травня 2013 року:

збірник наукових праць / Міністерство освіти і науки України, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля [та інш.]. – Луганськ: СХУ ім. В. Даля, 2013. – 236 с.

8. Матеріали Міжнародної науково-методичної конференції «Сучасні інформаційно-комунікаційні технології в науці та освіті». – Харків: ХНАДУ, 2013.

9. 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.

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

10. А.С. Методика оцінки часу очікування пасажирів при різних способах організації руху транспортних засобів на маршруті / В.М. Чижик, (Україна). – № 61679; зареєстровано 14.09.15.

АНОТАЦІЯ

Чижик В.М. Розробка аналітичних моделей визначення часу очікування пасажирів маршрутного транспорту в містах. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.01 – «Транспортні системи». – Харківський національний автомобільно-дорожній університет, МОН України, Харків, 2018.

Дисертація присвячена розробці теоретичних моделей розрахунку ЧОП МПТ при невідомому розкладі руху ТЗ на міських маршрутах та оцінці ефективності переходу до технології обслуговування пасажирів, коли їм відомий розклад руху маршрутного транспорту, який повністю виконується перевізниками.

В роботі формалізовані основні способи організації руху ТЗ на маршруті: як за попередньо сформованим розкладом руху на маршруті, так і за умови роботи маршруту без жорсткого розкладу.

У першому випадку виділені варіанти, які забезпечують рівний інтервал 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 формалізована 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. Розроблено методику переходу розрахунку ЧОП від одного маршруту до ММ міста в цілому, що дозволило оцінити соціальну ефективність попереднього ознайомлення пасажирів з розкладом руху ТЗ в маршрутній системі м. Харків.

Ключові слова: час очікування пасажирів, міський пасажирський транспорт, маршрутна мережа, імітаційне моделювання, розклад руху, закон розподілу.

АННОТАЦИЯ

Чижик В.М. Разработка аналитических моделей определения времени ожидания пассажирами маршрутного транспорта в городах. – Квалификационный научный труд на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.01 – «Транспортные системы». – Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, МОН Украины, Харьков, 2018.

Диссертация посвящена разработке моделей расчета времени ожидания пассажирами (ВОП) транспортных средств (ТС) на остановочных пунктах (ОП) городского пассажирского транспорта (ГПТ) при неизвестном расписании их движения на маршрутах. Оценке эффективности перехода к технологии обслуживания пассажиров с предварительным их ознакомлением с расписанием движения транспорта, при условии полного соблюдения разработанных графиков движения на маршрутах.

В работе формализованы основные, из сложившихся к настоящему времени, технологии организации движения ТС на маршруте – как по заранее сформированному маршрутному расписанию, так и без соблюдения жесткого расписания движения.

В первом случае выделены варианты соблюдения равного интервала движения ТС без отклонений от расписания и с нормально распределёнными отклонениями фактического времени отправления, а также переменный интервал с двумя значениями, которые чередуются.

Во втором случае, формализованы технологии отправления ТС по заполнению салона до заранее определенного уровня с ограничением и без ограничения на время простоя ТС на начальных ОП маршрута, а также собственно случайное отправление ТС от остановки.

С целью получения эмпирического материала, необходимого для прогнозирования ВОП транспорта, при неизвестном для них расписании движения, проведено обследование фактического интервала прибытия ТС на ОП.

В результате анализа полученных данных выявлено, что интервал прибытия ТС на ОП описывается гамма законом распределения случайной величины. Для параметров гамма закона, то есть масштаба и формы, проведен регрессионный анализ на предмет их взаимосвязи со средним интервалом движения ТС на маршруте. В результате регрессионного анализа определено, что параметр масштаба имеет очень тесную связь с интервалом движения ТС и регрессионная модель обеспечивает достаточную точность прогнозирования параметра масштаба. Что касается параметра формы, который имеет менее выраженную взаимосвязь с интервалом движения ТС, то в имитационной модели целесообразно рассчитывать его значение исходя из планового интервала и уже полученного параметра масштаба гамма-распределения.

Результаты эмпирических исследований использованы для оценки продолжительности ВОП транспорта на остановках. Выявленные зависимости стали основой для построения имитационной модели прогнозирования среднего ВОП. Для всех технологий организации работы городских маршрутов с помощью имитационного эксперимента подтверждено соответствие разработанных теоретических моделей расчета ВОП реальным процессам взаимодействия пассажиров и ТС на ОП.

При известном пассажирам расписании движения ТС на маршруте, зафиксировано фактическое время ожидания на остановке. Обследованы трамвайные, троллейбусные и автобусные маршруты г. Харьков. Результаты показали, что ВОП в этом случае распределено по показательному закону с параметром 0,175 и средним значением 5,72 мин. при среднем фактическом интервале движения на обследованных маршрутах – 26,46 мин.

Рассчитано фактическое ВОП ТС на ОП для маршрутной сети в целом, при интервальной технологии обслуживания пассажиров. Расчет, выполненный с помощью вычислительной процедуры, реализованной в программной среде MS Excel, показал, что средняя продолжительность ожидания ТС пассажирами для утреннего пикового периода в г. Харьков составляет 9,9 мин.

Реализация программы перехода к обслуживанию пассажиров ГПТ по известному расписанию движения требует определенных усилий, затрат времени и финансов, которые в течение года составляют 786 тыс. грн. Стоимостная оценка положительных результатов перехода, то есть сэкономленного пассажирами времени ожидания маршрутных ТС, составляет 1572,8 тыс. грн. В этом случае стоимостная оценка социальной эффективности ознакомления жителей г. Харькова с расписанием движения в утренний пиковый период, в течение одного года составит 786,8 тыс. грн, что наглядно свидетельствует об эффективности этого направления деятельности для города.

Ключевые слова: время ожидания пассажиров, городской пассажирский транспорт, маршрутная сеть, имитационное моделирование, расписание движения, закон распределения.

ABSTRACT

Chyzhyk V. Development of analytical models for determining the waiting time for passengers of public transit in cities. – Qualifying scientific work on the manuscript.

Thesis for a candidate degree (PhD) in specialty 05.22.01 "Transport Systems" (275 – Transportation technology (for automobile transport)). – Kharkiv National Automobile and Highway University Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2018.

The given thesis deals with the development of theoretical models for determining the passenger waiting time in the headway based service of urban routes and an efficiency assessing of the transition to the schedule based service.

In the paper, the main ways of the urban route functioning: from full implementation of the constant headway schedule to the completely random departure time of transport units from a start terminal and the experimental verification of obtained theoretical models are carried out using a simulation model were formalized. The method of transition of the passenger waiting time calculation from one route to the entirely urban public transit has been developed, which in turn made it possible to evaluate the social efficiency of preliminary familiarization of passengers with the route time-table in Kharkiv.

Key words: waiting time, public transit, simulation, timetable, distribution law.

Підписано до друку 15.02.2018 р. Формат 60х90/16.
Папір офісний. Гарнітура Таймс Нью Роман.
Ум. друк. арк. 0,9. Тираж 100. Зам. № 188

Надруковано ФОП «Черенок К.В.»
Свідоцтво В02 №353856 від 25.09.2006 р.
м. Київ, вул. Пушкінська, 45/2
тел.: (044) 235-81-92, 228-45-05