

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ УНІВЕРСИТЕТ

АВУА АЛЬБЕРТ ДЖУНІОР

УДК 656.2:338.47

ФОРМУВАННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ВИБОРУ ПАСАЖИРАМИ МАРШРУТУ
ПРЯМУВАННЯ У ВНУТРІШНЬОМІСЬКОМУ СПОЛУЧЕННІ

Спеціальність 05.22.01 – Транспортні системи

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2016

Дисертацією є рукопис

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

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Нефьодов Микола Анатолійович,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, доцент кафедри транспортних систем і логістики.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Лобашов Олексій Олегович,
Харківський національний університет міського господарства, професор кафедри транспортних систем і логістики;

кандидат технічних наук, доцент
Голуб Дмитро Вадимович,
Кіровоградський національний технічний університет, доцент кафедри експлуатації й ремонту машин.

Захист відбудеться «15» червня 2016 р. в 14:00 годин на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.059.02 у Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті за адресою 61002, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого (Петровського), 25.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Харківського національного автомобільно-дорожнього університету за адресою 61002, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого (Петровського), 25.

Автореферат розісланий «13» травня 2016 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Павленко В.М.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В сучасних умовах міський пасажирський транспорт (МПТ) є найважливішою складовою частиною територіальної структури господарства і має значний вплив на соціально-економічний і матеріально-просторовий розвиток міста. Розвиток міста й транспорту взаємно обумовлені. Розміщення районів міста, кількості населення в них, розташування місць прикладення праці формують обсяги й напрямки пасажиропотоків і визначають навантаження на пасажирський транспорт. Розвиток транспорту, у свою чергу, поліпшує умови розселення в нових житлових районах, робить доступними й зручними для людей нові місця прикладення праці й об'єктів культурно-побутового призначення.

Системи МПТ займають особливе місце в загальній структурі пасажирського транспорту, що пояснюється безперервним підвищенням ролі міст у житті суспільства, викликаному суспільним поділом праці, концентрацією виробництва. Зміни в житті України призвели до значної модифікації структури потреб населення в перевезеннях і перебудові маршрутних систем більшості українських міст, які найчастіше носять стихійний характер. У той же час прийняття рішень про зміну або розробку нових маршрутних мереж (ММ) являє собою складне завдання, яке зачіпає інтереси великої кількості городян і має величезне науково-практичне, соціальне й економічне значення. У цих умовах для досягнення достатнього рівня конкурентоспроможності транспортні підприємства повинні вести постійний пошук способів підвищення ефективності роботи маршрутів.

Головна роль транспорту полягає в економії часу населення, необхідної для подолання відстані між просторово роз'єднаними елементами міста. Транспорт, заощаджуючи час і сили людини, дає можливість значно побільшати радіус здійснення контактів, необхідних для обміну діловою, науковою й культурною інформацією. Забезпечуючи своєчасне перевезення працівників до місця прикладення праці, пасажирський транспорт впливає на нормальне функціонування галузей господарського комплексу. Соціальний ефект від розвитку МПТ проявляється в поліпшенні доступності установ медицини, освіти, культури, торгівлі, які сприяють задоволенню попиту населення на різні послуги.

Доведено, що ефективність МПТ як з економічної (витрати МПТ на перевезення пасажирів, витрати пасажирів на поїздки), так і з соціальної (витрати часу на поїздки, час очікування на зупиночних пунктах, кількість пересадок, довжина пішого підходу, комфортабельність поїздок) точки зору багато в чому визначаються конфігурацією ММ. Характеристики ММ визначаються рішеннями, прийнятими проектувальниками на етапі розробки нової або модернізації існуючої ММ. У цій області існують дві основні проблеми: 1 – як можна більш точного розрахунку матриці пасажирських кореспонденцій; 2 – виконання як можна більш точного прогнозу розподілу пасажирських кореспонденцій по ділянках ММ (існуючої або проектної).

Останні наукові розробки за рішенням другої проблеми вказують на потрібність побудови необхідного прогнозу на основі функцій привабливості маршрутів. При цьому останні наукові праці вказують на стохастичність вибору

пасажиром маршруту прямування незважаючи на детермінованість функцій привабливості маршрутів.

Таким чином, облік фактичного часу очікування пасажирів на зупиночних пунктах при визначенні ймовірності вибору їм маршруту прямування дозволить підвищити точність прогнозу розподілу пасажирських кореспонденцій по ділянках ММ, що у свою чергу підвищить точність визначення ефективності оцінюваного варіанта системи МПТ.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Наукові результати роботи отримані в процесі виконання завдань, що визначені «Транспортною стратегією України до 2020 року», затвердженої розпорядженням Кабінету Міністрів України від 20 жовтня 2010 року № 2174-р. Запропонована в роботі методика визначення ймовірності вибору пасажиром маршруту прямування використовувалася при виконанні науково-дослідної роботи «Дослідження впливу часу очікування на ймовірність вибору пасажиром маршруту прямування» № держреєстрації № 0115U004088, виконавець.

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є визначення закономірностей зміни ймовірності вибору пасажиром маршруту прямування залежно від фактичного часу очікування їм транспортного засобу на зупиночному пункті. Для досягнення цієї мети вирішені наступні завдання:

- проведений аналіз сучасного стану методів визначення функцій привабливості маршрутів та вірогідності вибору пасажиром маршрутів прямування, виявлені недоліки цих методів і визначені шляхи їх усунення;

- розроблена математична модель ймовірності вибору пасажиром маршруту прямування;

- експериментальним шляхом отримана залежність зміни ймовірності вибору пасажиром маршруту прямування залежно від параметрів альтернативних маршрутів, яка уточнює перерозподіл пасажирських кореспонденцій по ділянках маршрутної мережі (ММ).

Об'єктом дослідження є процес вибору пасажиром маршруту прямування.

Предметом дослідження є закономірність впливу параметрів альтернативних маршрутів і фактичного часу очікування пасажиром транспортного засобу на зупиночному пункті на ймовірність вибору пасажиром маршруту прямування. У якості **методів дослідження** використані математичне моделювання, натурні обстеження, статистичний аналіз.

Наукова новизна отриманих результатів. У роботі вирішене науково-прикладне завдання підвищення точності прогнозних значень завантаження ділянок ММ МПТ. Уперше:

- за допомогою розробленого науково-методичного підходу до визначення функції ймовірності вибору пасажиром маршруту прямування, який відрізняється від відомих тим, що враховує зміну привабливості альтернативних маршрутів залежно від фактичного часу очікування пасажиром транспортного засобу на зупиночному пункті, виявлені нові закономірності розподілу пасажирських кореспонденцій по ділянках альтернативних маршрутів.

Одержали подальший розвиток наукові підходи до вивчення закономірності функціонування МПТ залежно від її параметрів, які полягають у наступному:

- формалізовані функції визначення ймовірності вибору пасажиром альтернативного маршруту, які відрізняються від раніше розроблених тим, що враховують динамічний характер впливу на них фактичного часу очікування пасажиром транспортного засобу на зупиночному пункті;

- удосконалений алгоритм прогнозу розподілу пасажирських кореспонденцій по ділянках ММ МПТ шляхом урахування впливу фактичного часу очікування пасажиром транспортного засобу на зупиночному пункті на ймовірність вибору ним шляху прямування.

Практичне значення отриманих результатів. Результати виконаних досліджень можуть бути використані управліннями, підприємствами і науково-дослідними організаціями при рішенні задач удосконалювання організації міських пасажирських перевезень. Розроблена методика дозволяє підвищити точність розрахунків завантаження ділянок ММ при зміні її параметрів, що створює передумови для більш точної оцінки ефективності її варіантів.

Результати дослідження і розробки були використані при вдосконаленні роботи рухомого складу на маршрутах ТОВ «Експрес» м. Харкова, а також при організації навчального процесу в ХНАДУ студентів, які навчаються за фахом 7.07010101 – «Транспортні системи».

Особистий внесок здобувача. Усі положення й результати, що виносяться на захист, наведені в роботах [1-10]. У наукових працях, опублікованих у співавторстві, особистий внесок здобувача полягає в наступному: розробка теоретичної моделі зміни функцій привабливості маршрутів [1], розробка ітераційної моделі визначення коефіцієнтів заповнення салонів транспортних засобів альтернативних маршрутів [2], оцінка точності функцій привабливості маршрутів методом найменших квадратів [3], визначення апроксимуючої моделі ймовірності посадки пасажирів в транспортний засіб залежно від фактичного часу очікування ним транспортного засобу на зупиночному пункті [4], аналіз впливу функціонального стану пасажирів залежно від фактичного часу очікування ним транспортного засобу на зупиночному пункті [5], визначення аналітичної залежності впливу часу очікування пасажиром транспортного засобу на зупиночному пункті [6], розробка асимптотичних моделей зміни функцій привабливості маршрутів залежно від часу очікування пасажирів [8], розробка моделі зміни ймовірності вибору пасажиром маршруту прямування залежно від фактичного часу очікування їм транспортного засобу на зупиночному пункті [9], результати експериментального дослідження кількісних характеристик впливу часу очікування пасажиром транспортного засобу на зупиночному пункті на ймовірність вибору ним маршруту прямування [10].

Апробація результатів дисертації. Основні положення й результати дисертаційної роботи доповідалися й обговорювалися на:

- 75-й науково-технічній та науково-методичній конференції Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, м. Харків, 18-22 квітня 2011 р.;

- 9-й міжнародній науково-практичній конференції «Совершенствование организации дорожного движения и перевозок пассажиров и грузов» (Білоруський національний технічний університет, м. Мінськ, 24-28 жовтня 2011 р.);

- 12-й міжнародній науково-технічній конференції «Наука образованию, производству, экономике» (Білоруський національний технічний університет, м. Мінськ, 22-24 жовтня 2014 р.).

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 10 наукових праць, з них: 5 статей у спеціалізованих наукових виданнях, що входять у перелік МОН України, 7 – у виданнях, що входять у міжнародні наукометричні бази, 5 – репрезентовані в електронному виданні, 2 статті в закордонних виданнях, 2 тез доповідей на конференціях.

Структура дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків і додатків. Повний обсяг роботи становить 193 сторінки, 7 рисунків, 46 таблиць, 9 додатків на 58 сторінках, список використаної літератури з 118 найменувань на 12 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтована актуальність теми, визначена мета дослідження, представлені наукова новизна і практичне значення отриманих результатів дослідження.

У **першому розділі** дисертації виконаний аналіз методів моделювання функціонування МПТ як складової методів розрахунків розподілу пасажирських кореспонденцій по маршрутах, а також методів розрахунків завантаження ділянок ММ. Результати аналізу свідчать, що останнім часом для розв'язку цих науково-прикладних задач у світі найбільше поширення одержав підхід, заснований на застосуванні функцій привабливості маршрутів прямування пасажирів у модифікаціях, що враховують стохастичність вибору пасажирями маршрутів прямування, що відображається ймовірністю вибору маршруту прямування пасажирів.

Еволюція розвитку методів моделювання систем МПТ базується на явному або неявному порівнянні провізних можливостей альтернативних маршрутів прямування пасажирів. При такому підході пасажирські кореспонденції розподіляються по альтернативних маршрутах пропорційно їх провізним можливостям. Неявне ж використання цього підходу при використанні інших моделей розподілу пасажирських кореспонденцій по альтернативних маршрутах полягає у використанні провізних можливостей маршрутів як обмежень на обсяг пасажирських кореспонденцій, які можуть бути «освоєні» кожним з альтернативних маршрутів. Більш пізні методи визначення пропорцій розподілу пасажирських кореспонденцій по маршрутах стали погоджувати із привабливістю маршрутів для пасажирів, які оцінюються за допомогою функцій привабливості. Функціональність привабливості маршрутів полягає в тому, що вона оцінює як соціально-економічні показники (такі як тариф на проїзд, витрати часу й зусиль пасажирів), так і зворотний вплив пріоритетів пасажирів на привабливість маршрутів. Первісне, чим більше привабливості маршруту, тем більша кількість пасажирів виберуть його для здійснення поїздки. Але, чим більше пасажирів скористаються цим маршрутом, тем менше виявиться його привабливість, наприклад, за рахунок більш високого ступеня заповнення салону. Саме існування такого зворотного зв'язку, а також визнання

впливу соціального («людського») фактору на вибір пасажиром маршруту прямування й неможливості повного й достовірного опису цього впливу, обумовлює подальший розвиток моделей розподілу пасажиропотоків по ділянках ММ, що виразилося у виставі функцій привабливості маршрутів у вигляді ймовірнісних функцій. Це означає, що при тих самих незмінних параметрах ММ у цілому й окремих маршрутів, що її складають, пасажир не буде вибирати той самий маршрут прямування в різні дні. Найбільш достовірним поясненням цьому явищу представляється різний і непрогнозований функціональний стан пасажирів в різні дні.

Узагальнено по всіх проаналізованих роботах безліч параметрів, що безпосередньо впливають на вибір пасажиром маршруту прямування, становлять: тариф за їзду, час поїздки, у тому числі – час очікування пасажирів, швидкість сполучення, коефіцієнт динамічного заповнення салону, провізні можливості альтернативних маршрутів, інтервал руху транспортних засобів, кількість пересадок. Також, визначено, що на ефективність функціонування МПТ, у частині, що стосується непрямих витрат системи МПТ, що виражається у втратах суспільства від зниження продуктивності праці, істотний вплив виявляє функціональний стан пасажирів. Цей комплексний показник піддається значному впливу тих же параметрів ММ і, особливо – витрат часу пасажирів, як у транспортному засобі, так і на зупиночних пунктах.

Підводячи підсумок проведеному огляду сучасного стану питання, були зроблені наступні висновки:

- оптимізація параметрів систем МПТ, у тому числі й ММ, неможливо без точного прогнозу завантаження ділянок ММ;

- найбільш точні алгоритми розрахунків прогнозних значень завантаження ділянок ММ засновані на оцінці пріоритетів пасажирів за допомогою функцій привабливості маршрутів і відповідних моделей вибору маршруту прямування пасажирів;

- усі відомі моделі вибору маршруту прямування пасажирів є статичними, які не враховують зміни оцінки пасажиром привабливості альтернативних маршрутів прямування протягом часу очікування їм транспортного засобу на зупиночному пункті;

- більшість моделей розглядають варіанти вибору пасажиром маршруту прямування з різних позицій, враховуючи такі фактори, як час очікування транспорту, ступінь заповнення транспортного засобу, ступінь транспортної втоми, привабливість поїздки, вартість проїзду, кількість пересадок, час піших підходів, надійність варіанта і рівень комфорту на шляху прямування, час поїздки, час пересадок, але не показаний вплив часу очікування на вибір пасажиром маршруту прямування;

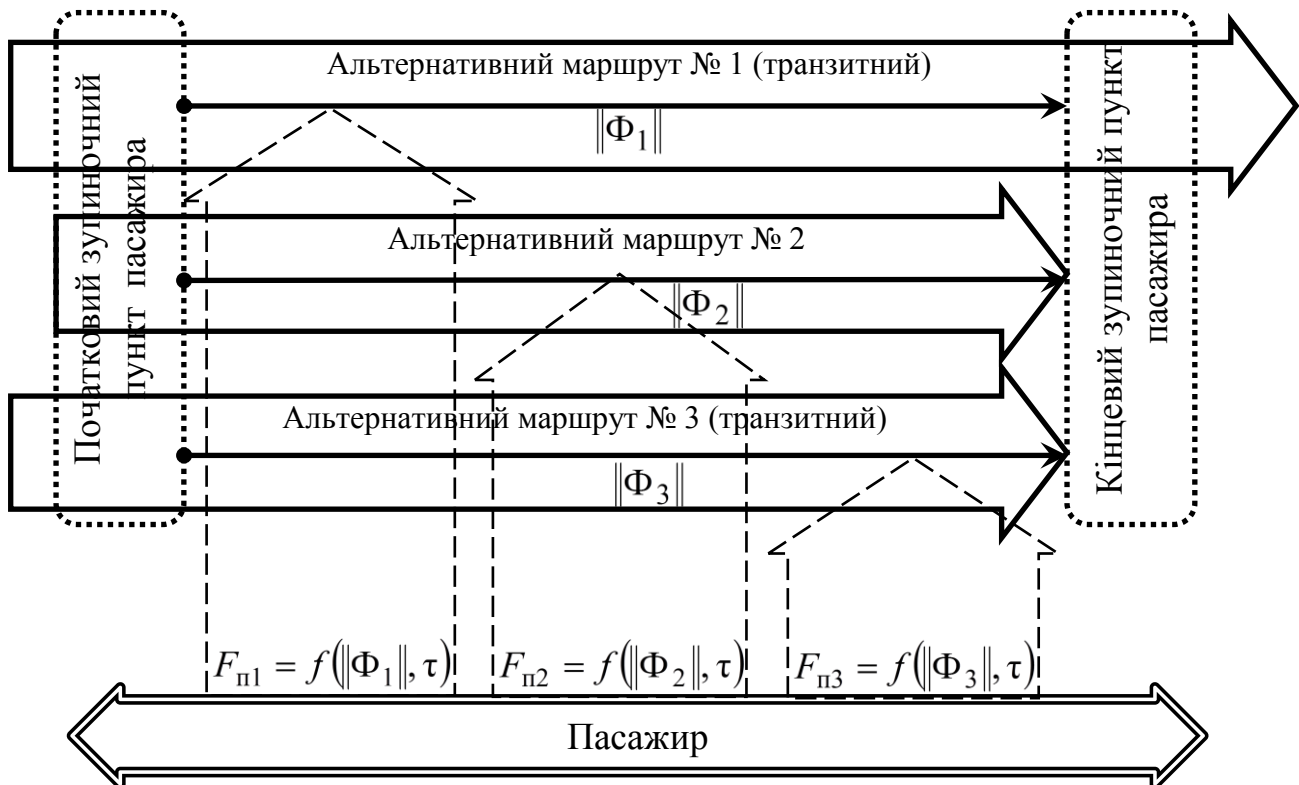
- підвищення точності розрахунків прогнозних значень завантаження ділянок ММ в апробованих моделях функцій привабливості маршрутів можливо за рахунок обліку фактичного часу очікування пасажирів транспортних засобів на зупиночних пунктах.

Значний внесок у вирішення зазначених проблем оптимізації систем МПТ внесли вітчизняні й закордонні вчені В.К. Доля, П.Ф. Горбачов, Ю.О. Давідіч,

І.В. Спирин, В.О. Вдовиченко, Г.І. Фалецька, Н.У. Гюлев, В.І. Торкатюк, П.В. Луб'яний, В.С. Винниченко, А.Д. Гульчак, D.L. McFadden, P. Merlin, S. Warner, M.E. Beesley, D. Lohse, Y. Sheffi, S. Marshall, A.H. Meyburg. й інші вчені.

У **другому розділі** проведені теоретичні дослідження, засновані на наступній робочій гіпотезі: оскільки всі використовувані в цей час функції привабливості маршрутів прямування пасажирів засновані на усереднених значеннях часу очікування пасажиром транспортного засобу на зупиночному пункті, то ймовірність вибору пасажиром маршруту прямування відповідає функціям привабливості маршрутів тільки при якомусь одному значенні фактичного часу очікування пасажиром транспортного засобу на зупиночному пункті. Теоретичним шляхом визначити це значення не представляється можливим, тому основна робоча гіпотеза доповнена наступним припущенням: ймовірності вибору пасажиром маршруту прямування пропорційні функціям привабливості маршрутів при фактичному часі очікування пасажиром транспортного засобу на зупиночному пункті рівним нулю.

Вихідною схемою для теоретичних досліджень є безліч варіантів маршрутів прямування пасажирів (рис. 1).



$\|\Phi_i\|$ – вектор факторів (параметрів) характеристики i -го маршруту, що визначають його привабливість;

$F_{пi}$ – функція привабливості i -го маршруту;

τ – фактичний час очікування пасажиром транспортного засобу на зупиночному пункті.

Рисунок 1 – Фізична модель об'єкта дослідження

Наведені на рис. 1 маршрути характеризуються сукупністю параметрів, які є незмінними протягом усього маршруту прямування пасажирів – тариф за проїзд,

експлуатаційна швидкість, інтервал руху, місткість однієї транспортної одиниці, і параметром, який характеризує маршрут на конкретному зупиночному пункті – коефіцієнт статичного заповнення салону і, відповідно, провізні можливості маршруту від даного зупиночного пункту в обраному напрямку руху транспортних одиниць.

Формальним образом висунути робочу гіпотезу можна представити в такий спосіб

$$\frac{P_{mj(0)}}{(K_{mj} + C)^Q} = \text{const}, \quad \forall m \in M, \quad (1)$$

де $P_{mj(0)}$ – імовірність вибору пасажиром m -го маршруту при фактичному часі очікування на j -му зупиночному пункті $\tau = 0$ хв;

K_{mj} – функція привабливості m -го маршруту на j -му зупиночному пункті;

C і Q – балансувальні коефіцієнти, що визначаються емпіричним шляхом;

M – безліч альтернативних маршрутів, траса яких проходить через початковий і кінцевий зупиночні пункти маршруту прямування пасажирів.

Ймовірності вибору пасажиром маршруту прямування при фактичному часі очікування пасажиром транспортного засобу на зупиночному пункті відмінному від нуля $P_{mj(\tau)}$ запропоновано описувати в такий спосіб

$$P_{mj(\tau)} = \frac{P'_{mj(\tau)}}{\sum_{k=1}^M P'_{kj(\tau)}}, \quad (2)$$

де $P'_{mj(\tau)}$ – розрахункова ймовірність вибору пасажиром маршруту прямування при фактичному часі очікування пасажиром транспортного засобу на j -му зупиночному пункті τ , хв.

Формула (2) уведена для виконання наступної умови

$$\sum_{m=1}^M P_{mj(\tau)} = 1, \quad \forall j = J. \quad (3)$$

Розрахункову ймовірність вибору пасажиром маршруту прямування при фактичному часі очікування пасажиром транспортного засобу на зупиночному пункті τ запропоновано описувати наступною залежністю

$$P'_{mj\tau} = P_{mj(\text{пр})} + [P_{mj(0)} - P_{mj(\text{пр})}] \cdot \Theta^{-|P_{mj(0)} - P_{mj(\text{пр})}| \cdot \tau}, \quad (4)$$

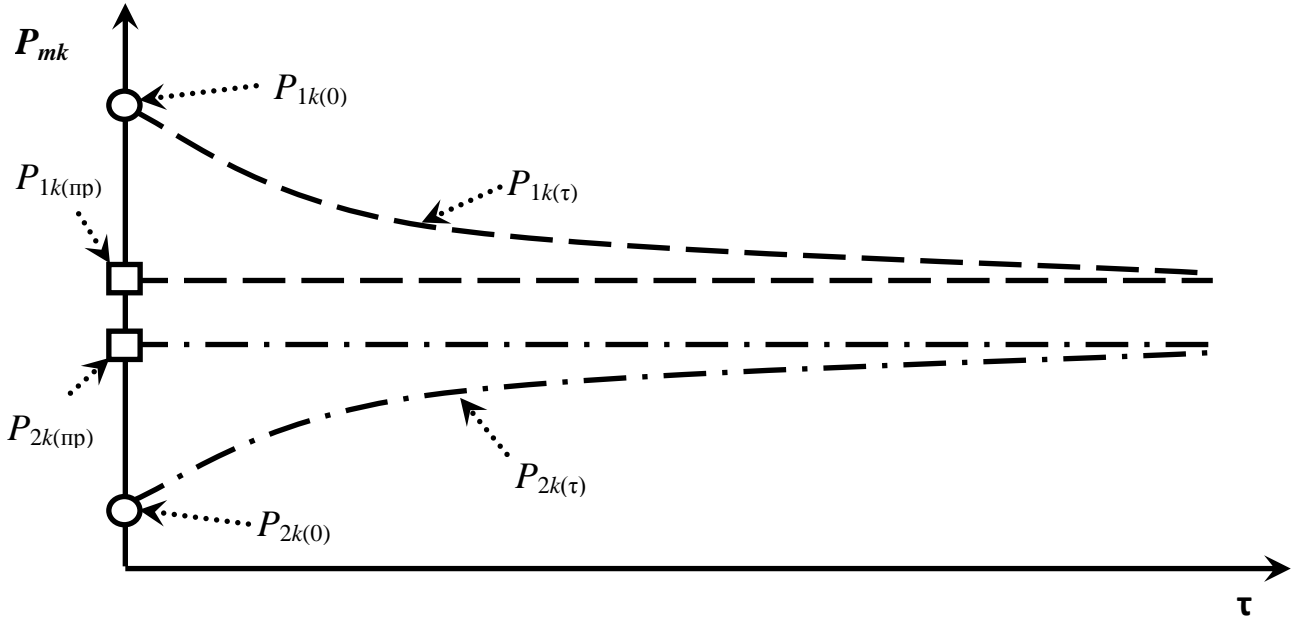
де $P_{mj(\text{пр})}$ – гранична ймовірність вибору пасажиром маршруту прямування, яка визначається з умови

$$P_{mj(\text{пр})} = \lim_{\tau \rightarrow \infty} \{P_{mj(\tau)}\}. \quad (5)$$

Θ – емпіричний коефіцієнт.

Коефіцієнт Θ може бути визначений тільки експериментальним шляхом.

Виходячи з робочої гіпотези, розрахункові функції ймовірності вибору пасажиром маршруту прямування можна відобразити так, як це показано на рис. 2.



$P_{1k(0)}$, $P_{2k(0)}$ – ймовірність вибору пасажиром першого і другого маршруту відповідно, з безлічі альтернативних на k -му зупиночному пункті при можливості посадки в транспортний засіб цього маршруту відразу ж по прибуттю пасажирів на зупиночний пункт (фактичний час очікування дорівнює нулю);

$P_{1k(\tau)}$, $P_{2k(\tau)}$ – розрахункова ймовірність вибору пасажиром першого і другого маршруту відповідно, з безлічі альтернативних на k -му зупиночному пункті після τ хвилин очікування пасажирів на зупиночному пункті;

$P_{1k(\text{пр})}$, $P_{2k(\text{пр})}$ – гранична ймовірність вибору пасажиром першого і другого маршруту відповідно, на k -му зупиночному пункті.

Рисунок 2 – Функції зміни ймовірностей вибору пасажиром маршрутів прямування

З робіт різних дослідників для граничної ймовірності вибору маршруту можна записати:

$$P_{mj(\text{пр})} = \frac{\text{ПМ}_{mj(\text{св})}}{\sum_{k=1}^M \text{ПМ}_{kj(\text{св})}}, \quad (6)$$

де $ПМ_{mj(св)}$ – кількість вільних пасажиромест m -го маршруту, що проходить через j -й зупиночний пункт, пас·місць/год, яка визначається по формулі:

$$ПМ_{mj(св)} = \frac{q_{i(н)} \cdot [1 - \gamma_{mj(ст)}]}{I_m}, \quad (7)$$

де $q_{i(н)}$ – номінальна пасажиромісткість однієї транспортної одиниці на m -у маршруті, пас.;

$\gamma_{mj(ст)}$ – коефіцієнт статичного наповнення салону однієї транспортної одиниці m -го маршруту на j -му зупиночному пункті;

I_m – інтервал руху транспортних одиниць на m -му маршруті, год.

У **третьому розділі** наведені результати експериментальних досліджень, які проводилися в м. Харкові в 2012 році на базі кафедри транспортних систем і логістики Харківського національного автомобільно-дорожнього університету.

Для цілей дослідження найбільш підходящим варіантом збору статистичної інформації є анкетування пасажирів. Цей вид дослідження припускає добровільну участь респондентів в анкетуванні, тому первісно було ухвалене рішення про мінімізацію інформації, яку повинен представляти респондент і яку неможливо одержати іншими способами. Такою інформацією є час очікування пасажиром транспортного засобу на зупиночному пункті й маршрут, обраний їм для поїздки в прив'язці до дати здійснення поїздки.

Даної інформації недостатньо для розв'язку поставленого завдання, оскільки залишаються невідомими початковий і кінцевий пункти прямування, кількість пересадок, коефіцієнт статичного заповнення салону й інші параметри поїздки. Тому для анкетування відібрані незмінні групи респондентів, для яких є можливість достовірного визначення зазначених параметрів ще до початку анкетування.

При цьому учасники групи повинні мати достатній набір альтернативних маршрутів, які повинні мати істотні відмінності в параметрах (тариф на проїзд, швидкість сполучення, коефіцієнт наповнення салону) і для більш контрастного прояву впливу цих параметрів довжина їздки пасажира повинна бути як можна більшою. Необхідно, також, дістатися того, щоб початковий і кінцевий пункти прямування у всіх респондентів групи збігалися.

Однак, у м. Харкову, незважаючи на більшу чисельність жителів (1,2 млн. осіб), матриця кореспонденцій навіть в укрупненому вигляді має велику розмірність 105×105 , що обумовлює невелику кількість даних по кожному гнізду матриці – близько 50 одиниць в середньому, чого недостатньо для достовірних статистичних висновків. Тому в дослідженні з метою укрупнення обсягу кореспонденцій ухвалене рішення вважати кінцевим пунктом прямування станцію метро, навіть якщо пасажир прямує до кінцевої мети своєї поїздки і на метро і на інших видах транспорту.

Із усієї сукупності маршрутів ММ МПТ м. Харкова найбільш відповідним цілям дослідження є її ділянки: від зупиночного пункту «вул. Познанська» до станції метро «Академіка Барабашова» – по цій ділянці, довжина якого становить

3,7 км, проходять чотири маршрути, які відповідають заданим критеріям; від зупиночного пункту «вул. Уборевича» до станції метро «Героїв праці» – по цій ділянці, довжина якої складає 2,3 км проходять чотири маршрути; від зупиночного пункту «вул. Одеська» до станції метро «Проспект Гагаріна» – по цій ділянці, довжина якої складає 4,4 км, проходять п'ятнадцять маршрутів. Характеристика маршрутів, що проходять по першій ділянці, наведена в табл. 1.

Таблиця 1 – Характеристика альтернативних маршрутів між зупиночними пунктами «вул. Познанская» – станція метро «Академіка Барабашова»

Параметр маршруту	Маршрут			
	24	38E	269E	281E
1. Вид маршруту	тролейбус	маршрутне таксі		
2. Довжина маршруту, км	5,4	6,7	11,2	6,5
3. Час рейсу, хв	23	26	45	25
4. Кількість транспортних одиниць, од.	18	6	7	11
5. Місткість транспортних засобів:				
- усього, осіб	180	36	40	40
- сидячих, осіб	46	20	19	19
6. Тариф, грн	1,5	2,5	3,0	2,5

Всього в респондентську групу шляхом проведення переговорів відібрано 90 чоловік, у яких початковим пунктом поїздки є зупиночний пункт «вул. Познанська» і кінцевим пунктом (або безальтернативним пунктом пересадження) є зупиночний пункт станція метро «Академіка Барабашова» і які розподіляються на три соціальні групи: учні – 50 осіб, робітники – 25 осіб, службовці – 15 осіб. Аналогічно для ділянки «вул. Уборевича» – станція метро «Героїв Праці» сформована респондентська група в складі: учні – 20 осіб, робітники – 20 осіб, службовці – 10 осіб; на ділянці «вул. Одеська» – станція метро «Проспект Гагаріна» сформована респондентська група в складі: учні – 45 осіб, робітники – 35 осіб, службовці – 20 осіб.

Анкетування пасажирів проведене у квітні-травні 2012 р. у робочі дні. До обробки прийняті тільки ті анкети, у яких час посадки пасажирів в транспортний засіб перебуває в межах 7:00 годин – 9:00 годин. Кількість анкет склало (за всіма ділянками): учні – 1667 од., робітники – 1403 од., службовці – 907 од. При цьому кількість анкет, у яких був відзначений маршрут № 269E склало 7 од., що є недостатнім для статистично значимих висновків, тому даний маршрут був виключений з подальшого аналізу.

Отримані статистичні дані перевірені за критерієм Стюдента на приналежність вибірок однієї генеральної сукупності. За результатами перевірки отримані наступні висновки: відмінності у виборі маршрутів прямування між різними соціальними групами статистично незначимі; відмінності у виборі маршрутів прямування по днях тижня статистично незначимі; відмінності в ймовірності вибору маршруту прямування залежно від часу очікування пасажиром транспортного

засобу на зупиночному пункті статистично значимі; відмінності в ймовірності вибору маршруту прямування статистично значимі.

Підсумкові значення ймовірності вибору пасажиром маршруту прямування залежно від часу очікування транспортного засобу на зупиночному пункті в напрямку «вул. Познанська» – станція метро «Академіка Барабашова» наведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Ймовірності вибору пасажиром маршруту прямування

Маршрут	Фактичний час очікування, хв						
	0	1	2	3	4	5	6
24	0,5446	0,6166	0,6720	0,7138	0,7496	0,8010	0,8056
38E	0,1852	0,1564	0,1338	0,1170	0,1004	0,0626	0,0686
281E	0,2700	0,2270	0,1940	0,1694	0,1498	0,1364	0,1258

По параметрах маршрутів (табл. 1) розраховані їхні характеристики, які визначають показники функцій привабливості маршрутів у статичній формі, що запропоновані різними авторами, і які доповнені результатами натурних спостережень, зокрема коефіцієнтами статичного наповнення салонів транспортних засобів на початкових зупиночних пунктах трьох напрямків. Зазначені характеристики маршрутів і функції привабливості для напрямку «вул. Познанська» – станція метро «Академіка Барабашова» наведені в табл. 3.

Таблиця 3 – Параметри альтернативних маршрутів для розрахунків функцій привабливості

Характеристика маршруту	Маршрут		
	24	38E	281E
Характеристики маршрутів			
1. Експлуатаційна швидкість, км/год	14,2	15,6	15,5
2. Швидкість сполучення, км/год	15,6	23,4	23,3
3. Інтервал руху, хв	2,6	8,7	4,5
4. Частота руху, од./год	23,1	6,9	13,3
5. Розрахунковий середній час очікування пасажиром транспортного засобу на зупиночному пункті, хв	1,3	4,4	2,3
6. Коефіцієнт заповнення салону	0,256	0,556	0,475
7. Інтенсивність потоку вільних пасажиромісць, пас/місць/год	3093,6	110,3	279,3
8. Час поїздки, хв	14,2	9,5	9,5
Функції привабливості маршрутів			
9. Функція привабливості 1	29,274	17,709	20,617
10. Функція привабливості 2	1,7958774	0,3722005	0,4608726
11. Функція привабливості 3	63,25	8,83	14,44

По наведених у табл. 3 даним визначені емпіричні коефіцієнти C і Q у формулі (1). Для розв'язку даного завдання використана процедура «Пошук рішення» пакета Microsoft Excel®. У якості цільової функції використане наступне вираження:

$$SS_{\xi} = \sum_{m=1}^M (\xi_m - \bar{\xi})^2 \rightarrow \min, \quad (8)$$

де ξ_m – показник m -го маршруту, розрахований по (1);

$\bar{\xi}$ – середнє значення показника для всього набору альтернативних маршрутів.

Результати розрахунків наведені в табл. 4. Як показали розрахунки, найбільш точні результати отримані при використанні функції привабливості запропонованої Горбачовим П.Ф. Тому на наступних етапах дослідження розглядалася тільки ця функція привабливості, до якої застосовані уточнюючі моделі виду (4).

Таблиця 4 – Функції привабливості альтернативних маршрутів

Показник	Автор функції привабливості		
	Горбачов П.Ф.	Вдовиченко В.О.	Виниченко І.С.
Коефіцієнт «С»	-10,070	-6,391	-5,673
Коефіцієнт «Q»	1,172	4,315	11,007
Значення « SS_{ξ} »	$1,470 \cdot 10^{-11}$	$0,475 \cdot 10^{-3}$	$1,068 \cdot 10^{-3}$

На наступному етапі методом найменших квадратів визначений емпіричний коефіцієнт Θ моделі (4). Вхідні в модель значення граничної ймовірності для маршрутів і вихідна інформація для їхніх розрахунків наведені в табл. 5.

Таблиця 5 – Ймовірності вибору маршрутів

Показник	Маршрут		
	24	38E	281E
Ймовірність при часі очікування транспортного засобу на зупиночному пункті рівним нулю	0,5446	0,1852	0,2702
Гранична ймовірність	0,88814883	0,03166628	0,08018489
Різниця ймовірностей	-0,34314883	0,15333372	0,18981511

Регресійний аналіз експериментальних даних показав, що при значенні коефіцієнта $\Theta = 2,863$ досягається мінімальне значення суми квадратів відхилень моделі (4) від фактичних значень ймовірності вибору маршрутів у всьому діапазоні зміни часу очікування пасажиром транспортного засобу на зупиночному пункті, зафіксованого в експерименті

У **четвертому розділі** наведені результати статистичної обробки експериментальних даних, аналіз впливу часу очікування пасажиром транспортного

засобу на зупиночному пункті й практичні рекомендації із практичного використання результатів дослідження.

Характер зміни ймовірності вибору пасажиром маршруту прямування залежно від фактичного часу очікування транспортного засобу на зупиночному пункті (для напрямку «вул. Познанська» – станція метро «Академіка Барабашова») представлений на рис. 3.

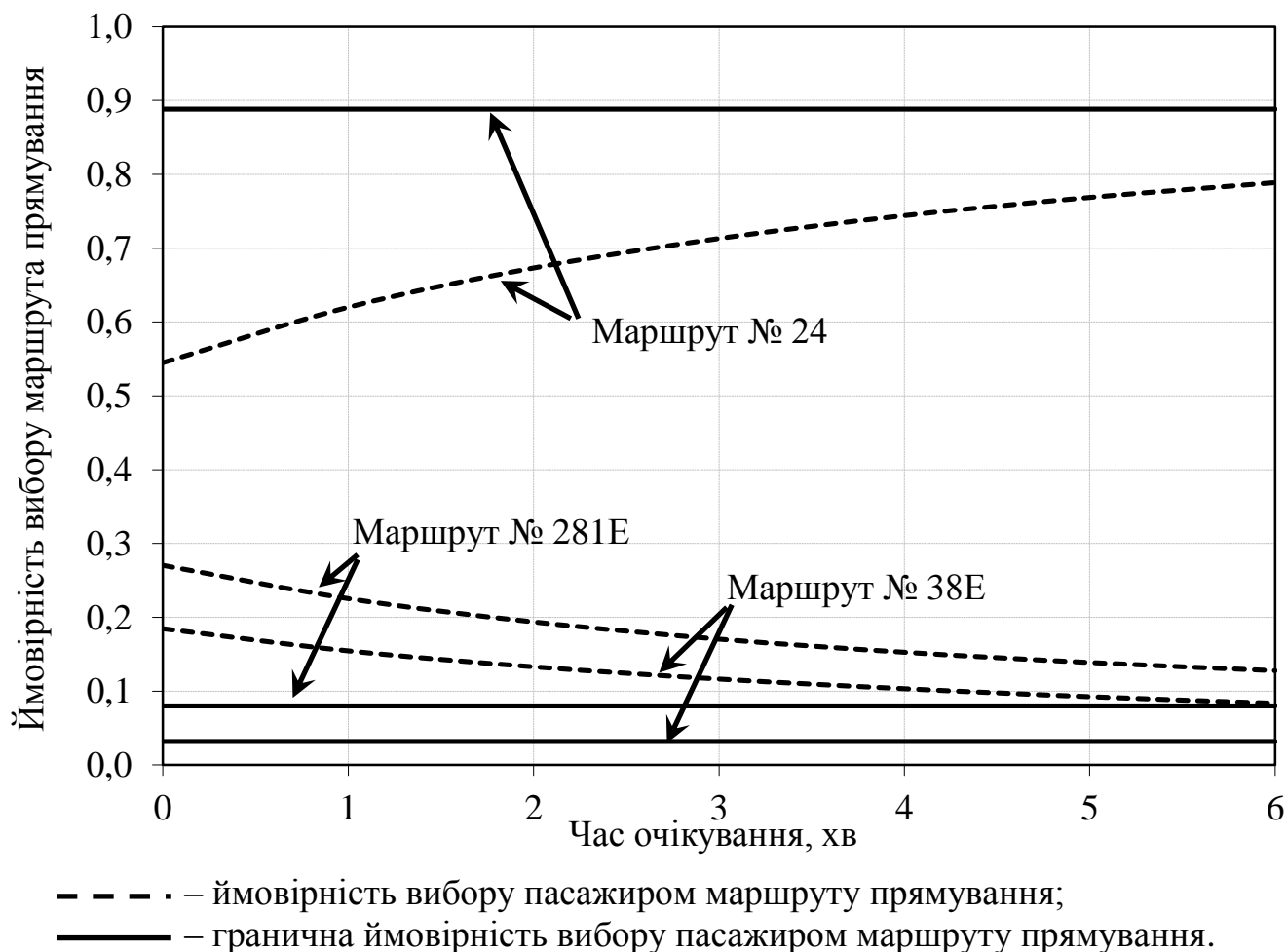


Рисунок 3 – Залежність ймовірності вибору пасажиром маршрутів прямування залежно від фактичного часу очікування транспортного засобу на зупиночному пункті

Аналіз моделі (4) показує, що ймовірність вибору пасажиром маршруту з меншим значенням функції привабливості при малих значеннях фактичного часу очікування їм транспортного засобу на зупиночному пункті більше, ніж значення ймовірності, розрахованого для середнього значення часу очікування і тим більше, чим більше значення часу очікування. Для маршрутів з високим значенням функції привабливості спостерігається зворотна тенденція. Цей факт вказує на те, що пасажир дорожить своїм часом і ухвалюючи рішення про вибір маршруту прямування враховує його, що підтверджує правильність висунутої в дослідженні робочої гіпотези.

Крім того, спираючись на цю закономірність, можна стверджувати, що використання моделі (4) у розрахунках по визначенню пасажиропотоків на мережі

МПП дасть можливість більш точно (до 10%) оцінити ступінь заповнення салонів транспортних засобів різних маршрутів. Це дозволить підвищити точність визначення завантаження окремих її ділянок і, відповідно, більш точно розрахувати витрати на перевезення пасажирів і витрати пасажирів на пересування.

ВИСНОВКИ

1. Проведений аналіз робіт, присвячених проблемам проектування і раціоналізації систем міського пасажирського транспорту, показав, що найбільш точні методи прогнозування розподілу пасажирських кореспонденцій по маршрутах засновані на використанні функцій привабливості маршрутів. Однак, всі запропоновані в цей час функції привабливості шляхів прямування засновані на статичному представленні пасажиром переваг того або іншого маршруту прямування й не враховують можливість зміни пріоритетів пасажирів щодо альтернативних шляхів прямування при збільшенні часу очікування ними транспортних засобів на зупиночних пунктах. Тому визначення закономірності впливу часу очікування пасажирів на зупиночному пункті на ймовірність вибору їм маршруту проходження є актуальним.

2. Розроблена математична модель ймовірності вибору пасажиром маршруту прямування являє собою композицію ймовірності посадки пасажирів в транспортний засіб і ймовірності вибору їм маршруту прямування залежно від часу очікування пасажиром транспортних засобів на зупиночному пункті. Остання ймовірність являє собою показову функцію, що залежить від функції привабливості маршруту, яка з ростом часу очікування асимптотично наближається до граничної ймовірності, яка, в свою чергу залежить від відносної інтенсивності надання маршрутом вільних пасажиромісць.

3. На підставі обробки 3977 анкет, зібраних під час обстеження пасажирських кореспонденцій визначено, що в розподілі пасажиропотоку, що складається з респондентів даного дослідження, спостерігаються стійкі тенденції щодо пріоритетів пасажирів. Проведений дисперсійний аналіз ймовірностей вибору пасажиром маршруту прямування показав, що вид зайнятості респондента не справляє статистично значимого впливу на ймовірність вибору їм маршруту прямування залежно від фактичного часу очікування їм транспортного засобу на зупиночному пункті.

4. Регресійний аналіз, проведений з використанням методу найменших квадратів по визначенню коефіцієнта регресійної моделі функції ймовірності вибору пасажиром маршруту прямування, дозволив визначити його значення, рівне 2,863. Дисперсійний аналіз залишків ймовірностей вибору пасажирів маршруту прямування показав, що запропонована модель функції ймовірності вибору пасажиром маршруту прямування є адекватною й може бути використана для дослідницьких і практичних цілей.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Нефедов Н. А. К определению функции привлекательности путей передвижения пассажира / Н. А. Нефедов, С. В. Очеретенко, Альберт Авуа // Комунальне господарство міст: Науково-технічний збірник. – Х., 2011. – Вип. 101. – С. 246-251.
2. Нефедов Н. А. Экспериментальное исследование вероятности выбора пассажиром маршрута следования / Н. А. Нефедов, Альберт Авуа Дж. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий: Научный журнал. – Х.: Технологический центр, 2014. – № 2/3 (68). – С. 40-44.
3. Нефедов Н. А. О функции вероятности выбора пассажиром маршрута следования в системах городского пассажирского транспорта крупнейших городов / Н. А. Нефедов, Альберт Авуа Дж. // Автомобильный транспорт: Сборник научных трудов. – Х.: ХНАДУ, 2014. – Вып. 34. – С. 70-73.
4. Нефедов Н. А. Прогнозирование распределения пассажирских корреспонденций по участкам маршрутной сети / Н. А. Нефедов, Альберт Авуа Дж. // Международный научный журнал «ScienceRise», 2014. – Вып. 4. – С. 58-61.
5. Альберт Авуа Дж. Учет влияния функционального состояния пассажира при выборе им маршрута следования / Альберт Авуа Дж., С. В. Очеретенко // Комунальне господарство міст: Науково-технічний збірник. – Х.: ХНУМГ, 2014. – Вип. 118. – С. 82-85.
6. Нефедов Н. А. К определению вероятности выбора пассажиром маршрута следования / Н. А. Нефедов, Альберт Авуа Дж. // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета: Сборник научных трудов. Х.: ХНАДУ, 2014. – Вып. 69. – С. 124-127.
7. Awuah A. Jnr. About Transport Fatigue as an Impact Factor on Workplace Productivity in Accra, Ghana / A. Jnr. Awuah // Journal of Information Technology and Economic Development. – Beverly Hills, Michigan: Global Strategic Management, Inc., 2013. – Vol. 4 (1). – P. 9-25.
8. Nefedov N. A. Theoretical Basis of the Impact of Passenger Waiting Time on Passenger Flow Distribution on Routes in Cities / N. A. Nefedov, Albert Awuah Jr. // Journal of Economic Development, Management, IT, Finance and Marketing. Vol. 6 (1), 2014. – P. 77-86.
9. Нефедов Н. А. Исследование влияния временного интервала на выбор пассажиром пути следования / Н. А. Нефедов, С. В. Алексеенко, Альберт Авуа // Совершенствование организации дорожного движения и перевозок пассажиров и грузов: сборник научных трудов. – Минск: БНТУ, 2012. – С. 84-87.
10. Нефедов Н. А. Экспериментальное исследование вероятности выбора пассажиром маршрута следования / Н. А. Нефедов, Альберт Авуа Дж. // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 12-й Международной научно-технической конференции. Т. 3. – Минск: БНТУ, 2014. – С. 243-244.

АНОТАЦІЯ

Альберт Авуа Дж. Формування закономірностей вибору пасажирями маршруту прямування у внутрішньоміському сполученні. – 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, 2016.

На підставі аналізу практичних рішень і теоретичних досліджень у роботі запропоновано для підвищення точності прогнозування розподілу пасажиропотоків по ділянках маршрутної мережі міського пасажирського транспорту враховувати вплив фактичного часу очікування пасажиром транспортного засобу на зупиночному пункті на функції привабливості маршрутів. У результаті теоретичних досліджень визначено, що основним фактором, що визначає ймовірність вибору пасажиром шляху прямування і відповідного маршруту міського пасажирського транспорту є функція привабливості маршруту. Межі зміни функцій привабливості визначаються початковою і граничною ймовірностями, які характеризують конкретний маршрут у сукупності альтернативних маршрутів. Функції привабливості маршрутів з початкової ймовірністю більшої граничної зі збільшенням часу очікування пасажирів зменшуються, а з початкової ймовірності меншої граничної – збільшуються. У результаті статистичної обробки даних натурних спостережень, проведених шляхом анкетування фіксованої групи респондентів, визначені чисельні характеристики функції зміни ймовірності вибору пасажиром маршруту прямування. Дані експерименту вказують на відсутність статистично значимих відмінностей впливу часу очікування пасажирів на ймовірність вибору маршруту проходження різних соціальних груп респондентів, а також на те, що найбільш точно початкова ймовірність вибору маршруту прямування описується за допомогою функції привабливості маршруту, яка враховує тариф на проїзд, час пересування, кількість пересадок і коефіцієнт динамічного заповнення салону. З використанням отриманих закономірностей запропонований алгоритм прогнозування розподілу пасажиропотоків по ділянках маршрутної мережі, який дозволяє підвищити точність прогнозу на 10%.

Результати роботи використані в навчальному процесі ХНАДУ в дисципліні «Основи теорії транспортних процесів і систем». Практична значущість роботи підтверджується відповідним актом впровадження на підприємстві ТОВ «Експрес» м. Харкова.

Ключові слова: пасажир, маршрут прямування, функція привабливості, час очікування, прогноз, пасажиропотік.

АННОТАЦИЯ

Альберт Авуа Дж. Формирование закономерностей выбора пассажирами маршрута следования во внутригородском сообщении. – 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, 2016.

На основании анализа практических решений и теоретических исследований в работе предложено для повышения точности прогнозирования распределения пассажиропотоков по участкам маршрутной сети ГПТ учитывать влияние фактического времени ожидания пассажиром транспортного средства на остановочном пункте на функции привлекательности маршрутов. В результате теоретических исследований определено, что основным фактором, определяющим вероятность выбора пассажиром пути следования и соответствующего маршрута ГПТ является функция привлекательности маршрута. Используя концепцию анализа дискретного выбора в работе выдвинута гипотеза о том, что вероятность выбора какого-либо из альтернативных маршрутов пропорциональна привлекательности этого маршрута только при фактическом времени ожидания пассажиром транспортного средства на остановочном пункте равным нулю. В соответствии с выдвинутой в работе гипотезой предложена модель изменения функции привлекательности маршрута в зависимости от фактического времени ожидания пассажиром транспортного средства на остановочном пункте и функций привлекательности альтернативных путей следования. Пределы изменения функций привлекательности определяются начальной и предельной вероятностями, которые характеризуют конкретный маршрут в совокупности альтернативных маршрутов. Функции привлекательности маршрутов с начальной вероятностью большей предельной с увеличением времени ожидания пассажира уменьшаются, а с начальной вероятностью меньшей предельной – увеличиваются. Для определения численных значений коэффициентов предложенной аналитической модели в качестве основного метода в работе определен регрессионный анализ, основанный на статистических данных. В результате статистической обработки данных натурных наблюдений, проведенных путем анкетирования фиксированной группы респондентов, общей численностью 240 человек, определены численные характеристики функции изменения вероятности выбора пассажиром пути следования. Данные эксперимента указывают на отсутствие статистически значимых различий влияния времени ожидания пассажиров на вероятность выбора маршрута следования разных социальных групп респондентов, а также на то, что наиболее точно начальная вероятность выбора маршрута следования описывается с помощью функции привлекательности маршрута, которая учитывает тариф на проезд, время передвижения, количество пересадок и коэффициент динамического заполнения салона. Характер изменения вероятности выбора пассажиром маршрута следования в зависимости от времени ожидания пассажиром транспортного средства на остановочном пункте описывается показательной функцией. С использованием полученных закономерностей предложен алгоритм прогнозирования распределения пассажиропотоков по участкам маршрутной сети, который позволяет повысить точность прогноза на 10%.

Результаты работы использованы в учебном процессе ХНАДУ в дисциплине «Основы теории транспортных процессов и систем». Практическая значимость результатов работы подтверждается соответствующим актом внедрения на предприятии ООО «Экспрес» г. Харькова.

Ключевые слова: пассажир, маршрут следования, функция привлекательности, время ожидания, прогноз, пассажиропоток.

ABSTRACT

Albert Awuah Jr. The formation of patterns of choice by passengers on the trip route in urban traffic. – Manuscript.

Thesis to obtain scientific degree of candidate of science of the specialty 05.22.01 – «Transport system». – Kharkiv National Automobile and Highway University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2016.

Based on the analysis of practical solutions and theoretical research in this thesis was proposed to improve the accuracy of predicting the distribution of passenger traffic on sections of the route network of public passenger transport by taking into consideration the impact of the actual waiting time of the passenger for vehicle at the bus stop on attractiveness function of the routes. In the theoretical part of thesis was determined that the main factor of determining the probability of choosing the passenger trip route and associated routes of urban passenger transport is a attractiveness function of the actual route. Limits of attractiveness functions are defined by a start and marginal probabilities that characterize a specific route in the aggregates of alternative routes. The attractiveness functions of the routes with the initial probability greater than the start probability is reduced while increasing waiting time of the passenger, but attractiveness functions of the routes with the initial probability that is lower the limit – increases. In the statistical processing of the observation data conducted by means of questionnaires, for fixed group of respondents, defined numerical characteristics of the function changes the probability of choosing the trip route. The experimental data indicate no statistically significant differences influence of the waiting time of passengers on the probability of choosing trip route between the different social groups of respondents, as well as the fact that most accurately the initial probability of choosing route is described with the attractiveness function of the route, which takes into account taxes, travel time, number of transfers and dynamic coefficient of bus cabin. Using the obtained regularities there was proposed an algorithm for predicting the distribution of passenger traffic on sections of the route network, which improves the accuracy of the forecast by 10%.

The results of this investigation was used in the educational process KhNADU for the discipline «Fundamentals of the theory of transport processes and systems».

The practical significance of the results is confirmed by the relevant act implementation at the enterprise LLC «Expres» , Kharkov.

Keywords: passenger, passenger trip route, the function of the attractiveness, the waiting time, forecasting, passenger flow.