

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ  
УНІВЕРСИТЕТ

ГОНЧАРЕНКО СЕРГІЙ ЮРІЙОВИЧ

УДК 656.072

ВИЗНАЧЕННЯ ПОПИТУ НА ПОСЛУГИ  
ПАСАЖИРСЬКОГО МАРШРУТНОГО ТРАНСПОРТУ  
В СЕРЕДНІХ МІСТАХ

Спеціальність 05.22.01 – Транспортні системи

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків – 2017

Дисертацією є рукопис.

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

**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  
**Альошинський Євген Семенович**  
Український державний університет залізничного транспорту, професор кафедри транспортних систем та логістики

кандидат технічних наук, доцент  
**Яновський Петро Олександрович**  
Національний авіаційний університет, професор кафедри організації авіаційних перевезень

**Захист відбудеться «30» червня 2017 р. о 12<sup>00</sup> 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 ознайомитися у бібліотеці Харківського національного автомобільно-дорожнього університету за адресою: 61002, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

Автореферат розісланий

«29» травня 2017 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради



О.П. Смирнов

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Соціально-економічна діяльність людини, яка проживає в місті, передбачає здійснення пересувань, які можуть реалізовуватися пішки, індивідуальним або громадським транспортом. З ростом територій міст питомий вміст піших пересувань значно скорочується через збільшення просторової диференціації житлових і виробничих об'єктів, а також об'єктів культурного, соціального і побутового призначення. Незначні грошові витрати на поїздку, достатня тривалість функціонування (в рамках однієї доби), територіальна доступність і висока частота обслуговування – все це стало причиною активного використання міського маршрутного транспорту (ММТ). Основною метою його функціонування є задоволення потреб населення в пересуваннях з мінімальними витратами часу. При цьому ступінь досягнення даної мети безпосередньо залежить від повноти та достовірності інформації про попит на транспортне обслуговування населення. Адекватна модель попиту на пересування пасажирів дозволяє спроектувати маршрутну мережу (ММ) міста та задати її раціональні параметри таким чином, щоб найбільш повно задовольнити потреби в пересуваннях кожного мешканця.

Міста з чисельністю жителів від 50 до 250 тис., що відносяться до категорії «середніх», не позбавлені даної проблеми, а їх досить велика кількість (66 одиниць на 01.01.2015 р.) вказує на актуальність вирішення даного питання для даної групи міст в рамках всієї України.

Більшість досліджень з визначення попиту на пересування міським пасажирським транспортом (МПТ) виконуються для міст з чисельністю понад 500 тис. жителів, що належать до найбільших агломерацій України. Розроблені методики сформовані на основі масового характеру процесів, що відбуваються на ММ зазначеної категорії міст. Це дозволяє виконувати перехід від випадкового характеру процесу пересування окремо взятої людини до стійких закономірностей формування попиту на транспортне обслуговування населення міста на ММ громадським транспортом. Однак, така технологія досліджень неможлива для середніх міст з причини їх суттєвої відмінності від крупних та крупніших.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Проблема визначення попиту на послуги МПТ відповідає Концепції розвитку транспортно-дорожнього комплексу України на середньостроковий період та до 2020 року затвердженої наказом Міністерства транспорту та зв'язку України від 8 січня 2008 року №7 та Транспортної стратегії України на період до 2020 року, затвердженої постановою Кабінету Міністрів України від 20.10.2010 р. №2174. Запропоновані в роботі методики проведення вибіркового табличного обстеження на ММ, а також формування маршрутних і мережевої матриці пасажирських кореспонденцій були використані при виконанні науково-дослідних робіт «Розробка раціонального варіанту маршрутної мережі міста Олександрія», № держреєстрації 0113U005179, «Розробка раціонального варіанту маршрутної мережі міського пасажирського транспорту Охтирки», № держреєстрації

0114U005462, «Моделювання та аналіз маршрутної мережі громадського транспорту міста Нікополя», № держреєстрації 0115U004775.

**Мета і задачі дослідження.** Метою роботи є розробка нового методу визначення попиту на послуги міського пасажирського транспорту в середніх містах України. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

– провести аналітичний огляд літературних джерел, в яких описуються методи та моделі визначення попиту на транспортне обслуговування міським маршрутним транспортом;

– провести теоретичні дослідження попиту на послуги міського пасажирського транспорту в середніх містах;

– обґрунтувати методику проведення вибіркового обстеження пасажиропотоків табличним методом на маршрутах наземного пасажирського транспорту;

– розробити метод визначення місць пересадок на маршрутній мережі, що базується на результатах табличного обстеження пасажиропотоків;

– розробити імітаційну модель формування матриці мережевих кореспонденцій для середніх міст;

– розробити методику визначення попиту на послуги маршрутного пасажирського транспорту середніх міст та оцінити результати моделювання попиту на пересування пасажирів за запропонованою методикою.

**Об'єкт дослідження** – процес формування попиту населення середніх міст на послуги міського пасажирського транспорту.

**Предмет дослідження** – закономірності формування пасажирських кореспонденцій в середніх містах.

**Методи дослідження.** При розробці теоретичних основ формування попиту на пересування використовувалися методи аналізу, абстрагування, формалізації та математичного моделювання. Для визначення статистичних характеристик величин маршрутних кореспонденцій використовувалися методи теорії ймовірностей і математичної статистики. Локалізація місць пересадок на маршрутній мережі міста виконувалась на основі індуктивного методу і інструментарію теорії ймовірностей. Формування добових матриць маршрутних кореспонденцій виконувалося з використанням імітаційного моделювання. При отриманні характеристик пасажирообміну на ММ використовувався метод натурних спостережень. Визначення закономірностей формування попиту в середніх містах виконувалося на основі гіпотетичного методу і методології математичної статистики.

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

– розроблено новий науковий підхід до формування матриць маршрутних кореспонденцій на основі вибіркового обстеження та імітаційної моделі, який на відміну від існуючих, дозволяє статистично обґрунтувати кількість необхідних спостережень для забезпечення заданого рівня достовірності даних;

– розроблено новий метод визначення місць пересадки пасажирів на маршрутній мережі на основі даних про пасажирообмін зупиночних пунктів, який

на відміну від існуючих, дозволяє з заданою ймовірністю аналітично локалізувати місця пересадки шляхом врахування амплітуди коливань пасажирообміну.

*Удосконалений* підхід до моделювання попиту на транспортне обслуговування за рахунок розробленого способу агрегування маршрутних матриць кореспонденцій.

*Отримали подальший розвиток* методи формування моделі попиту пасажирів на пересування на основі результатів обстеження міських маршрутів табличним методом.

**Практичне значення результатів дослідження** полягає в розробці методик формування моделі попиту на пересування та визначення місць пересадок пасажирів на основі результатів вибіркового обстеження табличним методом на маршрутній мережі середнього міста, а також їхньому застосуванні при виконанні НДР в різних містах України. Розроблена методика вибіркового обстеження табличним методом на маршрутній мережі дозволяє значно скоротити трудомісткість проведення обстеження шляхом при забезпеченні заданого рівня довірчої ймовірності потрібної точності результатів. Практична значимість результатів досліджень підтверджується актами впровадження при виконанні НДР з розробки раціональних варіантів ММ м. Охтирка, м. Олександрія та аналізу ММ м. Нікополь. Розроблена методика розрахунку рейсових матриць маршрутних кореспонденцій використовується при вивченні дисципліни «Моделювання транспортних систем» студентами факультету «Транспортні системи» спеціальності «Транспортні технології», що підтверджується відповідним актом впровадження.

**Особистий внесок здобувача.** Всі положення, що виносяться на захист, і результати їх застосування наведені в роботах [1–10] і отримані автором самостійно. У наукових працях, опублікованих у співавторстві, особистий внесок здобувача полягає в наступному. В роботі [1] представлена методика і результати обстеження кількості пасажирів, які відправляються від зупиночних пунктів (ЗП) міського маршрутного транспорту. В [3] наведено розроблений модифікований метод обстеження пасажиропотоків табличним методом, який полягає в проведенні вибірових спостережень на маршрутній мережі із заданим рівнем довірчої ймовірності необхідної точності. В роботі [4] формалізована процедура пересадки пасажирів і розроблена математична модель визначення пар маршрутів та їх ЗП, на яких відбувається зміна шляху пересування пасажирів в ММ. Розроблено методику отримання мережевої матриці пасажирських кореспонденцій за результатами вибіркового обстеження табличним методом на мережі середнього міста [5].

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

– IV міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми розвитку транспортних систем і логістики» (ВНУ ім. В. Даля, м. Євпаторія, 14–16 травня, 2013 р.);

– 77–79-й науково-технічних конференціях і науково-методичних сесіях ХНАДУ (м. Харків, 2013–2015 рр.);

– V міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми розвитку транспортних систем і логістики» (ВНУ ім. В. Даля, м. Луганськ, 5–8 травня, 2014 р.);

– III всеукраїнської науково-практичної конференції «Професійний менеджмент в сучасних умовах розвитку ринку» (НФУ, г. Харків, 4 листопаду, 2014 р.);

– IX всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів «Підвищення надійності машин і обладнання» (КНТУ, м. Кіровоград, 15–17 квітня, 2015 р.).

**Публікації.** Основні положення дисертації опубліковано в 10 наукових роботах, в тому числі 5 публікацій у наукових фахових виданнях України, 3 статті – у виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз, 4 тези в збірниках доповідей на наукових конференціях. По матеріалах дослідження отримано 1 авторське свідоцтво.

**Структура й обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг роботи складає 182 сторінки, основного тексту 124 сторінки, 54 рисунки та 24 таблиці, 5 додатків на 39 сторінках, список використаних джерел складає 105 найменувань, розміщених на 11 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано її мету та задачу, визначено об'єкт, предмет дослідження, наведено наукову новизну, розкрито теоретичне і практичне значення отриманих результатів.

**Перший розділ** дисертаційної роботи присвячений аналізу існуючих моделей та методик визначення попиту населення міст на послуги МПТ, проведено систематизацію цих методів виходячи з поширеної області їх застосування для різних типів міст України та інших країн світу.

Значний вклад в розвиток питання визначення попиту на послуги МПТ зробили такі науковці, як М.О. Брайловський, Н.В. Буличева, В.О. Вдовиченко, В.М. Вейцман, Г.А. Гольц, П.Ф. Горбачов, Б.І. Грановський, В.К. Доля, Г.А. Заблоцький, В.М. Кобозев, Є.В. Любий, В.М. М'ягков, С.В. Поляков, О.В. Россолов, Д.С. Самойлов, Е.О. Сафронов, В.П. Федоров, М.Г. Шаров, Г.В. Шелейховський, С.В. Якшин, В.А. Юдін, L.A. Brown, T.J. Fratar, D. Lose, E.G. Moore, S. Stouffer, L.G. Willumsen, A.G. Wilson, K. Winston та ін.

При визначенні потреб населення в пересуваннях МПТ більшість вчених в сфері транспорту формалізують попит у вигляді матриці пасажирських кореспонденцій (МПК). Ключовим питанням в рамках задачі побудови МПК є рівень точності отриманих результатів. Найкращі моделі попиту за даним критерієм отримують при використанні натурних методів в умовах суцільних обстежень, але в повній мірі їх можливо застосувати лише в малих містах в зв'язку з прийнятною трудомісткістю та незначною кількістю обліковців. По мірі збільшення масштабів міст швидко зростає трудомісткість суцільного обстеження, що значно ускладнює процедуру отримання МПК. В зв'язку з цим

для крупних та крупніших міст широкого застосування набули апріорні методи, які дозволяють розрахувати МПК на основі даних про місткості змодельованих транспортних районів (ТР) та висунуту гіпотезу про характер впливу одного з транспортних факторів на формування величини пасажирської кореспонденції. Найбільшим недоліком цих методів є слабкий зв'язок з фактичними даними про потреби населення у пересуваннях, що може призводити до дуже значної різниці між розрахунковими та фактичними значеннями кореспонденцій. При цьому проведення процедури калібрування не гарантує суттєвого зростання точності даних в МПК. Для збільшення точності моделювання та наближення його результатів до реальності, при розрахунку МПК необхідно спиратися на результати натурних спостережень на маршрутній мережі міста.

Іншим напрямом формування моделі попиту є інтервальне моделювання, яке значення кореспонденції як стохастичну величину за умови сталих значень місткостей ТР. В результаті імітаційного моделювання формується набір варіантів МПК, які відбивають можливі стани попиту на послуги МПТ в заданій системі обмежень. Основним недоліком цього методу є недостатня різноманітність методів формування альтернативних матриць кореспонденцій, що знижує практичну ефективність такого підходу до визначення попиту на послуги МПТ. Але його значною перевагою є врахування випадкового характеру попиту при формалізації процесу розрахунку величин пасажирських кореспонденцій, що дозволяє перейти від категорії точності МПК до поняття достовірності результуючих даних.

Методика формування МПК в середніх містах повинна опиратися на результати натурних обстежень, як найбільш надійних методів отримання даних про пересування пасажирів по ММ, та враховувати імовірнісний характер попиту на пересування.

У **другому розділі** дисертаційної роботи розроблено теоретичні основи моделювання матриць маршрутних кореспонденцій по результатах вибіркового обстеження на маршрутній мережі міста, статистичний підхід до визначення місць пересадки пасажирів на ММ на основі результатів табличного обстеження та принципи агрегування матриці мережевих кореспонденцій.

Використання табличного методу обстеження пасажиропотоків дозволяє отримати повну інформацію про пасажирообмін (ЗП) та дати оцінку обсягів перевезень по маршрутах. Але для перетворення пасажирообміну ЗП в величини кореспонденцій між ними, необхідна методика прогнозування кількості поїздок, що виконується між парами зупинок. Основою для побудови мережевої МПК в такому разі є матриці рейсових кореспонденцій по усіх маршрутах за добу, а попит на послуги МПК можна формалізувати як функцію виду:

$$H_c = f(\forall H_k, k_n), \quad (1)$$

де  $H_c$  – матриця мережевих кореспонденцій;

$H_k$  – матриця кореспонденцій  $k$ -го маршруту;

$k_n$  – коефіцієнт пересадковості.

Виходячи зі значно більшої трудомісткості проведення обстежень в середніх містах в порівнянні з малими, запропоновано проводити вибіркові заміри на маршрутній мережі. В цьому разі по кожному маршруту визначається коефіцієнт вибірковості обстеження:

$$C_k = \frac{A_k}{a_k}, \quad C_k \geq 1, \quad (2)$$

де  $C_k$  – коефіцієнт приведення вибіркових значень кореспонденцій до їх реальних по  $k$ -му маршруту;

$A_k$  – кількість рейсів, що виконується за добу на  $k$ -му маршруті згідно розкладу руху, од.;

$a_k$  – кількість рейсів, що було обстежено на  $k$ -му маршруті, од.

Кожен обліковець таким чином фіксує інформацію, яка відбиває данні про кореспонденції між парами ЗП  $p$  та  $l$ . З урахуванням вибірковості обстежень оцінку величини пасажирської кореспонденції  $h_{pl}$  можна представити у вигляді чисельного ряду:

$$h_{pl} = C_1 \cdot h_{1pl} + C_2 \cdot h_{2pl} + C_3 \cdot h_{3pl} + \dots + C_n \cdot h_{npl} = \sum_k^{M_{pl}} C_k \cdot h_{kpl}, \quad (3)$$

де  $M_{pl}$  – кількість маршрутів, що обслуговують кореспонденцію між ЗП  $p$  та  $l$ .

Вибірковість обстеження табличним методом значно скорочує трудомісткість обстеження, але негативним чинником при його проведенні є неповнота отриманих даних. При їх приведенні до генеральної сукупності шляхом відновлення даних по необстеженим рейсам може виникати похибка прогнозу, яка буде значно погіршувати достовірність даних МПК. В цьому разі потрібно збільшувати кількість замірів по маршрутах. Таким чином, на рівень похибки вибіркового обстеження оказує вплив коефіцієнт вибірковості обстеження, заданий рівень довірчої ймовірності та ступінь варіативності значень кореспонденцій. На основі цього методом індукції побудовано модель відносної похибки вибіркового обстеження:

$$\delta_{pl}^{\alpha} = \frac{\gamma_{\alpha} \cdot \left( \sum_{k=1}^M h_{pl}^k \cdot \left( \frac{A_k}{a_k} \right)^2 \right)^{0,5}}{\sum_{k=1}^M h_{pl}^k \cdot \left( \frac{A_k}{a_k} \right)}, \quad (4)$$

де  $\gamma_{\alpha}$  – квантиль розподілу, що визначається на основі рівня довірчої ймовірності.

$M$  – кількість маршрутів в ММ, од.

Процедура обстеження пасажиропотоків табличним методом дає можливість отримати інформацію про кількість пасажирів що ввійшли та вийшли з маршрутного транспортного засобу (МТЗ) до певного ЗП  $l$ . Це є адитивні дані, які формуються на основі зафіксованого пасажирообміну, який відбувся до  $l$ -ї зупинки. На основі цього в роботі висунуто гіпотезу, що величина кореспонденції прямо пропорційна добутку місткостей ЗП по відправленню та прибуттю та зворотно пропорційна накопиченим обсягам відправлень пасажирів, які було виконано до  $l$ -ї зупинки:

$$\bar{h}_{pl}(k) = \frac{D_p}{D(l)} \cdot Ar_l, \quad (5)$$

де  $\bar{h}_{pl}(k)$  – розрахункова оцінка величини рейсової кореспонденції між ЗП  $p$  та  $l$ .

$D_p$  – обсяг відправлення пасажирів з  $p$ -го ЗП  $j$ -го рейсу  $k$ -го маршруту, пас.;

$Ar_l$  – обсяг прибуття пасажирів на  $l$ -й ЗП  $j$ -го рейсу  $k$ -го маршруту, пас.;

$D(l)$  – накопичена кількість пасажирів, яка зайшла до МТЗ до  $l$ -ї зупинки  $j$ -го рейсу  $k$ -го маршруту, пас.

Достовірність отриманих величин маршрутних кореспонденцій можна перевірити шляхом побудови довірчого інтервалу. Аналітичні дослідження процесу підходу пасажирів до ЗП дозволили визначити основні характеристики цього потоку, які є аналогічними простішому, що описується законом Пуассону. На основі цього висунуто гіпотезу, що потік пасажирів на ЗП може бути описано законом Пуассону. Відомо, що математичне очікування при цьому законі розподілу буде дорівнювати дисперсії, тобто для описуваного процесу  $Dh_{pl}(k) = \bar{h}_{pl}(k)$ . З урахуванням вибіркової обстеження дисперсія величини маршрутної кореспонденції буде визначатись:

$$Dh_{pl}(k) = \bar{h}_{pl}(k) \cdot \left( \frac{A_k}{a_k} \right)^2. \quad (6)$$

По результатах вибіркового обстеження на усіх маршрутах оцінка загальної величини кореспонденції  $h_{pl}$ , що переміщуються між парою ЗП  $p$  та  $l$  буде дорівнювати:

$$h_{pl} = \sum_{k=1}^{M_{plj}} \bar{h}_{pl}(k) \cdot \frac{A_k}{a_k}, \quad (7)$$

а її дисперсія:

$$Dh_{pl} = \sum_{k=1}^{M_{pl}} D\bar{h}_{pl}(k) = \sum_{m=1}^{M_{pl}} \bar{h}_{pl}(k) \cdot \left( \frac{A_k}{a_k} \right)^2. \quad (8)$$

Задаючи рівень довірчої ймовірності  $\alpha$  можна визначити границі довірчого інтервалу для оцінки величини маршрутної кореспонденції:

$$h_{pl} \in (\bar{h}_{pl} - \gamma_\alpha \cdot \sigma_{pl}; \bar{h}_{pl} + \gamma_\alpha \cdot \sigma_{pl}), \quad (9)$$

де  $\sigma_{pl}$  – середньоквадратичне відхилення величини маршрутної кореспонденції між ЗП  $p$  та  $l$ , який визначається як  $\sigma_{pl} = \sqrt{D\bar{h}_{pl}}$ , пас.;

$\gamma_\alpha$  – квантиль розподілу, який визначається по рівню довірчої ймовірності.

Для формування мережевої МПК шляхом агрегування рейсових матриць необхідно визначити коефіцієнт пересадковості по мережі. В більшості випадків це виконується шляхом оцінки вже отриманої апріорним методом мережевої МПК. В зв'язку з цим в роботі вирішено питання математичного опису місць пересадки, а саме локалізації їх можливого знаходження на ММ. В роботі припускається, що пересадка в середніх містах можлива при наявності перетину між двома маршрутами, що аналітично має вигляд:

$$\Xi = R_i \cap R_{i+1} = \{\phi\}, \quad (10)$$

де  $\Xi$  – множина ЗП, яка формується шляхом перетину множин  $R_i$  та  $R_{i+1}$ ;

$R_i, R_{i+1}$  – відповідно, множина ЗП  $i$ -го та  $i+1$  маршрутів;

$\phi$  – зупиночний пункт.

Для фіксування факту виконання пересадки вводиться індикатор події:

$$I_{\Pi}(T_{p_i \rightarrow p_{i+1}}) = \begin{cases} 1, & T_{p_i \rightarrow p_{i+1}} > 0, \\ 0, & T_{p_i \rightarrow p_{i+1}} = 0, \end{cases} \quad (11)$$

де  $I_{\Pi}(T_{p_i \rightarrow p_{i+1}})$  – індикаторна функція виконання переходу пасажирів з  $i$ -го на  $i+1$  маршрут;

$T_{p_i \rightarrow p_{i+1}}$  – кількість пасажирів, що виконують пересадку на певному ЗП з  $i$  на  $i+1$  маршрут, пас./год.

При виконанні пересадки на  $m$ -й ЗП  $k$ -го маршруту з  $n$ -го ЗП маршруту  $k+1$  місткість ЗП по відправленню  $D_m$  буде формуватись наступним чином:

$$D_m = T_{n \rightarrow m} + D'_m, \quad (12)$$

де  $T_{n \rightarrow m}$  – кількість пасажирів, що прибувши на  $n$ -й ЗП маршруту  $k+1$ , виконують пересадку на  $m$ -й ЗП  $k$ -го маршруту, пас.;

$D'_m$  – кількість пасажирів, які починають свої пересування по ММ з  $m$ -го ЗП на  $k$ -му маршруту, пас.

З урахуванням умови (10)  $m$ -й та  $n$ -й ЗП є фактично одним ЗП, на якому виконується пасажирообмін між суміжними маршрутами. Аналогічно з (12) можна сформулювати моделі місткостей ЗП по прибуттю та відправленню для

маршруту  $k+1$ . Очевидно, що пошуковою величиною є  $T_{n \rightarrow m}$ , а саме доказ умови  $T_{n \rightarrow m} > 0$ , не виконання якої спрощує (12) до  $D_m = D'_m$ . Під час табличного обстеження обліковець фіксує безпосередньо величину  $D_m$ , яку з використанням розробленої методики локалізації місць пересадок необхідно перевірити на відповідність значенню  $D'_m$ .

Для визначення місць пересадки висунуто припущення, що пасажирів можуть виконувати пересування без жодних пересадок, тобто кількість поїздок буде співпадати з кількістю пересувань по мережі. Загальна ймовірність цих подій в цілому для мережі буде дорівнювати  $\sum_{d=0}^{d_p} P_d \cong P = 0,95$ . В цьому виразі  $d_p$  відбиває певне критичне значення кількості пасажирів, що відправляються з ЗП. Відповідно, гіпотезу про відсутність пересадок буде спростовано при виконанні умови  $d_i > d_p$  з імовірністю  $1 - \sum_{d=0}^{d_p} P_d = 0,05$ . Довірчий інтервал для середнього значення пасажирів, що підходять до ЗП буде визначатись  $(\bar{d} - x_\alpha \cdot \sqrt{\bar{d}}; \bar{d} + x_\alpha \cdot \sqrt{\bar{d}})$ , а, відповідно, гіпотеза про виконання пересадки не буде спростована за умови:

$$d_i > \bar{d} + 1,64 \cdot \sqrt{\bar{d}}, \quad (13)$$

ймовірність цієї події буде дорівнювати:

$$P(d_i > \bar{d} + 1,64 \cdot \sqrt{\bar{d}}) = \frac{1 - \alpha}{2} = 0,025. \quad (14)$$

Квантиль ймовірності  $x_\alpha$  приймається рівним 1,64 згідно нормального закону розподілу. Це можливо зробити на основі характеристики закону Пуассону перетворюватись у нормальний за умови  $\lambda \geq 10$ .

Наявність інформації про місця пересадок на ММ дозволяє оцінити обсягів пасажирів, що прямують з пересадками, та перевірити гіпотезу про їх незначущість в моделі попиту пасажирів на послуги МПТ. Підтвердження цієї гіпотези дозволяє виконати перехід від рейсових  $h_{pl}$  до мережевих  $h_{ij}$

кореспонденцій, а саме:  $h_{ij} = \sum_{p=1}^s \sum_{l=1}^w h_{pl} / k_n$ . В цьому разі застосовується принцип агрегування по приналежності ЗП до ТР. В наведеному виразі  $s$  та  $w$ , це кількість ЗП, що належать до району відправлення та прибуття, відповідно. Сам ТР представлений як множина  $\Omega$ , яка формується з елементів  $\phi$ , тобто  $\Omega = \{\phi_1, \phi_2, \phi_3, \dots, \phi_q\}$ , в якому  $q$  відбиває кінцеву кількість ЗП, які включено в ТР. Таким чином, усі ТР формують множину  $Z$ , яка повністю описує територію міста, що охоплена ММ.

$$Z = \bigcup_{f=1}^r \Omega_f = \{\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \dots, \varphi_g, \dots, \varphi_g\}, \quad (15)$$

де  $r$  – загальна кількість ТР в моделі ММ, од.;

$g$  – кількість ЗП в мережі, од.

Тобто, при агрегуванні матриць маршрутних кореспонденцій в мережеву, охоплюються усі ЗП ММ, та забезпечується повне збереження даних в моделі попиту на послуги МПТ.

У **третьому розділі** виконано експериментальні дослідження процесу формування попиту на послуги МПТ на прикладах міст Охтирка та Олександрія, наведено результати натурних обстежень на ММ цих міст та розроблено для них моделі транспортної пропозиції.

Об'єктами проведення експериментальних досліджень стали два українських міста, які відносяться до категорії середніх: Охтирка (Сумська область) та Олександрія (Кіровоградська область). Чисельність населення для них, відповідно, складає 52 тис. та 82 тис. чоловік. З урахуванням площі міста вони характеризуються практично однаковою щільністю населення: 1550 чол./км<sup>2</sup> та 1503 чол./км<sup>2</sup>, відповідно. Обслуговування мешканців міст на ММ виконується автобусним транспортом на 32 та 10 маршрутах, відповідно. Але в м. Охтирка 27 маршрутів функціонують в режимі «маршрутного таксі», при якому ТЗ повинен виконувати зупинку за вимогою пасажира в будь-якій точці мережі в рамках правил дорожнього руху. Це значно ускладнює процедуру формування МПК, так як в екстремальному стані транспортного обслуговування кожна кореспонденція може мати свій унікальний ЗП відправлення та прибуття.

Загальна кількість рейсів, що виконується на ММ обох міст, є досить велика: 696 в м. Охтирка та 380 в м. Олександрія. В цьому разі за умов проведення суцільного обстеження потрібно залучати значну кількість обліковців і обстеження буде тривати більше одного робочого тижня. При цьому кількість транспортних засобів, між якими необхідно розосередити обліковців складатиме 37 та 25 одиниць, відповідно, для міст Охтирка та Олександрія. Очевидно, що за таких умов навіть для середніх міст процедура проведення суцільного обстеження є надто складною за умов використання табличного методу.

Просторова організація територій міст є різною, так м. Охтирка є більш компактним, ніж м. Олександрія, в якому три райони мають низьку щільність транспортної мережі та суттєво віддалені від центральної частини міста. В цьому разі значна розбіжність в просторовій організації міст повинна дозволити дослідити характер формування попиту з належною варіативністю та розробити універсальну методіку отримання МПК, яка буде адаптивна для усіх середніх міст України.

Побудова транспортної пропозиції в обраних містах проводилась в програмному продукті *PTV VISION VISUM*. Розроблені моделі для м. Охтирка та Олександрія мають наступні характеристики: 137 та 214 вузлів, 328 та 482 відрізків, 109 та 142 тарифних пунктів зупинки, 147 та 280 примикань, 30 та 26 транспортних районів.

Натурні обстеження табличним методом на ММ м. Охтирка та Олександрія проводились в листопаді 2014 та березні 2013 року відповідно. Як метод обстеження пасажиропотоків на маршрутах був обраний варіант табличного методу, при якому обліковець знаходиться в салоні ТЗ, кількість задіяних обліковців при цьому складала 4 та 2 особи відповідно, що було обумовлене обмеженим обсягом фінансування цих робіт.

За період обстеження, 5 робочих днів в м. Охтирка, було виконано 178 замірів, та протягом 3 робочих днів в м. Олександрія – 56 замірів. Під одним заміром розуміється обстеження одного рейсу на  $k$ -му маршруті за умови початку та закінчення обстеження пасажирообміну на кінцевих ЗП. У випадку колового маршруту, обліковець починав та закінчував обстеження на одному ЗП.

Процедура обстеження в м. Охтирка була ускладнена режимом руху ТЗ, в цьому разі обліковці фіксували не назву ЗП, а час виконання зупинки, так як пасажирообмін по маршруту виконувався на випадкових ЗП. Отримані дані про пасажирообмін ЗП слугували основою для визначення закономірностей формування місткостей ЗП. На рис. 1 наведено приклади зіставлення фактичного розподілу обсягів відправлення пасажирів з ЗП по маршрутах в м. Охтирка в вечірній період «пік» (рис. 1 а) та ранковий (рис. 1 б) з теоретичним законом розподілу Пуассону, яке свідчить про незначну різницю між ними та неможливість спростування гіпотезу про їх відповідність.

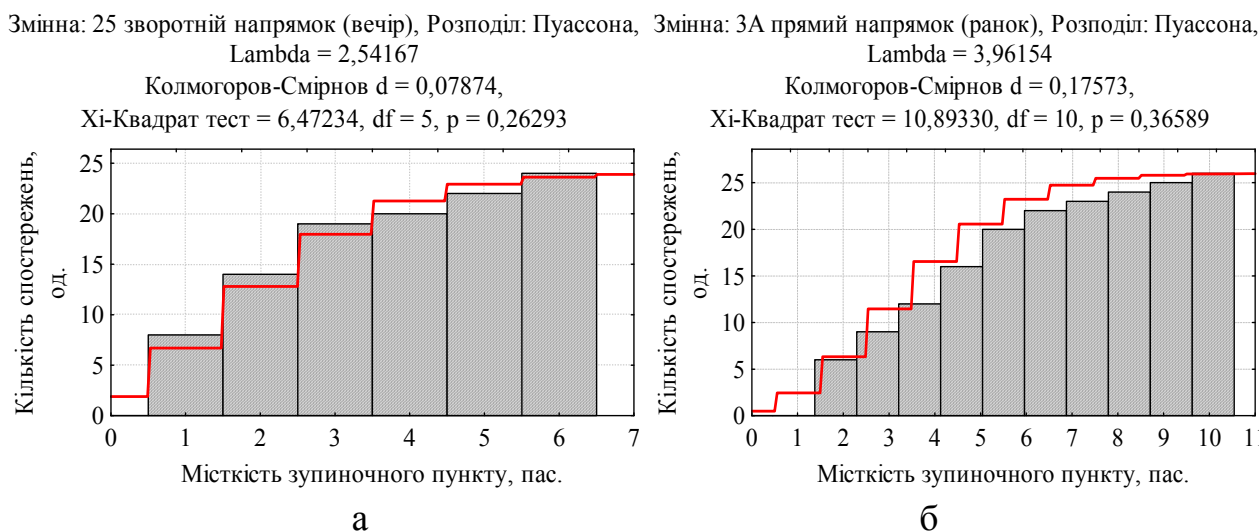


Рисунок 1 – Гістограми розподілу обсягів відправлення пасажирів з зупиночних пунктів на прикладі м. Охтирка

Гіпотеза про можливість опису місткостей ЗП законом Пуассону аналогічним чином було перевірено для м. Олександрія. В результаті отримано, що гіпотеза не була спростована в жодному з усіх 178 замірів в м. Охтирка та 56 замірів в м. Олександрія, що переконливо свідчить про відповідність потоку пасажирів умовам стаціонарного потоку. Це створює можливості для випадкового прогнозування кількості пасажирів, що підходять до ЗП на основі

зафіксованих протягом обстеження фактичних значень параметру закону Пуассону  $\lambda$ . Для врахування годинних коливань запропоновано застосовувати метод лінійної інтерполяції на основі замірів в пікові та між пікові періоди, які є границями пошукових інтервалів.

Для локалізації місць пересадок на ММ розроблено поетапну процедуру оцінки коливань пасажирообміну ЗП. На першому кроці виконується перевірка наявності перетинів трас маршрутів, що реалізується шляхом зіставлення маршрутів по компоненті «зупиночний пункт». В розроблених моделях транспортної пропозиції кожний ЗП має свій унікальний номер, через які виконується трасування маршрутів. Таким чином, при приналежності будь-якого  $\varphi_i$  до  $R_i$  та  $R_{i+1}$  можна констатувати наявність перетину. Відповідно, при збільшенні кількості  $\varphi_i > 1$  буде формуватись певна множина  $\Xi$ , яка є результатом перетину  $R_i$  та  $R_{i+1}$  згідно (10). При збільшенні її потужності  $|\Xi|$  до значень  $|R_i|$  та  $|R_{i+1}|$ , можливість виконання пересадки пасажиром, відповідно, зростає. Так в результаті аналізу збігу трас маршрутів зафіксовано 384 та 71 перетин, відповідно, для м. Охтирка та Олександрія.

На другому кроці виконується перевірка гіпотези про можливість виходу за межі довірчого інтервалу (13) чисельних значень місткостей ЗП. Для цього по кожному рейсу в годинному інтервалі  $t \square (t+1)$  виконується розрахунок середніх значень обсягів відправлення та прибуття на ЗП. Після чого визначаються максимальні значення обсягів відправлення та прибуття на ЗП:

$$D_{\max(t-(t+1))}(k) = \max \forall (D_{p(t-(t+1))}(k)), \quad (16)$$

$$Ar_{\max(t-(t+1))}(k) = \max \forall (Ar_{l(t-(t+1))}(k)). \quad (17)$$

На основі отриманих значень визначається індикатор події можливої пересадки по наступних умовах:

$$\begin{cases} D_{pt-(t+1)}(k) < D_{\max(t-(t+1))}(k) \Rightarrow I_{\Pi}(T_{p_i \rightarrow p_{i+1}}) = 1, \\ D_{pt-(t+1)}(k) > D_{\max(t-(t+1))}(k) \Rightarrow I_{\Pi}(T_{p_i \rightarrow p_{i+1}}) = 0, \end{cases} \quad (18)$$

$$\begin{cases} A_{lt-(t+1)}(k) < A_{\max(t-(t+1))}(k) \Rightarrow I_{\Pi}(T_{p_i \rightarrow p_{i+1}}) = 1, \\ A_{lt-(t+1)}(k) > A_{\max(t-(t+1))}(k) \Rightarrow I_{\Pi}(T_{p_i \rightarrow p_{i+1}}) = 0. \end{cases} \quad (19)$$

На наступному кроці виконується перевірка відповідності індексів ЗП для тих випадків, коли  $I_{\Pi}(T_{p_i \rightarrow p_{i+1}}) = 1$ .

$$S_{T \rightarrow T'} = \begin{cases} 1, & i = j, \quad i \mapsto \text{ОП}, \quad j \mapsto \text{ОП}, \\ 0, & i \neq j, \end{cases} \quad (20)$$

де ОП – назва зупиночного пункту в ММ.

Після чого безпосередньо локалізується ЗП, на якому виконано пересадку пасажирів:

$$\text{ОП}_i = \begin{cases} \text{ПТУ}, \sum I_{\Pi} \geq \sum S_{T \rightarrow T'}, \\ \text{ОПП}, \sum I_{\Pi} < \sum S_{T \rightarrow T'}, \end{cases} \quad (21)$$

де ПТУ – пересадочний транспортний вузол на ММ МПТ;

ОПП – звичайний ЗП МПТ, на якому не виконується пересадка пасажирів.

В результаті проведення описаної покрокової процедури для м. Охтирка та м. Олександрія визначено місця пересадок пасажирів на ММ. Так для м. Охтирка ним виявився ЗП «Центр», для м. Олександрія – «вул. Семашка», на яких проведено контрольні заміри обсягів пересадок та зіставлення них з визначеними математично. Отримані дані слугували основою для оцінки відсотку поїздок, що виконуються з пересадками. Так, для м. Охтирка визначено, що лише 0,5 відсотків, а для м. Олександрія – 0,4 відсотки, що експериментально підтвердило теоретичну оцінку ймовірності пересадки по (14) та дозволило зробити висновок про можливість формування мережевої МПК для середніх міст без урахування незначної кількості пересувань, що виконуються з пересадками. Тобто модель попиту населення на пересування пасажирів в мережі МПТ без суттєвої втрати точності може бути сформована шляхом агрегування матриць маршрутних кореспонденцій.

У четвертому розділі проведено імітаційне моделювання матриць рейсових кореспонденцій, розроблено та реалізовано алгоритм агрегування матриці мережевих кореспонденцій, розраховані пасажиропотоки на ділянках ММ та отримані закономірності розподілу величин кореспонденцій по дальності пересування в містах Охтирка та Олександрія, на основі чого оцінена точність розробленого методу моделювання попиту, а також надано оцінку ефекту від реалізації розробленої методики визначення МПК в середніх містах.

Формування матриць рейсових кореспонденцій виконується згідно (5) з попереднім проведенням процедури імітаційного моделювання місткостей ЗП. В роботі її було виконано в *MS Excel* надстройці «Аналіз даних» з використанням інструменту аналізу «Генерація випадкових величин». Процедура імітаційного моделювання пасажирообміну ЗП передбачає завдання значень інтенсивності потоку пасажирів, які отримано при обробці результатів натурних обстежень на ММ. З використанням цієї процедури проведено імітаційне моделювання 502 та 380 матриць рейсових кореспонденцій для міст Охтирка та Олександрія, відповідно. Шляхом об'єднання рейсових матриць окремо кожному з маршрутів, формуються добові матриці маршрутних кореспонденцій, які відбивають дані про пересування пасажирів між ЗП маршруту, в результаті чого для м. Охтирка отримано 52 матриці, а для м. Олександрія – 20.

Наступним кроком є агрегування мережевої МПК для чого розроблено алгоритм, що програмно реалізовано в *Visual Basic Application for MS Excel*. Як вхідні параметри для агрегування виступають кількість ТР в моделі та матриця маршрутних кореспонденцій з інформацією про приналежність ЗП до ТР. Для її представлення попередньо виконується формування масиву даних про приналежність ЗП до ТР, що є основою для трансформації матриці з маршрутною

до мережевої. Алгоритмом передбачено проведення процедури перегляду вхідного масиву даних по строках  $k$  та стовбцях  $l$  та формування з нього матриці  $H(k,l)$ . Процедура трансформації закінчується при виконанні умов  $k = N_d$ ,  $l = N_a$ , тобто переходу до останньої строки та стовпця МПК, що формується. Отримані

МК є компонентами загальної мережевої МПК, яка визначається як  $H_c = \bigcup_{k=1}^{Mp} H_{ck}$ .

По описаній процедурі отримано дві матриці мережевих кореспонденцій для м. Охтирка та Олександрія, які стали основою для розрахунку пасажиропотоків на ММ міст та визначення закономірності розподілу кореспонденцій по дальності пересування. Обидва розрахунки направлені на оцінку можливості використання отриманої моделі попиту населення міст при вирішенні задач раціональної організації роботи МПТ. Порівняння розрахункових та фактичних пасажиропотоків є основним методом оцінки точності моделі попиту, а відповідність закону розподілу дальності пересувань теоретичному гамма-розподілу є обов'язковою умовою вірності моделі попиту для міст зі звичайною конфігурацією території. Спочатку в програмному продукті *Statistica* побудовано гістограми розподілу емпіричної щільності ймовірності відстані пересувань по розрахунковій МПК та визначено ступінь їх відповідності теоретичній кривій гамма розподілу за критеріями Пірсона та Колмогорова-Смірнова, рис. 2 та табл. 1.

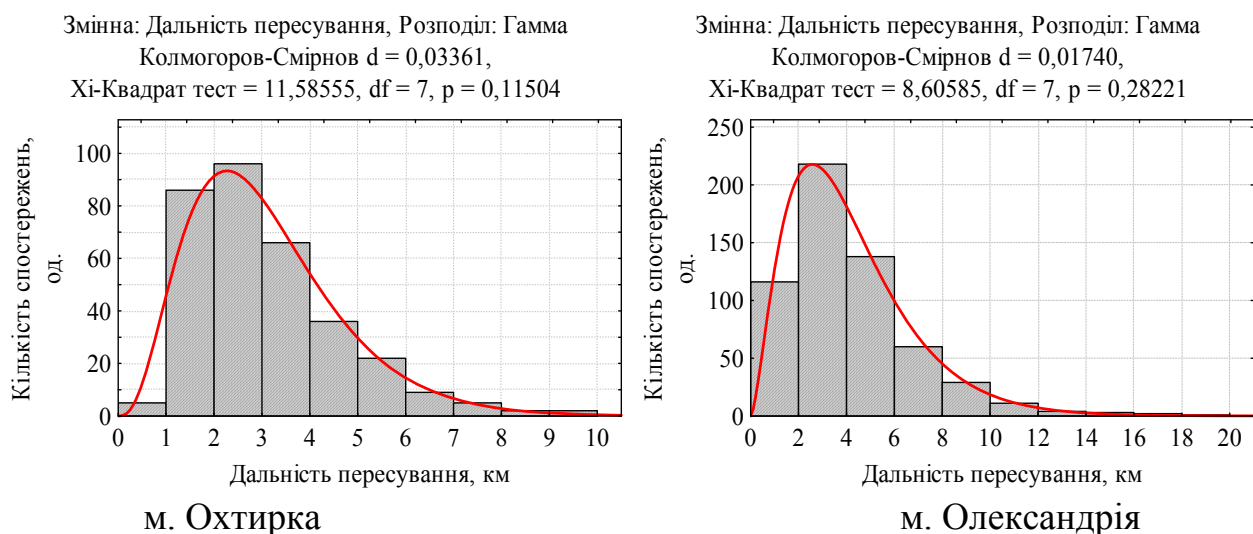


Рисунок 2 – Закономірності розподілу дальності поїздок по розрахунковим МПК

Таблиця 1 – Характеристика параметрів розподілу дальності пересування в м. Охтирка та Oлександрія за гамма законом

| Параметр                   | Значення   |                |
|----------------------------|------------|----------------|
|                            | м. Охтирка | м. Oлександрія |
| Математичне очікування, км | 3,088      | 4,122          |
| Дисперсія, км              | 2,903      | 7,513          |
| Параметр форми             | 3,755      | 2,613          |
| Параметр масштабу          | 0,822      | 1,596          |

Результати перевірки свідчать про відповідність отриманих закономірностей гамма-розподілу, що дозволяє перейти до кількісної оцінки відповідності фактичних та розрахункових пасажиропотоків на ММ. Фактичні значення пасажиропотоків сформовано за результатами натурних обстежень табличним методом. Розрахункові значення отримано шляхом моделювання рівня завантаження ділянок вулично-дорожньої мережі в програмному середовищі *PTV Visum*. У якості вихідної інформації для проведення моделювання виступали отримані за розробленою методикою матриці мережевих кореспонденцій для м. Охтирка та Олександрія. Для проведення зіставлення фактичних та теоретичних значень пасажиропотоків було обрано ключові ділянки вулично-дорожньої мережі, що відповідають радіальним, хордовим та діаметральним напрямкам пересувань. Оцінка точності моделювання виконувалась шляхом розрахунку відносної похибки, при цьому у якості «базового» значення приймалися фактичні дані пасажиропотоків. Після чого по кожному місту виконано середню оцінку точності моделювання значень пасажиропотоків. В результаті для міста Охтирка середня похибка склала 9,3 %, для м. Олександрія – 8,4 %.

Поряд з цим для оцінки рівня достовірності даних отриманих МПК виконано розрахунок похибки вибірових обстежень на ММ за моделлю (4). З урахуванням коефіцієнтів вибіровості обстежень по усім маршрутам, обстеженим кореспонденціям визначено, що похибка вибірового обстеження для м. Охтирка та Олександрія склала 4 %, що є допустимим. При даній втраті точності моделі попиту визначено рівень зміни трудомісткості вибірового обстеження в порівнянні з суцільним. Оцінка трудомісткості обстеження виконувалась на основі даних про кількість рейсів за добу по кожному маршруту та тривалості їх виконання за один цикл. Так, наприклад, для м. Охтирки трудомісткість суцільного обстеження дорівнює 239,48 людино-годин, в той час як для проведеного обстеження вибіровим методом цей показник склав 75,12 людино-годин. Таким чином, ефективність проведення обстеження вибіровим методом, яка відбиває рівень скорочення трудомісткості натурних обстежень, склала 68,63 %.

## ВИСНОВКИ

1. Аналітичний огляд літературних джерел дозволив виділити існуючі тенденції розвитку методів визначення попиту на послуги міського пасажирського транспорту та визначити, що найбільш точним і надійним способом отримання даних про попит на пересування є суцільне натурне обстеження на маршрутній мережі табличним методом. Але його застосування обмежено розміром міста та кількістю пересувань в маршрутній мережі, що робить можливим повне його застосування лише в малих містах. Виявлено, що для великих міст, де закономірності розселення населення можуть вважатися стійкими, широко використовується група апріорних моделей, які, однак, не можуть гарантувати високої точності результатів моделювання. Точність апріорних моделей швидко знижується при зменшенні кількості населення міста та не може вважатися прийнятною для середніх міст. Потрібна розробка та обґрунтування нового методу прогнозування попиту на послуги

громадського транспорту середніх міст, які базуються на результатах вибіркового обстеження роботи всіх міських маршрутів.

2. Проведені теоретичні дослідження попиту на послуги міського пасажирського транспорту показали, що мережеву матрицю пасажирських кореспонденцій можна формувати на основі двох компонент: кінцевої множини матриць маршрутних кореспонденцій та коефіцієнта пересадковості. Складові обох компонент визначаються на основі результатів натурних обстежень пасажирообміну на маршрутній мережі, як найбільш достовірних та надійних характеристик транспортного обслуговування населення середніх міст.

3. Обґрунтовано методику проведення вибіркового обстеження пасажиропотоків табличним методом на маршрутах наземного пасажирського транспорту, яка ґрунтується на статистичній обробці результатів натурних обстежень та побудові інтервалів довірчої ймовірності для величин пасажирських кореспонденцій, що слугують основою для скорочення кількості спостережень по маршрутах. Це можливо виконати шляхом оцінки рівня помилки результатів вибірових обстежень та порівняння його з критичним, що задається виходячи з необхідного рівня довірчої ймовірності. Таким чином сформовано методику не тільки технології проведення обстежень на маршрутній мережі середнього міста, а і формування потрібної кількості замірів для забезпечення заданого рівня достовірності результуючих даних.

4. Розроблений та програмно реалізований підхід до локалізації місць пересадок на маршрутній мережі, що базується на даних про рейсові значення пасажирообміну зупиночних пунктів і результатах аналізу дублювання або перетину між трасами маршрутів. Міста пересадки пасажирів визначаються серед зупиночних пунктів, що обслуговуються більш ніж одним маршрутом, із великими значеннями пасажирообміну, які можуть бути пояснені статистично значимими коливаннями цих показників в рамках загальної сукупності значень пасажирообміну за рейс по кожному з маршрутів, що мають перетин або перелік спільних зупиночних пунктів, та однією з умов виникнення чого є виконання пересадок.

5. Розроблено імітаційну модель формування матриці мережевих кореспонденцій для середніх міст, яка базується на генерації місткостей зупиночних пунктів за законом Пуассона з використанням значень параметру лямбда та подальшим їх ймовірнісним розподілом в виді поїздом між зупиночними пунктами маршрутами. Змодельовані матриці маршрутних кореспонденцій агрегуються у мережеву шляхом їх трансформації по приналежності зупиночних пунктів до транспортних районів. Для виконання цієї процедури розроблено циклічний алгоритм, входними параметрами якого є інформація про кількість транспортних районів, матриця маршрутних кореспонденцій та відповідність номерів зупиночних пунктів номерам транспортних районів.

6. Розроблено методику визначення попиту на послуги маршрутного пасажирського транспорту середніх міст, що передбачає проведення вибірових обстежень на маршрутній мережі табличним методом та подальшим імітаційним моделюванням матриць маршрутних кореспонденцій. При цьому доказано, що при формуванні матриці мережевих кореспонденцій немає необхідності

враховувати коефіцієнт пересадковості, так як його значення є занадто малим (1,005 для м. Охтирка та 1,004 для м. Олександрія). Реалізація розробленої методики дозволяє скоротити трудомісткість обстежень та формування даних про попит на послуги маршрутного пасажирського транспорту на 68,6 % (на прикладі м. Охтирка) в порівнянні з проведенням суцільного обстеження маршрутів міського транспорту в середньому місті України.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Гончаренко С.Ю. Дослідження закономірності зміни тривалості часу очікування пасажирами маршрутних транспортних засобів / С.Ю. Гончаренко, О.В. Россолов, В.М. Чижик // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2013. – №5 (194). – Ч. 1. – С. 67–70.
2. Гончаренко С.Ю. Современные проблемы моделирования матриц пассажирских корреспонденций в средних городах / С.Ю. Гончаренко // Вісник національного технічного університету «ХПІ». – 2013. – №56. – С. 83–88.
3. Горбачев П.Ф. Модифицированный метод табличного обследования пассажирских корреспонденций в средних городах / П.Ф. Горбачев, А.В. Россолов, С.Ю. Гончаренко // Автомобильный транспорт: сб. науч. тр. – Вып. 34. – 2014. – С. 101–104.
4. Гончаренко С.Ю. Моделирование мест пересадок пассажиров на маршрутной сети общественного транспорта в средних городах / С.Ю. Гончаренко, П.Ф. Горбачев, А.В. Россолов // Комунальне господарство міст. Серія: Технічні науки та архітектура. – 2014. – №116. – С. 103–107.
5. Gorbachov P. Simulation procedure of origin-destination matrix based on sample survey results on passenger route network / P. Gorbachov, A. Rossolov, S. Goncharenko // Автомобильный транспорт: сб. науч. тр. – 2015. – Вып. 36. – С. 111–118.
6. А.с. Методика формування матриці пасажирських кореспонденцій в середніх містах / С.Ю. Гончаренко (Україна). – № 62876; зареєстровано 10.12.2015 р.
7. Гончаренко С.Ю. Дослідження закономірності зміни тривалості часу очікування пасажирами маршрутних транспортних засобів / С.Ю. Гончаренко // Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми розвитку транспортних систем і логістики». – 2013. – С. 44.–45.
8. Гончаренко С.Ю. Моделирование маршрутных пассажирских корреспонденций на основе результатов табличного обследования / С.Ю. Гончаренко // Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми розвитку транспортних систем і логістики». – 2014. – С. 10–12.
9. Гончаренко С.Ю. Визначення місць пересадки пасажирів при користуванні міським транспортом в великих містах / С.Ю. Гончаренко // Матеріали III науково-практична конференція «Професійний менеджмент в сучасних умовах розвитку ринку». – 2014. – С. 71–73.
10. Гончаренко С.Ю. Надійність та достовірність даних вибіркового обстеження на маршрутній мережі середнього міста / С.Ю. Гончаренко //

Матеріали ІХ Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів «Підвищення надійності машин і обладнання». – 2015. – С. 178–180.

## АНОТАЦІЯ

Гончаренко С.Ю. Визначення попиту на послуги пасажирського маршрутного транспорту в середніх містах. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.01 – транспортні системи. – Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Міністерство освіти і науки України, Харків, 2017.

Дисертація присвячена вирішенню науково-прикладної задачі визначення попиту на послуги міського пасажирського транспорту в середніх містах на основі результатів вибіркового натурних обстежень на маршрутній мережі табличним методом.

У роботі розроблено методику отримання матриці мережових пасажирських кореспонденцій на основі результатів натурних обстежень на маршрутній мережі міста. Результати натурних замірів пасажирообміну зупиночних пунктів маршрутних систем середніх міст слугували основою для визначення закономірностей розподілу місткостей зупинок за відправленням та прибуттям. Теоретично та експериментально доведено, що ці характеристики можуть бути описані законом Пуассону. Побудовано моделі рейсових кореспонденцій, які ґрунтуються на обсягах відправлення, прибуття пасажирів на зупиночні пункти та отримуються на основі результатів імітаційного моделювання. Розроблено методику локалізації місць пересадки пасажирів на маршрутній мережі середнього міста, що передбачає перевірку гіпотези про статистичну суттєвість коливань обсягів відправлень та прибуття пасажирів на зупиночні пункти по маршрутах. В роботі побудовано алгоритм трансформації маршрутної матриці кореспонденцій у мережеву з подальшим агрегуванням отриманих матриць в загальну мережеву матрицю міста за день роботи міського пасажирського транспорту.

Визначено закономірності формування попиту на послуги міського пасажирського транспорту в середніх містах. Встановлено, що розподіл кореспонденцій по дальності пересування в маршрутній мережі середнього міста описується гамма законом. Розроблено методику оцінки рівня похибки вибіркового обстеження та визначення скорочення трудомісткості замірів на маршрутній мережі середнього міста.

Розроблені моделі та методики мають практичну значимість і були використані під час розробки раціональних варіантів маршрутних мереж міського пасажирського транспорту Охтирки та Олександрії.

**Ключові слова:** рейсова кореспонденція, матриця мережових кореспонденцій, місткості зупиночних пунктів, табличний метод обстеження, імітаційне моделювання.

## АННОТАЦИЯ

Гончаренко С.Ю. Определение спроса на услуги пассажирского маршрутного транспорта в средних городах. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.01 – транспортные системы. – Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, Министерство образования и науки Украины, Харьков, 2017.

Диссертация посвящена решению научно-прикладной задачи определения спроса на услуги городского пассажирского транспорта в средних городах на основе результатов выборочных обследований на маршрутной сети табличным методом.

В работе разработано методика получения матрицы сетевых пассажирских корреспонденций на основе результатов натурных наблюдений на маршрутной сети города. Теоретически обосновано, что общесетевая матрица корреспонденций формируется из совокупности матриц маршрутных корреспонденций с учетом значения коэффициента пересадочности. Разработан вероятностный метод распределения поездок по маршруту на основе результатов обследований пассажирообмена остановочных пунктов. Для формирования генеральной совокупности емкостей остановочных пунктов по всем рейсам за дневной период работы маршрутного транспорта разработана методика проведения выборочных обследований табличным методом на маршрутной сети среднего города. При этом полученные первичные данные обследований послужили основой для определения закономерностей распределения емкостей остановочных пунктов по отправлению и прибытию. Теоретически и экспериментально доказано, что эти характеристики могут быть описаны законом Пуассона. Для всех необследованных рейсов выполнено имитационное моделирование объемов отправления и прибытия пассажиров на остановочные пункты всех маршрутов городов Ахтырка и Александрия.

Разработано методика локализации мест пересадки пассажиров на маршрутной сети города, которая предполагает проверку гипотезы о статистической значимости колебаний объемов отправления и прибытия пассажиров на остановочные пункты по маршрутам. Теоретически обосновано и экспериментально подтверждено, что в средних городах объем перемещений с пересадками составляет меньше одного процента от общей совокупности передвижений по сети. Этим обосновывается несущественность данного показателя при формировании общесетевой матрицы пассажирских корреспонденций.

В работе построен алгоритм трансформации маршрутной матрицы корреспонденций в сетевую, которые в дальнейшем агрегируют в общую сетевую матрицу за весь день работы пассажирского транспорта. Определены закономерности формирования спроса на услуги городского пассажирского транспорта в средних городах. Определено, что распределение

корреспонденций по дальности передвижения в маршрутной сети среднего города описывается гамма законом. Разработана методика оценки уровня ошибки выборочного обследования и определено сокращение трудоемкости проведения замеров на маршрутной сети среднего города.

Разработанные модели и методики имеют практическую значимость и были использованы во время разработки рациональных вариантов маршрутных сетей городского пассажирского транспорта Ахтырки и Александрии.

**Ключевые слова:** рейсовая корреспонденция, матрица сетевых корреспонденций, ёмкости остановочных пунктов, табличный метод обследования, имитационное моделирование.

### ABSTRACT

Goncharenko S. The demand determining for passenger route transport service in the middle cities. – Manuscript.

The thesis for a degree of PhD in Technical Sciences, speciality 05.22.01 – Transport Systems. – Kharkiv National Automobile and Highway University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2017.

The thesis deals with solution of theoretical and practical problem of the demand determining for public transport services in the middle cities based on sample survey on route network by table method.

It is worked out the methods of origin-destination matrix receiving on the base of outdoor sample survey results executed on the route network. The results of outdoor observations of the passengers exchange on the bus stops were taken as the base for the determining of the bus stop capacities distribution of two types: on departure and arrival. It has been substantiated theoretically and experimentally that the capacities distribution are described by Poisson low. It is constructed models of route trips based on values of departure and arrival to bus stops and obtained using imitation modelling. It has been worked out the methodology of transfer hubs localization on the transport network which is assumed the check of the hypothesis about statistical significance of the bus stop capacities oscillations. It was constructed the algorithm of trips O-D matrix transformation into the general network O-D matrix entirely for the whole day route passenger transport work.

It has been defined the regulations of the demand forming for the city passenger transport services in the middle cities. It was defined that trips distribution on distance moving of passengers are described by gamma low. It was worked up the technique of sample survey error evaluation and estimation of labour intensity reduction under condition of developed survey use.

The carried out models and methods have the practical significance and have been used where the rational variants of route network of city public transport were developed for Okhtyrka and Olexandria cities.

**Key words:** passenger trips, network origin-destination matrix, stopping point capacities, table survey method, simulation.