

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ
УНІВЕРСИТЕТ

СВІЧИНСЬКА ОЛЬГА ВОЛОДИМИРІВНА

УДК 656.072

УДОСКОНАЛЕННЯ МОДЕЛЕЙ ВИБОРУ ШЛЯХУ ПЕРЕСУВАННЯ
ПАСАЖИРІВ В МАРШРУТНИХ СИСТЕМАХ МІСТ

Спеціальність 05.22.01 – Транспортні системи

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2015

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
Вікович Ігор Андрійович,
Національний університет
«Львівська політехніка», професор
кафедри транспортних технологій;

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

Захист відбудеться «__» _____ 2015 р. о ____ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.059.02 при Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті за адресою: 61002, м. Харків, вул. Петровського, 25.

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

Автореферат розісланий «__» _____ 2015 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

В.М. Павленко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. На сучасному етапі розвитку міст транспорт відіграє найважливішу роль у забезпеченні сполучення між усілякими об'єктами міської інфраструктури. Щохвилини люди здійснюють велику кількість пересувань з використанням як індивідуального, так і громадського транспорту (ГТ).

Обов'язковою умовою якісної організації роботи міського маршрутного пасажирського транспорту (ММПТ) є використання сучасних методів моделювання транспортних процесів. Особливе місце серед них займають математичні моделі поділу транспортного попиту, що описують переваги пасажирів при виборі шляху пересування. Дані моделі засновані на теорії корисності і дають можливість прогнозувати вибір шляху з кінцевого набору альтернатив. Основним призначенням таких моделей є розподіл потоку пасажирів по маршрутній мережі (ММ) міста.

Велика кількість транспортних підприємств і конкуренція між ними істотно впливають на показники якості перевезень, серед яких виділяються тривалість поїздки, доступність і комфорт, що є дуже важливими факторами при виборі пасажиром шляху пересування. Незважаючи на це, в існуючих моделях вибору (МВ) вони враховуються або посередньо, або не враховуються зовсім. Також для більшості МВ шляху властиві проблема переходу від частоти використання шляху до його привабливості та відсутність механізму перевірки отриманих моделей на адекватність. Це вказує на актуальність розробки нових підходів до моделювання поведінки пасажирів у маршрутній системі (МС) та оцінки адекватності результатів моделювання, а також створення нових моделей прогнозування ймовірності використання пасажирями альтернативних варіантів шляху.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Задача моделювання вибору пасажирями шляху пересування у маршрутній системі міста відповідає Державній цільовій програмі розвитку міського електротранспорту на період до 2017 року, затвердженій постановою Кабінету Міністрів України (КМУ) №1855 від 29.12.2006 р., Транспортній стратегії України на період до 2020 року, затвердженій постановою КМУ №2174-р. від 20.10.2010 р., Концепції Державної цільової економічної програми розвитку автомобільного транспорту на період до 2015 року, схваленої розпорядженням КМУ №732-р. від 03.08.2011 р. Запропоновані у роботі методики були використані під час виконання таких науково-дослідницьких робіт (НДР): методика перетворення частоти вибору шляху пересування в його привабливість була використана при виконанні НДР «Розробка наукових основ та методів удосконалення транспортних систем мегаполісів», № держреєстрації 0111U001503, виконавець; методика проведення обстеження для формування функції привабливості шляху пересування була використана при виконанні НДР «Розробка заходів щодо коригування схеми руху міського маршрутного пасажирського транспорту міста Суми», № держреєстрації 0112U004747, виконавець; методика оцінки параметрів моделей вибору пасажирями шляху пересування, необхідних для моделювання

транспортних потоків, була застосована під час виконання НДР «Розробка раціонального варіанту маршрутної мережі міста Кіровоград», № держреєстрації 0112U00692, виконавець.

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є підвищення ефективності функціонування систем громадського транспорту міст при їх удосконаленні за рахунок використання моделей вибору пасажиром шляху пересування.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз існуючих моделей поведінки пасажирів у маршрутних системах міст, методів отримання вихідної інформації для їх формування та підходів до оцінки адекватності цих моделей;
- сформулювати теоретичні основи отримання коефіцієнтів функції корисності шляху пересування;
- визначити методи перетворення частоти вибору шляху пересування в його привабливість для найпоширеніших моделей розрахунку ймовірності;
- розробити критерій адекватності моделей вибору пасажиром шляху пересування;
- обґрунтувати тривалість спостережень за пасажиром при проведенні обстеження вибору шляху пересування;
- обґрунтувати об'єм вибірки із пасажирів громадського транспорту, необхідний для побудови функції корисності шляху пересування;
- отримати моделі вибору пасажиром шляхів пересування у маршрутній системі м. Харкова та перевірити їх на адекватність за допомогою розробленого критерію;
- реалізувати розроблену методику розрахунку ймовірності вибору шляху пересування на практиці при прогнозуванні розподілу пасажиропотоків по мережі міста.

Об'єкт дослідження – процес вибору пасажиром шляху пересування в маршрутній системі міста.

Предмет дослідження – вплив параметрів шляху на ймовірність використання пасажиром альтернативних варіантів пересування.

Методи дослідження. Під час вивчення можливостей існуючих моделей вибору пасажиром альтернативних варіантів пересування, а також критеріїв оцінки якості моделювання такого вибору були використані аналіз та дедуктивний метод. При розробці критерію адекватності моделей вибору та обґрунтуванні необхідної кількості респондентів застосовувались формалізація, порівняння, методи теорії ймовірностей та математичної статистики, гіпотетичний та індуктивний методи. Для розробки теоретичних основ оцінки коефіцієнтів функції корисності використовувались аналітичне моделювання та регресійний аналіз.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що:

- вперше надано кількісну та ймовірнісну оцінку ступеню розбіжності між розрахунковими і емпіричними ймовірностями вибору шляхів пересування за рахунок розробленого критерію перевірки моделей вибору шляху пересуван-

ня на адекватність, значення якого асимптотично розподілені за законом хі-квадрат;

- вперше розроблений новий метод визначення кількості респондентів і тривалості спостережень за ними при проведенні обстеження методом фактичного вибору, які є достатніми для побудови функції корисності шляху пересування громадським транспортом.

- удосконалений спосіб визначення ймовірності вибору альтернативного шляху пересування на основі спостережень за фактичним вибором альтернатив.

- отримали подальший розвиток функції корисності шляху пересування за рахунок розширення їх переліку.

Практичне значення результатів дослідження:

- розроблена методика розрахунку коефіцієнтів функції корисності шляху пересування;

- удосконалена методика проведення обстеження для формування функції корисності шляху пересування.

Отримані результати були використані при:

- розробці раціонального варіанту маршрутної мережі м Кіровоград;
- визначенні попиту пасажирів на пересування громадським транспортом у м. Львові;

- розробці заходів щодо коригування схеми руху міського маршрутного пасажирського транспорту м Суми;

- у навчальному процесі Харківського національного автомобільно-дорожнього університету (ХНАДУ) під час навчання студентів спеціальності «Транспортні системи».

Практичне значення отриманих результатів підтверджується відповідними актами впровадження на рівні виконавчих комітетів Сумської, Кіровоградської та Львівської міських рад. Розроблена методика оцінки коефіцієнтів функції корисності шляху пересування, яка необхідна для визначення ймовірності його вибору використовується у навчальному процесі при викладанні дисципліни «Моделювання транспортних систем» студентам факультету транспортних систем ХНАДУ, що підтверджується відповідними актами впровадження.

Особистий внесок здобувача. Усі положення та результати дисертаційної роботи отримані автором особисто і наведені у роботах [1-12]. У наукових роботах, які опубліковані у співавторстві, особистий вклад здобувача полягає у такому: досліджено транспортні фактори, які впливають на формування трудових зв'язків [1]; проаналізовано принципи побудови та математичний апарат основних видів моделей дискретного вибору пасажирями шляху пересування громадським транспортом у містах [2]; показана перспективність використання регресійного аналізу для оцінки коефіцієнтів моделі корисності шляху, отриманої після перетворення частоти використання альтернатив [6, 8]; розроблено критерій перевірки даних моделей на адекватність і представлено механізм його одержання [3, 8]; розроблено методику використання даного критерію для оцінки адекватності моделей вибору шляху пересування у маршрутних системах міст [9]; представлений підхід до визначення кількості днів обстеження фа-

ктивного вибору пасажиром шляху пересування, достатнього для побудови моделей переваг пасажирів [4]; запропоновано спосіб розрахунку достатньої кількості анкет під час проведення обстежень з метою отримання фактичних значень частоти використання альтернативних варіантів шляху, який базується на допустимій величині відносної похибки коефіцієнтів функції корисності та є необхідним для її побудови [5].

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

- 76-77-й науково-технічних та науково-методичних конференціях ХНАДУ (м. Харків, 2012-2013 рр.);
- міжнародній науково-практичній конференції «Удосконалення організації дорожнього руху та перевезень пасажирів і вантажів» (БНТУ, м. Мінськ, 2012 р.);
- міжнародній науково-практичній конференції «Транспортні проблеми найкрупніших міст» (ХНАМГ, м. Харків, 2012 р.);
- всеукраїнській науково-технічній конференції «Створення транспортних, дорожніх та будівельних машин» (КНУ ім. М. Остроградського, м. Кременчук, 2011 р.);
- 3-й міжнародній конференції молодих вчених ЕМТ-2013 «Інженерна механіка та транспорт» (Львівська політехніка, м. Львів, 2013 р.);
- 7-й всеукраїнській науково-практичній конференції студентів та аспірантів «Підвищення надійності машин і обладнання» (КНТУ, м. Кіровоград, 2013 р.);
- міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні проблеми аналізу динамічних систем. Додатки в техніці та технологіях» (ВДЛА, м. Вороніж, 2014 р.);
- 3-му симпозіумі Європейської асоціації з досліджень у галузі транспорту «hEART 2014» (м. Лідс, Великобританія, 2014 р.).

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 12 наукових праць, зокрема: 5 статей у наукових фахових виданнях України, 6 статей – у виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз даних, 3 статті у закордонних виданнях, 3 тези доповідей, 1 авторське свідоцтво.

Структура й обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг роботи складає 198 сторінок, 9 рисунків та 28 таблиць, 5 додатків на 49 сторінках, список використаних джерел включає 138 найменувань, розміщених на 13 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

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

Перший розділ дисертації присвячений аналізу існуючих моделей вибору пасажиром шляху пересування у МС міста, методів проведення обстежень,

спрямованих на отримання інформації для побудови таких моделей, а також вивченню критеріїв їх перевірки на адекватність.

Джерелом інформації для вивчення вказаних питань послужили роботи таких дослідників, як Брайловський М.О., Буличева Н.В., Брейдо Т.Є., Горбачов П.Ф., Грановський Б.І., Доля В.К., Єфремов І.С., Заблоцький Г.А., Кобозєв В.М., Імельбаєв Ш.С., Рогова Г.Л., Садихова О.С., Самойлов Д.С., Фьодоров В.П., Юдін В.А., Ben-Akiva М.Е., Bierlaire M., Cramer J.S., Daganzo C.F., Greene W., Goulias K. G., Louviere J.J., Luce R.D., McFadden J., Ortuzar J.D., Train K.E., Wardrop J., Walker J.L., Wilson A.O. та ін.

Планування роботи ММРТ у сучасних умовах неможливе без математичного моделювання, в рамках якого широкого розповсюдження набула чотири етапна процедура розрахунку потоків пасажирів, що складається з генерації пересувань та їхнього розподілу, вибору виду транспорту та розподілу пересувань на транспортній мережі. Реалізація кожного з цих етапів здійснюється за допомогою відповідних методів, проте для останніх двох кроків існуючі підходи далеко не завжди забезпечують належну якість і адекватність результатів.

Сьогодні розроблено доволі багато моделей поведінки пасажирів при виборі шляху пересування, які для розрахунку ймовірності вибору шляху використовують його корисність, котра є мірою, що відображає ступінь задоволення пасажирів результатом пересування. Дані моделі вибору можна розділити на три укрупнені групи – первісні моделі вибору, нормувальні та дискретного вибору. Моделям усіх цих груп властиві недоліки, основним з яких є складність отримання коефіцієнтів функції корисності. Додатковими проблемами моделювання є відсутність обґрунтованого критерію оцінки точності моделей та низький рівень методичного забезпечення обстежень пасажирів.

У **другому розділі** дисертаційної роботи розроблено критерій перевірки моделей вибору пасажиром шляху пересування на адекватність, надано теоретичні основи отримання функції корисності шляху пересування у маршрутних системах міст (МСМ) та отримано аналітичні вирази для перетворення частоти використання альтернативного варіанту шляху в його привабливість.

Взагалі при моделюванні вибору шляху пересування на основі його привабливості метод отримання оцінок коефіцієнтів функції корисності може бути будь-яким – важливо лише, щоб він забезпечував достатню точність оцінки її коефіцієнтів. Найбільшого розповсюдження для визначення коефіцієнтів, особливо у моделях дискретного вибору, набув метод максимальної правдоподібності, але він неповною мірою відповідає поставленій перед ним задачі, адже умови його використання істотно відрізняються від тих, для яких він розроблявся. У такому разі особливу увагу слід звернути на регресійний аналіз, який довів свої спроможності у прогностичному і аналітичному сенсі, але не отримав розповсюдження при моделюванні ситуації вибору. Проте випадок з вибором шляху пересування практично в усьому відповідає умовам використання регресійного аналізу за одним лише винятком – результуюча ознака, яка являє собою привабливість альтернативи, не може бути зафіксована у процесі спостережень, адже є суб'єктивною мірою, яка заснована на власному досвіді пасажирів і хара-

ктеризує сприйняття ним шляху пересування. Замість неї можна зафіксувати частоту використання альтернативи, і тоді метою моделювання буде адекватний опис цих частот розрахунковими ймовірностями використання альтернатив. Корисність пересування у такому разі буде проміжним, а не кінцевим результатом моделювання

$$P_{ij} = U_{ij} / \sum_{l=1}^{r_i} U_{il}, \quad (1)$$

$$U_{ij} = f(x_{kij}, \Pi_{ij}), \quad (2)$$

$$\Pi_{ij} = f(v_{ij}), \quad (3)$$

де P_{ij} – розрахункова ймовірність вибору i -м пасажиром j -ї альтернативи, $i = 1, \dots, N$, $j = 1, \dots, r_i$;

r_i – кількість альтернатив пересування, доступних i -му пасажирові;

U_{ij} – теоретична корисність шляху пересування j для пасажирів i ;

x_{kij} – k -й фактор, що впливає на вибір i -м пасажиром j -ї альтернативи, $k = 0, 1, 2, \dots, m$ (час пересування, вартість проїзду, тощо);

Π_{ij} – емпірична привабливість j -го шляху пересування (альтернативи) для i -го пасажирів;

v_{ij} – емпірична частота вибору i -м пасажиром j -ї альтернативи.

Тобто, при наявності механізму перетворення емпіричної частоти вибору альтернатив в їхню привабливість (3), існує можливість використання регресійного аналізу для отримання залежності корисності шляху (2) від його параметрів. При цьому необхідно враховувати відносний характер привабливості альтернатив у межах кожного пересування та різний масштаб параметрів шляху для різних пересувань при їхньому об'єднанні в єдиний масив даних для розрахунку коефіцієнтів функції корисності. На цій основі була висунута гіпотеза про можливість вирішення зазначених проблем за рахунок нормування факторів функції корисності діленням значення фактору на його середнє значення

$$\hat{x}_{kij} = \frac{x_{kij}}{\bar{x}_{kij}}, \quad (4)$$

де $\hat{x}_{kij}$ – нормоване значення k -го фактора функції корисності, що впливає на вибір i -м пасажиром j -ї альтернативи;

$\bar{x}_{kij}$ – середнє арифметичне абсолютних значень k -го фактора для одного набору альтернативних варіантів шляху пересування.

При цьому коефіцієнти функції корисності шляху пересування (2) можуть бути визначені за допомогою методу найменших квадратів

$$\Phi = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{r_i} (U_{ij} - \Pi_{ij})^2 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{r_i} (a_0 + a_1 \cdot \hat{x}_{1ij} + \dots + a_k \cdot \hat{x}_{kij} - \Pi_{ij})^2 \rightarrow \min, \quad (5)$$

де $a_0, a_1, \dots, a_k$ – коефіцієнти функції корисності при факторах $\hat{x}_{kij}$.

Віднайти мінімум функції (5) можна стандартним шляхом, вирішивши систему нормальних рівнянь, отриманих її диференціюванням по кожному з невідомих коефіцієнтів. Слід зазначити, що такий метод пошуку коефіцієнтів вирішує проблеми відносного характеру і різного масштабу параметрів і разом з тим не накладає обмежень на форму представлення емпіричної привабливості Π_{ij} , для отримання якої можна застосовувати різноманітні перетворення спостережуваних частот вибору шляхів пересування.

Основою таких перетворень стали моделі вибору, які отримали найбільше застосування у спеціалізованих програмних продуктах з транспортного планування. Для кожної з них був формалізований взаємозв'язок між емпіричною частотою використання шляху та його привабливістю для пасажирів, табл. 1.

Таблиця 1 – Залежності для визначення взаємозв'язку між емпіричною частотою вибору шляху пересування та його привабливістю

Назва залежності	Вид залежності між Π_{ij} і v_{ij}	Вираз привабливості Π_{ij} через частоту v_{ij}
Лінійна	$\Pi_{i1}/v_{i1} = \Pi_{ij}/v_{ij}$	$\Pi_{ij} = \Pi_{i1} \cdot v_{ij}/v_{i1}$
Показникова	$\exp(\Pi_{i1})/v_{i1} = \exp(\Pi_{ij})/v_{ij}$	$\Pi_{ij}^{Expon} = \Pi_{i1} + \ln(v_{ij}/v_{i1})$
Бокс-Кокс	$\frac{\exp[(-\beta/\lambda) \cdot (\Pi_{i1}^\lambda - 1)]}{v_{i1}} = \frac{\exp[(-\beta/\lambda) \cdot (\Pi_{ij}^\lambda - 1)]}{v_{ij}}$ λ, β – калібрувальні параметри	$\Pi_{ij}^{Box-Cox} = \sqrt[\tau]{\frac{\tau}{\beta} \cdot \ln\left(\frac{v_{i1}}{v_{ij}}\right)} + (\Pi_{i1}^{Box-Cox})^\tau,$ $\lambda, \beta \neq 0, \Pi_{i1}^\lambda \geq 0$
Правило Кірхгофа	$\frac{(\Pi_{i1})^{-\tau}}{v_{i1}} = \frac{(\Pi_{ij})^{-\tau}}{v_{ij}},$ τ – калібрувальний параметр	$\Pi_{ij}^{Kh} = \Pi_{i1} \cdot \sqrt[\tau]{\frac{v_{i1}}{v_{ij}}}.$

У разі застосування наведених варіантів залежності між частотою вибору та привабливістю ймовірність вибору пасажиром шляху пересування, яка визначається виразом (1), запишеться так:

- за умови лінійної залежності

$$P_{ij} = \frac{U_{ij}}{\sum_{l=1}^{r_i} U_{il}} = \frac{a_0 + a_1 \cdot \hat{x}_{1ij} + \dots + a_k \cdot \hat{x}_{kij}}{\sum_{l=1}^{r_i} (a_0 + a_1 \cdot \hat{x}_{1il} + \dots + a_k \cdot \hat{x}_{kil})}; \quad (6)$$

- для показникової залежності

$$P_{ij}^{Expon.} = \frac{\exp[U_{ij}]}{\sum_{l=1}^{r_i} \exp[U_{il}]} = \frac{\exp(a_0 + a_1 \cdot \hat{x}_{1ij} + \dots + a_k \cdot \hat{x}_{kij})}{\sum_{l=1}^{r_i} \exp(a_0 + a_1 \cdot \hat{x}_{1il} + \dots + a_k \cdot \hat{x}_{kil})} ; \quad (7)$$

- за умови використання перетворення Бокс-Кокс

$$P_{ij}^{Box-Cox} = \frac{\exp[(-\beta / \lambda) \cdot (U_{ij}^\lambda - 1)]}{\sum_{l=1}^{r_i} \exp[(-\beta / \lambda) \cdot (U_{il}^\lambda - 1)]} = \frac{\exp[(-\beta / \lambda) \cdot ((a_0 + a_1 \cdot \hat{x}_{1ij} + \dots + a_k \cdot \hat{x}_{kij})^\lambda - 1)]}{\sum_{l=1}^{r_i} \exp[(-\beta / \lambda) \cdot ((a_0 + a_1 \cdot \hat{x}_{1il} + \dots + a_k \cdot \hat{x}_{kil})^\lambda - 1)]}; \quad (8)$$

- при застосуванні правила Кірхгофа

$$P_{ij}^{Kh} = \frac{(U_{ij})^{-\tau}}{\sum_{l=1}^{r_i} (U_{il})^{-\tau}} = \frac{(a_0 + a_1 \cdot \hat{x}_{1ij} + \dots + a_k \cdot \hat{x}_{kij})^{-\tau}}{\sum_{l=1}^{r_i} (a_0 + a_1 \cdot \hat{x}_{1il} + \dots + a_k \cdot \hat{x}_{kil})^{-\tau}}. \quad (9)$$

Можливість застосування різних залежностей для опису взаємозв'язку між частотою вибору шляху пересування та його привабливістю дозволяє отримати, на основі одного і того ж емпіричного матеріалу, різні функції корисності. Це не тільки забезпечує широкі можливості дослідникам при моделюванні поведінки пасажирів, але й вказує на необхідність розробки критерію, який би оцінював міру відхилення спостережуваних частот і розрахункових ймовірностей вибору альтернативного варіанту шляху пересування. Загальноприйнятого критерію для такої задачі в умовах великої кількості ситуацій вибору, в кожній з яких існує повна група подій із сумою ймовірностей, яка дорівнює 1, у математичній статистиці ще немає.

За методичну основу для розроблення шуканого критерію був прийнятий критерій Пірсона. У результаті урахування умов завдання був сформований критерій адекватності s_N^2 , який дозволяє оцінити результати моделювання вибору N пасажирів, кожен з яких потрапляє у ситуацію вибору з $r_i \geq 2$ альтернатив пересування

$$s_N^2 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{r_i} \left[n \cdot \frac{(\nu_{ij} - P_{ij})^2}{P_{ij}} \right] \rightarrow \min, \quad (10)$$

де n – тривалість спостережень за вибором шляху пересування одним пасажиром, днів.

Оцінка адекватності моделі за результатами розрахунку представленого критерію (10) ґрунтується на такому: при кількості спостережень за вибором

пасажира $n \rightarrow \infty$ критерій має асимптотичний розподіл хі-квадрат з $(N - m)$ ступенями свободи $\chi^2(N - m)$ і для його застосування на заданому рівні значущості $(1 - \alpha)$ із таблиць хі-квадрат розподілу потрібно віднайти значення χ_α^2 таке, що

$$P\{\chi^2(N - m) > \chi_\alpha^2\} = 1 - \alpha. \quad (11)$$

Якщо $s_N^2 \leq \chi_\alpha^2$, то модель вибору шляху може вважатися такою, що добре описує емпіричні дані, тобто є адекватною. В іншому випадку, коли $s_N^2 > \chi_\alpha^2$, адекватність моделі не підтверджується.

Слід зазначити, що за будь-якого набору альтернативних шляхів пересування існує ймовірність того, що на вибір варіанта шляху не буде впливати ні один фактор або вплив усіх факторів буде рівнозначним. Така ситуація відповідає рівноймовірному вибору варіанту шляху серед альтернатив і є найпростішою, рівноможливою моделлю вибору. Отже, у разі порівняння декількох моделей вибору шляху, рівноможливу модель слід прийняти як альтернативу моделям, що розробляються. Розрахунок критерію (10) для випадку рівноможливого вибору і порівняння його з критичним значенням розподілу χ_α^2 з $(N - m)$ ступенями свободи дозволить визначити доцільність побудови або використання математичних моделей вибору пасажиром шляху пересування, відмінних від рівноможливої.

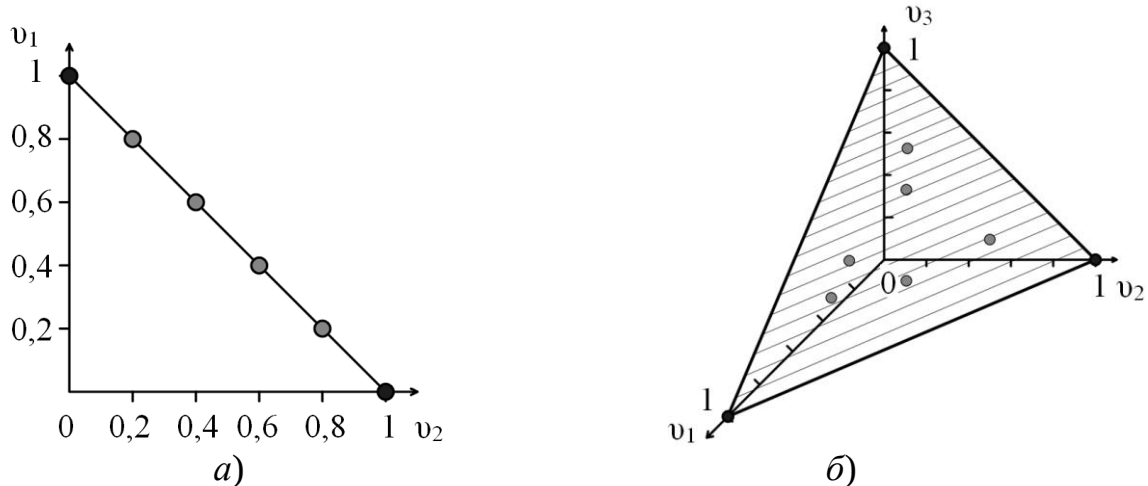
Підсумовуючи, потрібно відзначити, що представлений критерій дає можливість оцінити не тільки абсолютне значення відхилення розрахункової ймовірності від емпіричної частоти, але і ймовірність появи цього відхилення.

У третьому розділі роботи з метою виконання експериментальних досліджень розроблена методика проведення обстеження, спрямованого на формування функції корисності шляху пересування, запропонований спосіб визначення необхідної кількості пасажирів, яких потрібно охопити таким обстеженням, а також кількості спостережень за вибором кожного пасажирів. Це дозволило провести відповідне обстеження у м. Харкові та отримати необхідні дані для створення моделі вибору шляху при трудових пересуваннях громадським транспортом.

Обґрунтування обсягу емпіричного матеріалу, потрібного для створення моделі вибору пасажирів, у дисертаційній роботі зводиться до розв'язання двох задач: визначення раціональної тривалості спостережень за пересуваннями кожного пасажирів і кількості пасажирів громадського транспорту, яких необхідно охопити обстеженням.

Перша задача виникає внаслідок того, що найпоширенішим у світі методом проведення обстежень пересувань, з метою створення моделі поведінки пасажирів, є метод дискретного вибору, тобто однократне спостереження за вибором пасажирів. Але цей метод надає дуже грубі оцінки ймовірності емпіричними частотами, які дорівнюють 0 або 1. Під час багаторазового спостереження за

вибором пасажирів поміж двох альтернатив фактична частота являтиме собою точки на відрізку прямої, (рис. 1, а), у разі вибору поміж трьох альтернатив – буде представлена точками на площині трикутника (рис. 1, б). Але дискретні оцінки емпіричної частоти вибору можуть бути лише вершинами відрізку або трикутника, що вочевидь є занадто грубою оцінкою ймовірності вибору шляху.



а – зв'язок між ймовірностями вибору з двох альтернатив;
б – зв'язок між ймовірностями вибору з трьох альтернатив

Рисунок 1 – Зв'язок між ймовірностями вибору альтернативних шляхів пересування

Збільшення кількості спостережень за пересуваннями кожного пасажирів призводить до уточнення оцінок ймовірності вибору, рис. 2.

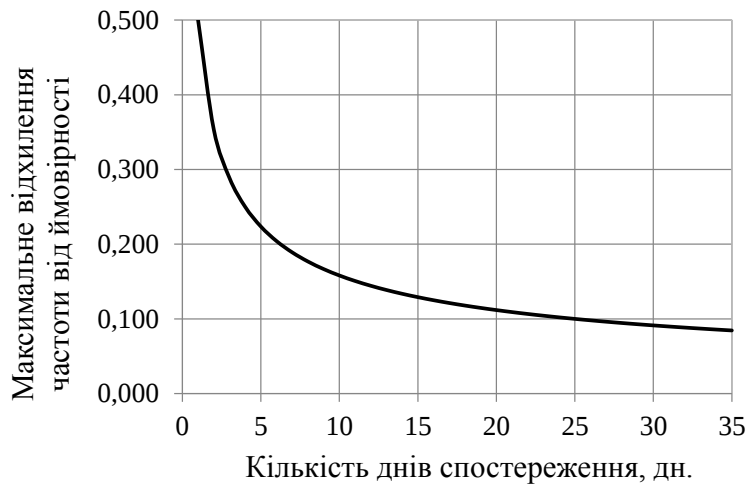


Рисунок 2 – Залежність максимальних відхилень частоти вибору шляху пересування від кількості днів спостереження

Проте підвищення кількості спостережень призводить також й до значного ускладнення обстеження, що вимагає визначення раціональної тривалості спостережень за пересуваннями одного пасажирів. Основою для її визначення стала можливість спростування гіпотези про рівноймовірний вибір пасажиром альтернативних варіантів шляху на основі результатів спостережень. Спираю-

чись на розроблений критерій s_N^2 , була визначена нерівність

$$\left| v_{ij} - \frac{1}{2} \right| \leq \frac{1}{2\sqrt{n}}, \quad i=1, 2, \dots, N, \quad (12)$$

виконання якої призводить до не спростування гіпотези про рівноможливий вибір альтернатив як такої. Тобто вираз (12) обмежує область негативного результату дослідження, оскільки при потраплянні результатів спостереження до неї, має бути прийнята рівноможлива модель, що не дозволяє отримати залежність ймовірності вибору шляху від його параметрів та параметрів альтернатив.

Пошук умов виконання нерівності (12) проводився для кількості днів спостереження в межах $n = 2, \dots, 35$, результатом став висновок, що раціональною тривалістю спостережень за трудовими пересуваннями пасажирів є 5 робочих днів. Це обумовлене тим, що саме при цій кількості виборів вперше з'являються значення частоти вибору 0,2 та 0,8, які відрізняються від 0 та 1 і не відповідають умові (12), тобто спростовують гіпотезу про рівноможливий вибір альтернатив, табл.2.

Таблиця 2 – Результати спростування гіпотези про рівноможливий вибір альтернатив

Кількість днів, n	Частоти, при яких нерівність (12)		Кількість ситуацій, при яких рівноможлива модель		Всього ситуацій	Частка ситуацій спростування
	виконується	не виконується	приймається	спростовується		
2	0,5	-	1	-	1	0
3	0,33; 0,67	-	2	-	2	0
4	0,25; 0,5; 0,75	-	3	-	3	0
5	0,4; 0,6	0,2; 0,8;	2	2	4	0,5
6	0,33; 0,5; 0,67	0,17; 0,83	3	2	5	0,4
7	0,43; 0,57	0,14; 0,29; 0,71; 0,86	2	4	6	0,67
8	0,38; 0,5; 0,63	0,125; 0,25; 0,75; 0,875	3	4	7	0,57
9	0,33; 0,44; 0,55; 0,67	0,11; 0,22; 0,78; 0,89	4	4	8	0,5
10	0,4; 0,5; 0,6	0,1; 0,2; 0,3; 0,7; 0,8; 0,9	3	6	9	0,67
11	0,36; 0,45; 0,55; 0,64	0,09; 0,18; 0,27; 0,73; 0,82; 0,91	4	6	10	0,6
12	0,42; 0,5; 0,58	0,08; 0,17; 0,25; 0,3; 0,67; 0,75; 0,83; 0,92	3	8	11	0,73
13	0,38; 0,46; 0,54; 0,62	0,8; 0,15; 0,23; 0,3; 0,69; 0,77; 0,85; 0,92	4	8	12	0,67
14	0,43; 0,5; 0,57	0,07; 0,14; 0,21; 0,3; 0,36; 0,64; 0,71; 0,79; 0,86; 0,93	3	10	13	0,77
15	0,4; 0,47; 0,53; 0,6	0,06; 0,13; 0,2; 0,3; 0,33; 0,67; 0,73; 0,8; 0,87; 0,93	4	10	14	0,71
...	...	...	...	...	...	...
35	0,43; 0,46; 0,49; 0,51; 0,54; 0,57	0,03; 0,06; 0,09; 0,11; 0,14; ...; 0,86; 0,89; 0,91; 0,94; 0,97	6	28	34	0,82

У разі подальшого збільшення кількості спостережень за вибором шляху пересування пасажирів, завдяки дискретному характеру емпіричних частот та зменшенню їх максимального відхилення від ймовірності, рис. 2, швидкого розширення області спростування найпростішої гіпотези не спостерігається. З врахуванням пришвидшеного зростання складності та вартості проведення обстежень з підвищенням тривалості спостережень, можливо зробити висновок про недоцільність підвищення кількості днів спостереження за одним пасажиром понад п'ять днів.

Друга задача, яка стосується обсягу респондентів в обстеженні, достатнього для забезпечення заданої точності шуканої моделі, вирішується з використанням теоретичних передумов відомого підходу до оцінки граничної помилки вибіркового середнього. Відміна у цьому разі полягає у тому, що обсяг вибірки встановлюється не для середнього значення одного параметра, а для коефіцієнтів регресії, які є узагальненням поняття математичного сподівання випадкової величини, оскільки найпростіша регресійна модель з одним вільним членом надає оцінку саме середнього значення.

Для коефіцієнтів моделі корисності шляху пересування встановлено, що кількість пасажирів, вибір яких необхідно дослідити для побудови моделі вибору шляху, можна визначити за залежністю

$$N = \max_{k=0,1,\dots,m} \left(\frac{\hat{\beta}_k}{\beta_{a_k}} \right)^2 \cdot n_{\pi}, \quad (13)$$

де β_{a_k} – задана дослідником відносна похибка для коефіцієнтів моделі корисності шляху пересування;

n_{π} – кількість респондентів у пробній вибірці, $n_{\pi} \in N$;

$\hat{\beta}_k$ – відносна похибка коефіцієнтів моделі корисності, визначених на основі вибіркової сукупності

$$\hat{\beta}_k = \frac{t_{\alpha} \cdot \mu_{\hat{a}_k}}{|\hat{a}_k|} = \frac{\Delta_{a_k}}{|\hat{a}_k|}, \quad (14)$$

де Δ_{a_k} – гранична (абсолютна) похибка у визначенні коефіцієнтів моделі корисності a_k , визначена як $\Delta_{a_k} = t_{\alpha} \cdot \mu_{\hat{a}_k}$;

t_{α} – радіус симетричного інтервалу відносно нуля;

α – ймовірність потрапляння випадкової величини з розподілом Стюдента при кількості ступенів свободи $(I_{\pi} - m - 1)$ в симетричний інтервал;

I_{π} – загальна кількість альтернативних шляхів пересування (кількість рівнянь), що представляють обсяг пробної вибірки, $I_{\pi} \in \sum_{i=1}^N r_i$;

$\mu_{\hat{a}_k}$ – величина стандартної похибки коефіцієнтів вибіркової сукупності $\hat{a}_k$.

Слід звернути увагу на те, що розрахунок за залежністю (13) проводиться окремо для кожного коефіцієнта моделі корисності, а вибір достатньої кількості респондентів для моделювання вибору шляху пересування здійснюється за найбільшим отриманим значенням, округленим до цілого у більший бік. Також слід зазначити, що розрахунок величини N повинен проводитися окремо для кожної з моделей корисності, які передбачається використовувати для розрахунку ймовірності вибору шляху.

Отже, для побудови функції корисності спочатку потрібно провести пробне обстеження, а потім за його результатами встановити кількість пасажирів, обстеження вибору яких буде достатньо для отримання можливості моделювання вибору шляху.

Базою для проведення експериментальних досліджень було обране м. Харків, де наявна розвинена система ГТ. Як об'єкт дослідження були обрані пасажирів ГТ при здійсненні трудових пересувань у напрямку «дім – робота». Часовим періодом під час спостереження була обрана повна доба без диференціації на періоди підйому і спаду пасажиропотоків.

Представлена у роботі методика проведення обстеження методом фіксації фактичного вибору пасажиром шляху пересування передбачає застосування спеціально розробленої анкети. Виходячи з доведеної тривалості спостереження за вибором одного пасажирів, складена анкета містить п'ять аркушів, що відповідають кожному дню спостереження за вибором шляху пересування, і аркуша, що містить загальні відомості про проводжуване обстеження, про самого респондента, а також інструкцію щодо заповнення анкети. За допомогою даної анкети можна отримати кількісну оцінку таких факторів, які впливають на вибір пасажирів: час, вартість та відстань пересування, коефіцієнт заповнення салону транспортного засобу, кількість пересадок, вид транспорту і частота вибору шляху пересування. Безпосередньо побудова моделі вибору шляху і спосіб оцінки коефіцієнтів моделі, що відповідають цим факторам, дозволить виявити найвагоміші серед них. До додаткових даних, які дозволяє отримати анкета, відносяться: вік, стать, рівень освіти, середня заробітна платня і наявність пільг на проїзд. Така інформація робить можливою виділення однорідних груп респондентів і виявлення закономірностей здійснюваного ними вибору.

Згідно з проведенням у м. Харкові пробним обстеженням та відповідно до методики визначення достатньої кількості пасажирів встановлено, що достатня кількість анкет обстеження (кожна з яких характеризує вибір та параметри шляхів пересування окремого пасажирів), необхідна для побудови моделі вибору пасажиром шляху пересування, повинна становити понад 248 од.

У **четвертому розділі** роботи представлено етапи формування моделей вибору пасажирів шляху пересування, наведено результати їх застосування на прикладі м. Харкова, а також надано рекомендації щодо використання моделей вибору на практиці.

З метою побудови моделей вибору пасажирів шляху пересування з використанням методу безпосередньої фіксації вибору за допомогою анкет було проведено обстеження у м. Харкові. В результаті було зібрано 347 придатних

до обробки анкет, що є достатньою кількістю, адже перевищує розрахунковий обсяг вибірки.

У результаті застосування представлених у роботі чотирьох способів перетворення частоти вибору шляху в його привабливість (табл. 1) отримано чотири види функції корисності та визначено відповідні кожному способу залежності для розрахунку ймовірності вибору шляху. Точність отриманих функцій корисності (регресійних рівнянь), була перевірена за допомогою основних статистичних параметрів регресії, табл. 3.

Таблиця 3 – Характеристика теоретичної функцій корисності за основними статистичними параметрами регресії для всіх моделей вибору

Залежність між частотою і привабливістю	Функція корисності, отримана методом нормування факторів	Коефіцієнт множинної кореляції, R	Критерій Фішера, F	Табл. значення критерію Фішера, $F_{\text{табл.}}$
Лінійна	$U_{ij} = 3,503 - 2,293 \cdot \frac{T_{nij}}{\bar{T}_{nij}} - 0,504 \cdot \frac{C_{nij}}{\bar{C}_{nij}}$	0,76	490,9	3,008
Показникова	$U_{ij}^{\text{Expon.}} = \exp(3,372 - 2,159 \cdot \frac{T_{nij}}{\bar{T}_{nij}} - 0,497 \cdot \frac{C_{nij}}{\bar{C}_{nij}})$	0,78	572,2	
Бокс-Кокс	$U_{ij}^{\text{Box-Cox}} = \exp([- \beta / \lambda] \cdot [(2,383 - 1,256 \cdot \frac{T_{nij}}{\bar{T}_{nij}} \cdot 0,291 \cdot \frac{C_{nij}}{\bar{C}_{nij}})^{\lambda} - 1])$, де $\beta = -3,5$, $\lambda = 3$	0,69	334,6	
Кірхгофа	$U_{ij}^{Kh} = \left(1,918 - 0,841 \cdot \frac{T_{nij}}{\bar{T}_{nij}} - 0,184 \cdot \frac{C_{nij}}{\bar{C}_{nij}} \right)^{-\tau}$, де $\tau = -4$	0,72	389,5	

За даними цієї таблиці видно, що значимість, отриманих з використанням методу нормування факторів, залежностей (рівнянь регресії) як за множинним коефіцієнтом кореляції, так і за критерієм Фішера є доволі високою.

Представлені функції дозволили отримати теоретичні значення ймовірності вибору шляху пересування, які були порівняні з відповідними їм фактичними значеннями частоти здійсненого вибору за допомогою розробленого критерію адекватності. Результати такого порівняння представлені у табл. 4.

При цьому найадекватнішою моделлю вибору шляху пересування слід вважати ту, де як перетворення частоти вибору шляху в його привабливість за-

стосовано правило Кірхгофа, оскільки за розробленим критерієм адекватності розрахункові значення ймовірності вибору шляху пересування забезпечують мінімальне відхилення від фактичного значення частоти.

Таблиця 4 – Результати порівняння моделей вибору варіанту шляху пересування, отриманих з використанням методу нормування факторів

Номер анкети	Номер альтернативи	Час пересування, T_n	Вартість пересування, C_n	Частота вибору, v	Теоретичне значення ймовірності згідно з використаною залежністю між частотою і корисністю				
					Лінійна	Показникова	Бокс-Кокс	Кірхгофа	Рівно-ймовірна модель
1	1	35	3	0,8	0,77	0,68	0,75	0,78	0,5
	2	42	6	0,2	0,23	0,32	0,25	0,22	0,5
2	1	43	3	0,6	0,68	0,62	0,67	0,70	0,5
	2	48	5	0,4	0,32	0,38	0,33	0,30	0,5
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
347	1	27	5,75	0,6	0,69	0,62	0,66	0,64	0,5
	2	35	5	0,4	0,31	0,38	0,33	0,36	0,5
Критерій адекватності моделі вибору s_N^2					171,2	191,2	162,4	154,2	391,2
Кількість ступенів свободи					374				376
Ймовірність критерію s_N^2					$1-6,19 \cdot 10^{-10}$	$1-1,19 \cdot 10^{-11}$	$1-5,18 \cdot 10^{-15}$	$1-4,69 \cdot 10^{-16}$	0,28

Практична придатність цієї моделі, згідно методу нормування факторів для визначення коефіцієнтів функції корисності, була перевірена на прикладі м. Харкова. Сутність перевірки полягала у порівнянні пасажиропотоків, розрахованих з використанням розробленої моделі вибору, з фактичними. Розрахункові пасажиропотоки були отримані за допомогою моделі системи громадського транспорту міста в програмному середовищі VISUM, в якій параметри моделі вибору шляху були внесені як відповідні параметри процедури перерозподілу пасажиропотоків. Фактичні пасажиропотоки були отримані з робіт, виконаних силами співробітників та студентів ХНАДУ. У результаті порівняння було встановлено, що середня відносна похибка розрахунку пасажиропотоків становить 7,1 %, що вказує на придатність сформованої моделі вибору шляху та методу нормування факторів для визначення її коефіцієнтів на практиці.

Представлена методика визначення коефіцієнтів функції корисності була використана при виконанні НДР з розробки раціональних варіантів ММ міст Кіровоград та Суми. Отримана у роботі модель вибору шляху пересування за-

безпечила достатню точність моделювання пасажиропотоків на мережі: для м. Кіровоград максимальне відхилення розрахункових пасажиропотоків від фактичних становило 12,4%, для м. Суми середньоквадратичне відхилення розрахункових пасажиропотоків -13,3% від середнього значення фактичних. Це допомогло визначити шляхи проходження трас маршрутів у раціональних варіантах маршрутних мереж міст та підвищити ефективність функціонування маршрутного транспорту. У результаті для м. Кіровоград кількість автобусів на маршрутах скоротилась на 22%, а середній час пересування пасажирів на 1,5% або на 2,5 год. для одного пасажирів за рік. Для м. Суми зменшилися середня відстань поїздки одного пасажирів маршрутним транспортом на 1% та середній час пересування на 3,3%. При цьому, забезпечується річна економія загальних витрат часу на пересування одного пасажирів яка дорівнює 8,53 год.

Розробниками моделі системи ГТ для м. Львова був використаний критерій оцінки моделей вибору шляху пересування на адекватність. Економічний та соціальний ефект від застосування критерію не визначався.

За результатами дослідження можна зробити висновок, що розроблений механізм пошуку коефіцієнтів за допомогою нормування факторів одночасно з перетворенням частоти вибору шляху в його привабливість може бути застосований при формуванні моделей розподілу пасажирських кореспонденцій одночасно між видами транспорту та їх маршрутами. Розроблений критерій адекватності дозволяє обрати серед побудованих таку модель вибору шляху пересування, яка забезпечує мінімальне відхилення розрахункових значень ймовірності від фактичних.

ВИСНОВКИ

1. Аналіз літературних джерел показав, що при моделюванні ймовірності вибору пасажиром шляху пересування за основу слід прийняти нормувальні моделі, що дозволяє застосовувати метод найменших квадратів для оцінки коефіцієнтів моделі вибору. Збір емпіричного матеріалу для їх побудови доцільно проводити методом фіксації фактичного вибору за допомогою анкет, а для оцінки адекватності моделей потрібна розробка спеціального критерію, що відображає ступінь відповідності розрахункової ймовірності вибору пасажирів її фактичному значенню і дозволяє визначати ймовірнісну оцінку розбіжностей між ними.

2. Запропонований метод нормування факторів вибору, через середнє значення фактору серед усіх використаних пасажиром альтернатив, створює можливості для безпосереднього використання методу найменших квадратів для оцінки коефіцієнтів функції корисності шляху пересування.

3. Використані способи перетворення фактичної частоти вибору шляху пересування в його привабливість дозволяють забезпечити доволі широкий діапазон значень емпіричної привабливості шляху і розрахункової ймовірності вибору альтернатив.

4. Розроблений критерій адекватності моделей вибору шляху пересуван-

ня, дозволяє кількісно оцінити розбіжності між розрахунковими ймовірностями та емпіричними частотами вибору альтернатив і дати ймовірнісну оцінку цим розбіжностям, що забезпечує можливість порівняння різних моделей вибору між собою.

5. При проведенні натурних обстежень з метою отримання відносної частоти вибору пасажиром того чи іншого шляху пересування достатньо здійснити п'ятиденне спостереження за кожним пасажиром. Подальше підвищення кількості спостережень за пересуваннями пасажирів не призводить до істотного розширення області спростування найпростішої моделі.

6. Запропонований спосіб визначення достатнього обсягу вибірки для побудови регресійної моделі вибору шляху пересування в маршрутній системі міста дозволив встановити, що для побудови використаних у роботі моделей необхідно опитати не менше 248 пасажирів.

7. Закономірності вибору пасажиром видів і маршрутів громадського транспорту м. Харкова під час трудових пересувань найкращим чином описують залежності, отримані методом нормування факторів. Найбільший вплив на вибір пасажиром шляху пересування, серед визначених у роботі факторів, здійснюють час та вартість пересування. Модель розрахунку ймовірності вибору шляху пересування, побудована із застосуванням правила Кірхгофа, виявилася найкращою та дозволила скоротити середню відносну похибку розрахунку пасажиропотоків в м. Харкові з 12,3 % для методу додаткових коефіцієнтів до 7,1 % для розробленого методу нормування факторів.

8. Застосування розробленої методики пошуку коефіцієнтів функції корисності та отримані на її основі закономірності використані під час виконання науково-дослідних робіт з корегування схем руху міського пасажирського транспорту міста Кіровоград та Суми. В обох випадках спостерігаються достатня точність прогнозу пасажиропотоків по мережі у порівнянні з фактичними даними. Як соціальний ефект від розроблених заходів можна відзначити зниження середнього часу пересування одного пасажирів на 2,5 год./рік для міста Кіровоград та на 8,53 год./рік для міста Суми.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Горбачов П.Ф. Аналіз матриці відстаней між транспортними районами міста як основи функції розселення населення / П.Ф. Горбачов, С.В. Свічинський, О.В. Свічинська // Автомобільний транспорт – 2010. – №27. – С. 73–76.

2. Горбачов П.Ф. Аналіз сучасних моделей дискретного вибору пасажиром шляху пересування / П.Ф. Горбачов, О.В. Макарічев, О.В. Свічинська, С.В. Свічинський // Автомобільний транспорт – 2011. – №28. – С. 97–103.

3. Горбачев П.Ф. Подход к оценке адекватности моделей выбора пассажиром пути передвижения / П.Ф. Горбачев, О.В. Макаричев, О.В. Свичинская, А.А. Тропина // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – 2013. – Вып. 60 – С. 27–33.

4. Горбачев П.Ф. Обоснование продолжительности наблюдений за пове-

дением пассажиров при выборе пути передвижения / П.Ф. Горбачев, А.В. Макаричев, О.В. Свичинская // Автомобильный транспорт – 2013. – №32. – С.72-76.

5. Горбачев П.Ф. Обоснование количества респондентов для обследования выбора пассажиром пути передвижения в маршрутной системе города / П.Ф. Горбачев, А.В. Макаричев, С.В. Пронин, О.В. Свичинская // Автомобильный транспорт – 2014. – №35. – С. 133–140.

6. Horbachev P. Model Wyboru Przez Pasazera Trasy Przemieszczenia Sie do Miejsca Pracy w Warunkach Duzego Miasta / P. Horbachev, V. Naumov, O. Svichynska // Travel Modelling and Traffic Forecasting: Research and Technical Papers of Polish Association for Transportation Engineers in Cracow, 2012, Cracow / Politechnika Krakowska. – Cracow: PK, 2012. – p. 99–110.

7. Свичинская О.В. Проблемы моделирования выбора пассажирами пути следования / О.В. Свичинская // Совершенствование организации дорожного движения и перевозок пассажиров и грузов : сб. науч. трудов по материалам междунар. науч.-техн. конф., 22-26 октября 2012 г., Минск / Белорус. нац. техн. ун. – М. : БНТУ, 2012. – С. 298–305.

8. Горбачев П.Ф. Способы формирования модели выбора варианта трудового передвижения маршрутным транспортом / П.Ф. Горбачев, А.В. Макаричев, О.В. Свичинская // Альманах современной науки и образования – 2013. – №11(78). – С. 47–58.

9. А. с. Методика оцінки адекватності моделей вибору пасажиром шляху пересування у маршрутних системах міст / О.В. Свічинська, О.В. Макаричев (Україна). – № 50465; зареєстровано 26.07.13.

10. Свічинська О.В. Варіанти моделювання ймовірності вибору пасажиром шляху пересування у містах / О.В. Свічинська // Транспортные проблемы крупнейших городов: материалы междунар. науч.-практ. конф., Харьков, 12-16 марта 2012 г.: тезисы докладов. – Харьков: ХНАГХ, 2012. – С. 23–24.

11. Свічинська О.В. Визначення тривалості обстеження за поведінкою пасажирів при виборі шляху пересування / О.В. Свічинська // Інженерна механіка та транспорт: Матеріали III Міжнародної конференції молодих вчених ЕМТ-2013., Львів, 21-23 листопада 2013 р. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013. – 1 електрон. опт. диск (CD-ROM). – С. 32–33.

12. Свичинская О.В. Применение метода наименьших квадратов при определении количества респондентов для построения моделей выбора пассажиром пути передвижения / О.В. Свичинская // Современные проблемы анализа динамических систем. Приложения в технике и технологиях : сб. науч. трудов по материалам междунар. науч.-техн. конф., 18-19 июня 2014 г., Воронеж / Ворон. госуд. лесотех. акад. – В. : ВГЛТА, 2014. – С. 285–287.

АНОТАЦІЯ

Свічинська О.В. Удосконалення моделей вибору шляху пересування пасажирів у маршрутних системах міст. – 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, 2015.

Дисертація присвячена розробці моделей визначення ймовірності вибору пасажирями шляхів пересування серед доступних для них альтернативних варіантів шляху при використанні маршрутів як одного, так і декількох видів громадського транспорту міста.

Для оцінки якості побудованих моделей розроблений критерій адекватності, який дозволяє оцінити розбіжності між розрахунковими і фактичними ймовірностями вибору пасажирів. При цьому фактичну ймовірність вибору пропонується визначати як відносну частоту користування шляхом пересування, а розрахункову – на основі функції корисності, отриманої з використанням регресійного аналізу. Для отримання зазначеної функції в роботі запропоновано нові способи отримання емпіричних значень привабливості на основі частоти використання шляху пересування.

З метою отримання емпіричного матеріалу для побудови функції корисності обґрунтовано достатню кількість пасажирів, яких необхідно охопити обстеженням, а також тривалість даного обстеження.

Результати дослідження мають практичне значення, що підтверджено актами впровадження розроблених у роботі методик при формуванні раціонального варіанту маршрутної мережі м. Кіровоград, при розробці заходів щодо коригування схеми руху міського маршрутного пасажирського транспорту м. Суми, а також при моделюванні попиту населення м. Львова на пересування громадським транспортом.

Ключові слова: модель вибору шляху пересування, альтернатива, ймовірність вибору, маршрутна система, критерій адекватності, тривалість обстеження.

АННОТАЦИЯ

Свичинская О.В. Совершенствование моделей выбора пути передвижения пассажиров в маршрутных системах городов. – 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, 2015.

Диссертация посвящена разработке моделей определения вероятности выбора пассажирами путей передвижения среди доступных для них альтернативных вариантов пути при использовании маршрутов как одного, так и нескольких видов общественного транспорта города.

Для оценки качества построенных моделей, на основе известного критерия хи-квадрат, разработан новый критерий адекватности, который позволяет оценить различия между расчетными и фактическими вероятностями выбора пассажиров, приняв во внимание то, что выбор доступных для каждого пассажира путей представляет собой полную группу событий, суммарная вероят-

ность наступления которых равна единице. При этом фактическая вероятность выбора определяется как относительная частота использования пути передвижения, полученная в ходе обследования, проведенного методом непосредственной фиксации выбора в течение пяти рабочих дней для каждого респондента. Расчетную вероятность выбора пути предлагается определять на основе функции полезности, полученной путем регрессионного анализа зависимости между факторами, которые определяют выбор пассажира, и эмпирическими значениями привлекательности пути. Для формирования функции полезности в работе предложен метод нормировки факторов, который предполагает замену их абсолютных значений коэффициентами их приведения к средним значениям этих факторов.

Помимо этого, в работе предложены новые способы преобразования частоты использования пути передвижения в эмпирическую привлекательность, среди которых преобразование частоты с использованием показательной функции, модели Бокс-Кокс и правила Кирхгофа. Данные способы наряду с методами формирования функции полезности, позволяют получить различные модели выбора пассажира и выбрать из них наилучшую с помощью разработанного критерия.

С целью получения эмпирического материала для построения функции полезности обосновано достаточное количество пассажиров, которых необходимо охватить обследованием, а также продолжительность данного обследования. Так, для получения функции полезности количество респондентов обследования нужно рассчитывать для каждого коэффициента функции на основе полученных в результате пробного обследования значений этих коэффициентов и заданной исследователем допустимой погрешности их определения. Проведение обследования должно обеспечить сбор информации о выборе такого количества респондентов, которое оказалось максимальным из всех рассчитанных для каждого коэффициента. Продолжительность обследования при этом должна соответствовать пяти наблюдениям, то есть выбор каждого пассажира необходимо фиксировать в течение пяти трудовых дней, что было обосновано с помощью разработанного критерия адекватности.

Результаты исследования имеют практическое значение, что подтверждено актами внедрения разработанных в работе методик при формировании рационального варианта маршрутной сети г. Кировоград, при разработке мероприятий по корректировке схемы движения городского маршрутного пассажирского транспорта г. Сумы, а также при моделировании спроса населения г. Львова на передвижения общественным транспортом.

Ключевые слова: модель выбора пути следования, альтернатива, вероятность выбора, маршрутная система, критерий адекватности, продолжительность обследования.

ABSTRACT

Svichynskaya O. Improvement of the Models of the Passenger Route Choice in City Route Systems. – 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, 2015.

The thesis deals with development of the models to calculate the probability of passenger route choice among the available alternatives when using only public transport mode and several types route vehicles in the city.

To assess the quality (accuracy) of developed models the adequacy criterion, which estimates the difference between the calculated and factual passenger route choice probabilities, is developed. At that it is proposed to define the factual probability as a relative frequency of the path use, and the calculated probability – on the basis of utility function that is obtained with the use of regression analysis. To receive the mentioned function the new approaches to calculate the empirical utilities on the case route choice frequency are proposed in the thesis.

In order to receive empirical material to build the utility function the sufficient number of passengers that should covered by the survey and the duration of the survey were justified. The results of the research have a practical significance (importance) that is confirmed by the acts of application during formation of rational variant of Kirovohrad route network, during development of measures to correct the route network plan of Sumy public transport and during modelling the demand for public transport services in Lviv.

Key words: route choice model, alternative, probability, rout systems, adequacy criterion, survey duration.