

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

**КАРА ІННА АНДРІЇВНА**

УДК 656.072

**ВИЗНАЧЕННЯ ПАСАЖИРОПОТОКІВ НА МІСЬКИХ МАРШРУТАХ З  
ВИКОРИСТАННЯМ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ ТА ТРАНСАКЦІЙ АБОНЕНТІВ  
СТІЛЬНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ**

Спеціальність 05.22.01 – транспортні системи

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Львів-2017

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Національному університеті «Львівська політехніка»  
Міністерства освіти і науки України

**Науковий керівник:** доктор технічних наук, професор  
**Форнальчик Євген Юліанович**  
Національний університет «Львівська політехніка»,  
завідувач кафедри транспортних технологій.

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук  
**Меленчук Тетяна Михайлівна,**  
Національний університет водного господарства та  
природокористування,  
доцент кафедри транспортних технологій і технічного  
сервісу

кандидат технічних наук, доцент  
**Санько Ярослав Володимирович,**  
Національний авіаційний університет,  
професор кафедри організації авіаційних перевезень

Захист відбудеться «1» грудня 2017 р. о 14.00 годині на засіданні спеціалізованої  
вченої ради К 35.052.20 у Національному університеті «Львівська політехніка»  
Міністерства освіти і науки України за адресою: 79000, м. Львів, вул. С. Бандери, 8,  
корпус XIV, ауд. 61.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного університету  
«Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України за адресою: 79013,  
м. Львів, вул. Професорська, 1

Автореферат розісланий «30» жовтня 2017 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

В.В. Ковалишин

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Для ефективних управлінських рішень в організації та експлуатації мережі громадського транспорту визначальною є постійна (на основі моніторингу) інформація про пасажиропотоки у межах території, яка охоплюється цією мережею. Вона (інформація) використовується як для підвищення рівня обслуговування користувачів послуг громадського транспорту (оновлення розкладів руху з пропозицією максимальної зручності для користувачів), так і для залучення додаткових споживачів цього обслуговування. Пасажиропотоки формуються на основі попередніх досліджень кореспонденцій пересувань жителів міста. Сучасні методи визначення та оцінки обсягів кореспонденцій пересувань забезпечуються відповідними розрахунками. У загальноприйнятих підходах за початкову інформацію у цих розрахунках використовуються в основному соціально-економічні показники населення та місця розташування об'єктів тяжіння в межах території транспортного планування.

З метою отримання достатніх обсягів вірогідної інформації про пересування населення громадським транспортом (автобусами, трамваями, тролейбусами) потрібно залучати велику кількість дослідників і експертів, витрачаючи значні кошти та час. Крім цього, для адекватного оцінювання зміни обсягів пересувань упродовж, наприклад, року для вдосконалення системи маршрутних пасажирських перевезень такі дослідження потрібно проводити як мінімум 2 рази у рік. На практиці обмежуються періодичністю 1 раз на 2 роки, що відображається на незадоволенні попиту на перевезення, в т.ч. видозмінах маршрутів, невідповідності пасажиромісткостей транспортних засобів та інтервалів руху їх на маршрутах. До того ж, це впливає на комфорт перевезення і втомлюваність пасажирів.

Зважаючи на останні закордонні публікації в галузі використання масивів інформації про трансакції абонентів стільникового зв'язку у дослідженнях як соціальних, так і гуманітарних та технічних наук, а також вітчизняні спроби використання sms-повідомлень для потреб визначення ефективності маршрутів громадського транспорту, у роботі прийнято рішення створити перспективні моделі формування матриць кореспонденцій на основі даних операторів стільникового зв'язку. Такі моделі враховуватимуть кореспонденції пересувань за фактом їх здійснення. Використання їх підвищить точність розрахованих обсягів кореспонденцій пересувань та забезпечить можливість їх онлайн моніторингу. Якісна і точна прив'язка пересувань до маршрутів громадського транспорту (МГТ) дає змогу визначати пасажиропотоки та реалізувати ефективний рівень транспортного обслуговування. У свою чергу це сприятиме розв'язанню важливих завдань - оптимізації графіків руху засобів громадського транспорту; обґрунтованому випуску на лінію кількості і типів транспортних засобів на маршрути.

Виходячи з наведеного, можна констатувати, що застосування методів опрацювання даних трансакцій абонентів стільникового зв'язку та нечіткої логіки з метою визначення пасажиропотоків на маршрутах громадського транспорту становить важливу та актуальну наукову задачу, й тому тема дисертації актуальна.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Роботу виконано в межах наукового напрямку кафедри транспортних технологій Національного університету «Львівська політехніка» та науково-дослідної роботи «Оптимізація параметрів вулично-дорожньої мережі і пішохідно-транспортних потоків та організації автомобільних перевезень» (номер державної реєстрації 0113U001348), відповідно до Транспортної стратегії України на період до 2020 року (схваленої розпорядженням Кабінету міністрів України від 20.10.2010 № 2174-р) та Концепції державної цільової програми підвищення рівня безпеки дорожнього руху в Україні на період до 2016 року (схваленої Постановою Кабінету міністрів України від 25.03.2013 № 294).

**Мета і завдання дослідження.** Метою дисертаційної роботи є визначення пасажиропотоків на міських маршрутах громадського транспорту на основі інформації про пересування користувачів стільникового зв'язку з використанням нечіткої логіки. Для досягнення мети у дисертації сформульовано та розв'язано такі *задачі*:

- проаналізувати відомі моделі формування матриць кореспонденцій пересувань населення міст;
- провести натурні дослідження з визначення основних характеристик маршрутів громадського транспорту (наповненості салонів автобуса, тролейбуса, трамвая та середніх інтервалів між ними);
- розробити метод опрацювання даних позиціонування користувачів стільникового зв'язку та сформувати матрицю кореспонденцій пересувань і маршрутів;
- обґрунтувати визначальні критерії моделі вибору альтернативного варіанту маршруту пересування (прив'язка кореспонденцій пересувань абонентів стільникового зв'язку (пасажирів) до маршрутів громадського транспорту на основі нечіткої логіки з подальшим перетворенням їх у пасажиропотоки);
- розробити структуру методу визначення пасажиропотоків на основі сформованих матриць кореспонденцій пересувань та маршрутів і їх привабливості;
- провести апробацію результатів з метою перевірки практичної цінності розроблених методів та моделей на громадському транспорті міста.

*Об'єкт дослідження* - обсяги кореспонденцій пересування населення та розподіл їх за маршрутами громадського транспорту.

*Предмет дослідження* – формування пасажиропотоків на міських маршрутах з використанням масивів даних про трансакції абонентів стільникового зв'язку.

**Методи дослідження.** Методи системного аналізу у визначенні чинників, що обумовлюють вибір пасажиром шляху пересування; методи натурних досліджень у визначенні основних характеристик міських маршрутів громадського транспорту; методи теорії ймовірностей та математичної статистики; комп'ютерне програмування для опрацювання даних позиціонування користувачів стільникового зв'язку; метод нечітких множин для формування часових шаблонів пересувань та прив'язки пересувань користувачів стільникового зв'язку до маршрутів громадського транспорту.

### **Наукова новизна одержаних результатів:**

Вперше:

- розроблено модель кореспонденцій пересувань населення міста на основі даних про трансакції абонентів стільникового зв'язку;
- розроблено (на основі моделі кореспонденцій пересувань) алгоритм програми формування матриці пасажиропотоків та маршрутів громадського транспорту між зонами дії антен стільникового зв'язку;
- запропоновано модель вибору альтернативного варіанта пересування з використанням нечіткої логіки.

Удосконалено:

- метод вибору потенційним пасажиром альтернативного варіанта пересування за критерієм привабливості маршруту;
- метод визначення пасажиропотоків за варіантами маршрутів громадського транспорту.

**Практичне значення одержаних результатів.** Розроблені методи і моделі дають змогу оперативно формувати та опрацьовувати вхідну інформацію (масиви даних про трансакції) про поточні значення пересування пасажирів по території міста. Це істотно спрощує існуючі експериментальні методи, які вимагають великих затрат часу, коштів та трудових ресурсів. Програмна реалізація розроблених методів формування матриць кореспонденцій пересувань і маршрутів забезпечує скорочення тривалості їх побудови, порівняно з традиційними методами, на 1439,5 год. (розроблений метод потребує 0,5 год.). Економічний ефект від використання розроблених методів і моделей для визначення пасажиропотоків на МГТ міста становить приблизно 112 тис. грн.

Результати дисертаційної роботи можуть бути використані для визначення реальних пасажиропотоків у великих та значних містах, а також під час моделювання їх розподілу на маршрутній мережі пасажирського транспорту, що становить невід'ємну частину науково-практичного завдання обґрунтування проектних рішень щодо вдосконалення перевезень пасажирів у містах.

Результати дослідження використані в: Львівському комунальному підприємстві «Львівавтодор» для розроблення пропозицій зі зміни розкладів руху транспортних засобів; Управлінні транспорту та зв'язку Львівської міської ради для оперативного прийняття рішень щодо покращання рівня обслуговування пасажирів на керування маршрутами громадського транспорту; навчальному процесі Національного університету «Львівська політехніка» при підготовці фахівців за спеціальністю 275 – транспортні технології (спеціалізація «Організація перевезень та управління на транспорті»).

**Особистий внесок здобувача.** Усі положення та результати дисертаційної роботи отримані автором особисто і наведено у роботах [1-18]. У працях, опублікованих у співавторстві, особистий внесок автора полягає у такому: проаналізовано існуючі та виокремлено серед них моделі визначення обсягів пересувань із застосуванням нечіткої логіки, що якісно виділяються з-поміж інших у плані мінімізації необхідних ресурсів для збору початкових даних та простоти проведення розрахунків [1,9,10]; проведено аналіз результатів застосування теорії нечіткої логіки у транспортному плануванні міст та виявлено позитивні аспекти її

використання [4]; описано методику визначення основних характеристик МГТ [5]; розроблено модель кореспонденцій пересувань населення міста на основі даних про трансакції абонентів стільникового зв'язку [2,7,11]; розроблено програму формування матриці пасажиропотоків та маршрутів громадського транспорту між зонами дії антен стільникового зв'язку [8,9]; розроблено модель вибору альтернативного варіанта пересування з використанням нечіткої логіки [2,3]; вдосконалено метод визначення пасажиропотоків за варіантами маршрутів громадського транспорту [3].

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати наукових досліджень доповідалися на: XXI та XXIII Міжнародних науково-практичних конференціях студентів, аспірантів та молодих вчених «Актуальні проблеми життєдіяльності суспільства» (Кременчук, 24 – 25 квітня 2014 р.; 7-8 квітня 2016 р.); LXXI науковій конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів Національного транспортного університету (Київ, 13-15 травня 2015 р.); Всеукраїнській науково-теоретичній конференції «Проблеми з транспортними потоками та напрями їх розв'язання» (Львів, 26-28 березня, 2015 р., 16-18 березня, 2017 р.); Всеукраїнській науково-практичній конференції «Новітні шляхи створення, технічної експлуатації, ремонту і сервісу автомобілів» (Одеса-Коблево, 8-11 вересня, 2015 р.); Всеукраїнських науково-теоретичних конференціях «Автобусобудування і громадський пасажирський транспорт в Україні» (Львів, 24-25 вересня, 2015 р.; 10-11 березня 2016 р.)

**Публікації.** За темою дисертації опубліковано 9 наукових праць, з яких 3 - у закордонних та вітчизняних журналах, що входять у наукометричну базу даних Index Copernicus та 5 у фахових виданнях України, 1 – в електронній базі, а також 9 тез доповідей на наукових конференціях.

**Структура і обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, який налічує 137 найменувань, і 10 додатків. Основна частина роботи викладена на 146 сторінках. Є 33 рисунки та 17 таблиць. Загальний обсяг дисертації - 208 сторінок.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, вказано її зв'язок із науковими програмами й темами. Сформульовано мету і задачі дослідження, визначено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів та напрямки впровадження.

У **першому розділі** проаналізовано та класифіковано існуючі на сьогодні моделі та методи розрахунку кореспонденцій пересувань. Наведено їх переваги та недоліки. На основі виконаного аналізу встановлено основні вимоги до моделей пасажирських кореспонденцій. Враховуючи це, прийнято рішення додатково вивчити стан сучасних досліджень в сфері використання теорії нечітких множин щодо розрахунків обсягів пересувань. Виявлено, що метод нечіткої логіки вимагає певного підходу при калібруванні моделі кореспонденцій переміщень та врахуванні історичних даних для адекватного відображення реальних процесів. Саме цьому

вирішено надати особливої уваги при розробці моделі розрахунку обсягів кореспонденцій пересувань в дисертаційному дослідженні.

Важливим в усіх моделях визначення обсягів кореспонденцій пересувань населення, є спосіб та метод отримання початкової інформації. У ході аналізу виявлено, що якісно новим, зручним та точним методом збору статистик про пересування є використання даних операторів стільникового зв'язку про місцезнаходження їх користувачів. Цей метод використовуватиметься при побудові моделі розрахунку обсягів кореспонденцій пересувань.

Проблему розподілу пасажирських пересувань по вулично-дорожній мережі (ВДМ) міста досліджували низка вітчизняних вчених, серед яких Брайловський Н.О., Грановський Б.І., Горбачов П.Ф., Доля В.К., Гецович Є.М., Заблоцький Г.А., Вдовиченко В.А., Любий Є.В., Гончаренко С.Ю., Россолов О.В., Погребняк Е.Б., Скалецький В.В., Меленчук Т.М. та ін. Відправною інформацією для оцінки матриць кореспонденцій у їх працях є кількість пасажирів громадського транспорту, що входять і виходять з транспортного засобу на кожній зупинці. Дослідження у цій області виконувались в основному для маршрутів громадського транспорту. Серед закордонних науковців, які займалися цією тематикою, Н. Оппенхайм, Ю. Шеффі, Ж. Ортузар, К. Вінстон, Д. Лозе, Д. Дрю та ін.

У **другому розділі** розроблено алгоритми створення матриці кореспонденцій пересувань населення між парами зон дії антен стільникового зв'язку. Для побудови матриці використовується інформація про здійснені транзакції (вхідні або вихідні дзвінки, надіслані та отримані повідомлення) абонентами цього зв'язку.

Кількість користувачів стільникового зв'язку, які в межах періоду часу  $T$  перемістились з зони дії антени  $A_{n-1}$  у зону дії антени  $A_n$  описується виразом:

$$Q_{n-1;n}^T = \left\{ \sum_{j=1}^m u_j \mid A_{n-1}(t_s \rightarrow t_{\min}^T) \right\} \cap A_n \left\{ (t_s \rightarrow t_{\max}^T) \right\}, \quad (1)$$

де  $Q_{n-1;n}^T$  - пасажиропотік між зонами дії антен  $A_{n-1}$  та  $A_n$  у межах періоду  $T$ ;

$\sum_{j=1}^m u_j$  - множина користувачів стільникового зв'язку, що здійснили транзакції;

$t_s$  - час здійснення транзакції;

$t_{\min}^T, t_{\max}^T$  - відповідно нижня та верхня межа часового інтервалу у періоді  $T$  (ранкові, вечірні часи «пік»).

Результати опрацювання такої інформації можна навести у вигляді матриці (рис.1).

Викладено особливості створення матриці маршрутів громадського транспорту, що сполучають зони дії антен стільникового зв'язку. Початковою інформацією для її побудови були дані про місце розташування антен стільникового зв'язку та зупинок громадського транспорту за маршрутами.

	$A_1$	$A_2$	...	$A_i$	...	$A_n$
$A_1$	-	$Q_{12}$	...	$Q_{1i}$	...	$Q_{1n}$
$A_2$	$Q_{21}$	-	...	$Q_{2i}$	...	$Q_{2n}$
...	...	...	...	...	...	...
$A_i$	$Q_{i1}$	$Q_{i2}$	...	-	...	$Q_{in}$
...	...	...	...	...	...	...
$A_n$	$Q_{n1}$	$Q_{n2}$	...	$Q_{ni}$	...	-

Рис. 1. Матриця переміщень мешканців міста для кожного періоду  $T$

Траєкторія кожного маршруту, що проходить по окремих зонах дії антен стільникового зв'язку, описується таким чином:

$$Tr_1 = \{A_1, A_2, A_{13}, A_{12}, A_{10}, A_6\}, \quad (2)$$

Тобто маршрут  $Tr_1$  проходить через зони дії антен  $A_1, A_2, A_{13}, A_{12}, A_{10}, A_6$ ; початок маршруту у зоні дії антени  $A_1$ , кінцева зупинка – зона дії антени  $A_6$ .

Кожен користувач громадського транспорту може добратися з пункту  $K$  (пункт походження поїздки) до пункту призначення  $N$ , використовуючи один прямий маршрут або декілька, здійснюючи пересадки.

Маршрут вважається таким, що сполучає зони дії антен, наприклад,  $A_1$  і  $A_4$  тоді, коли мінімум одна з його зупинок розміщена у зоні дії антени  $A_1$  і мінімум одна у зоні дії антени  $A_4$ . Позначимо координати місця розташування антен стільникового зв'язку  $A(x; y)$ , координати зупинки  $(a; b)$ , радіус дії антени –  $R$  (рис.2).

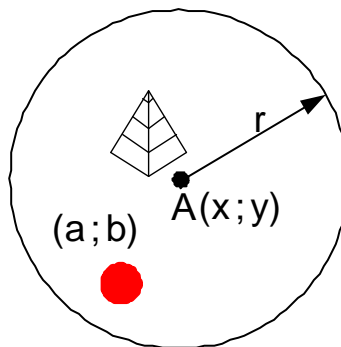


Рис.2. Зона дії антени стільникового зв'язку з координатами зупинки громадського транспорту та антени стільникового зв'язку

Тоді зупинка у межах радіусу дії однієї антени визначається:

$$\sqrt{(a-x)^2 + (b-y)^2} \leq r \quad (3)$$



Зупинка буде розташована за межами зони дії антени стільникового зв'язку у разі, якщо:

$$\sqrt{(a-x)^2 + (b-y)^2} > r. \quad (4)$$

У разі, коли потрібно здійснити пересування з пункту  $K$  (зупинка з координатами  $(a_1; b_1)$ ) в пункт  $N$  (зупинка з координатами  $(a_4; b_4)$ ) (з зони дії антени  $A_1$  (координати  $(x_1; y_1)$ ) в зону дії антени  $A_4$  (координати  $(x_4; y_4)$ )), прямий маршрут описуватиметься таким чином:

$$\text{if } \sqrt{(a_1 - x_1)^2 + (b_1 - y_1)^2} \leq r \text{ and } \sqrt{(a_4 - x_4)^2 + (b_4 - y_4)^2} \leq r, \quad (5)$$

Щодо непрямих варіантів доїзду з пункту  $K$  в пункт  $N$ , то маршрут з пересадкою вважатиметься таким, що сполучає зони дії антен  $A_1$  та  $A_4$ , тоді, коли як мінімум одна з зупинок маршруту до пересадки (маршрут  $Tr_1$  з координатами зупинки  $(a_1; b_1)$ ) належить зоні дії антени  $A_1$  і мінімум одна з зупинок маршруту після пересадки (маршрут  $Tr_4$  з координатами зупинки  $(a_4; b_4)$ ) належить зоні дії антени  $A_4$  і обидва маршрути варіанту з пересадкою мають мінімум одну спільну зупинку (наприклад, зупинку з координатами  $(a_{12}; b_{12})$  у межах зони антени  $A_{12}$  або ж  $(a_{10}; b_{10})$  відповідно антени  $A_{10}$ ).

У такому випадку траєкторію руху пасажирів між зонами дії кожної антени можна представити у вигляді аналогічної з попередньою матрицею, елементами якої є існуючі маршрути громадського транспорту.

Використання нечіткої логіки у роботі зумовлено невизначеністю (стохастичністю) інформації щодо основних характеристик кожного конкретного виду маршруту та транспортних уподобань активної частини населення.

Обґрунтовано субоптимальні критерії вибору пасажирами варіанта маршруту: вартість проїзду ( $V$ ), інтервали руху ( $I$ ), наповненість салону транспортного засобу ( $N$ ). Вони покладені в основу розроблення відповідної моделі, яка визначає привабливість ( $P$ ) маршруту, що є головним критеріальним параметром вибору оптимального варіанту маршруту:

$$P = \{V, I, N\}. \quad (6)$$

Під привабливістю маршруту для потенційних пасажирів прийнято величину, яка залежить від параметрів, що характеризують вибрані шляхи сполучення (маршрути) серед усієї множини їх.

Створення моделі вибору альтернативного варіанта маршруту пересування населення передбачає поетапний поділ її на частини. У першій частині база нечітких правил використовується для визначення привабливості маршруту з урахуванням вищенаведених вхідних сигналів. У другій її частині, відповідно до збільшення рівня точності, удосконалювалась початкова база нечітких правил на основі даних перевізників про попит населення на транспортні послуги за маршрутами.

На рис. 3 наведено блок-схему алгоритму побудови бази нечітких правил, який використовувався для підготовки відповідної програмної реалізації у середовищі MATLAB.



Рис.3. Блок-схема алгоритму побудови бази нечітких правил

Першим кроком у побудові бази нечітких правил є розподіл простору вхідних і вихідних сигналів на інтервали та області. Для вхідного сигналу вартості проїзду на маршруті такий інтервал позначено  $[V_{\min}; V_{\max}]$ . Аналогічно для середнього інтервалу руху на маршруті задавався інтервал  $[I_{\min}; I_{\max}]$ , для наповненості транспортного засобу -  $[N_{\min}; N_{\max}]$  -  $[0; 100]$  у відсотках. Відповідно вибирався такий інтервал і для вихідного сигналу нечіткої системи – привабливості маршруту

( $P$ )  $[P_{\min}; P_{\max}] - [0;10]$ , тут 0 – не скористаюся цією альтернативою, 10 – точно скористаюся цим маршрутом.

Окремі з областей вхідних та вихідних сигналів позначені таким чином:  $M$  (мала),  $S$  (середня),  $B$  (велика) і для кожної з них визначена одна функція належності. Для вхідних сигналів  $V$ ,  $I$ ,  $N$  вибрано трикутні функції, для вихідного  $P$  (зважаючи на відповідні поєднання вхідних) отримали нормальні функції належності. На рис.4 наведено розподіл вхідних та вихідних сигналів на інтервали, кожен з яких поділено на три області  $M$ ,  $S$ ,  $B$ .

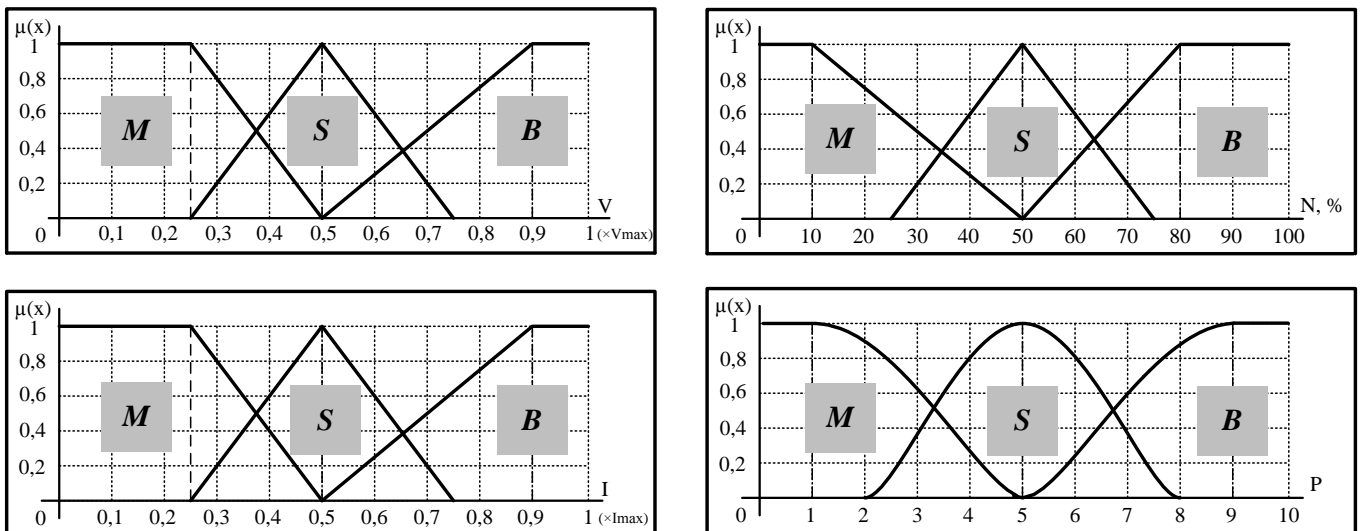


Рис.4. Розподіл простору вхідних і вихідних сигналів на області та відповідні їм функції належності ( $\mu(x)$  - ступені належності)

Після встановлення значень функцій належності формуються нечіткі правила. З цією метою другим кроком визначали передовсім ступінь належності даних до кожної з виділених областей. Ці ступені виражаються значеннями функції належності відповідних нечітких множин для кожної групи даних. Спочатку опрацьовувалася тестувальна вибірка оцінювання привабливості маршрутів за заданими їх основними характеристиками. У результаті отримано 100 правил: окремі з них різні, інші однакові, ще інші – суперечливі.

Наступним кроком у виробленні моделі було приписування кожному із правил ступеня істини. Суперечливими вважаються правила з однією і тією ж умовою, але з різними висновками. Розв'язання цієї проблеми полягало у приписуванні кожному із них ступеня істини з вибором із суперечливих правил того, у якого цей показник найбільший:

R1: IF ( $V$  це  $M$  AND  $I$  це  $M$  AND  $N$  це  $M$ ) THEN  $P$  це  $B$ ;

R2: IF ( $V$  це  $M$  AND  $I$  це  $S$  AND  $N$  це  $M$ ) THEN  $P$  це  $B$ ;

R3: IF ( $V$  це  $M$  AND  $I$  це  $B$  AND  $N$  це  $M$ ) THEN  $P$  це  $B$ ;

R4: IF ( $V$  це  $M$  AND  $I$  це  $M$  AND  $N$  це  $S$ ) THEN  $P$  це  $B$ ;

R5: IF ( $V$  це  $M$  AND  $I$  це  $M$  AND  $N$  це  $B$ ) THEN  $P$  це  $S$  ;

.....

R27: IF ( $V$  це  $M$  AND  $I$  це  $S$  AND  $N$  це  $S$ ) THEN  $P$  це  $B$  .

Наприклад, для правила виду

**R: IF ( $V$  це  $M$  AND  $I$  це  $S$  AND  $N$  це  $S$ ) THEN  $P$  це  $B$  ,**

ступінь істини визначався так:

$$SP(R) = \mu_M(V) \cdot \mu_S(I) \cdot \mu_S(N) \cdot \mu_B(P), \quad (7)$$

де  $\mu_M(V), \mu_S(I), \mu_S(N), \mu_B(P)$  - ступінь належності вартості, інтервалу та наповненості транспортного засобу до відповідних областей.

Знайдено та розраховано ступінь істини для 5 суперечливих правил з наступним вибором серед них оптимального.

Четвертим кроком в алгоритмі побудови моделі є створення самої бази нечітких правил. Всього їх налічується 27 – три вхідних сигнали моделі ( $V, I, N$ ) і три області визначення кожного із них ( $M, S, B$ ) з відповідними поєднаннями.

Завершальним етапом розроблення моделі розподілу кореспонденцій пересувань пасажирів є операція дефазифікації (процедура перетворення нечіткої множини в чітке число за ступенем належності), яка реалізовувалась у програмному середовищі MATLAB.

За отриманими даними пасажиропотоків між двома зонами дії антен стільникового зв'язку, існуючими варіантами маршрутів, що сполучають ці зони, (маршрутною мережею громадського транспорту міста) та привабливістю альтернатив пересування (вона визначається за допомогою розробленої моделі), розраховується кількість пасажирів, які можуть скористатися відповідним (прийнятним) варіантом (альтернативою) маршруту з урахуванням привабливості:

$$q_i = \frac{Q_{AB}}{\sum_{i=1}^n p_i} \cdot p_i, \quad (8)$$

де  $q_i$  - кількість пасажирів, які скористаються  $i$ -ю альтернативою;

$Q_{AB}$  - пасажиропотік між двома кореспондуючими пунктами, наприклад, між  $A$  і  $B$  (вибирається за початковою матрицею пересувань);

$p_i$  - привабливість  $i$ -ї альтернативи серед  $n$  загальної кількості.

Загальний пасажиропотік  $Q$  на маршруті, що складається із  $k$  ділянок між двома пунктами, визначається сумою:

$$Q = \sum_{j=1}^k Q_{AB} \cdot \quad (9)$$

На основі отриманої інформації про пересування населення між зонами дії антен стільникового зв'язку, варіанти маршрутів, що сполучають ці зони, та їх привабливість для потенційного пасажера, можна побудувати годинні або добові діаграми пасажирських потоків за кожним із маршрутів. Ця інформація є важливою для Управління транспорту і зв'язку міста. Її можна використати під час коректування розкладу руху на кожному з них: зменшення або збільшення загальної кількості транспортних засобів на маршруті, що призводить до зміни інтервалу руху; заміна транспортних засобів на маршруті автобусами більшої або меншої пасажиромісткості; зміна вартості проїзду.

Внесені Управлінням зміни підлягають подальшим дослідженням на міській території протягом року з наступними фіксуванням пасажиропотоків та збором інформації про привабливість поїздки для пасажера. У результаті формується нова тестувальна вибірка, на основі якої створюється нова база правил. Відповідно оновлюються графіки пасажиропотоків за маршрутами.

Таким чином, утворюється безперервний цикл надходження та опрацювання інформації про пасажиропотоки, що забезпечує оновлення розкладу руху маршрутних транспортних засобів на території міста відповідно до існуючих потреб населення у пересуванні.

У **третьому розділі** описано методику та результати виконання натурних досліджень з визначення основних характеристик маршрутів громадського транспорту. Їх результати використовувалися у розрахунках рівнів привабливості маршрутів.

Визначення ступеня наповнення салонів транспортних засобів на перегонах маршрутів доцільне з точки зору підвищення ефективності використання їх у відповідні періоди доби. З досвіду проведення обстежень візуальним методом відомо, що найвірогіднішу інформацію можна отримати при розташуванні обліковців на зупинних пунктах, коли використовується так званий «силуетний» спосіб оцінки наповнення салону.

Оцінювали ступінь наповненості салону транспортного засобу (у %) за такою бальною шкалою:

1 бал – до 25 %; 2 бали – 26-50%; 3 бали – 51-75; 4 бали – 76-96; 5 балів – 97-105%.

Спостереження виконувались з 8.00 до 10.00 год. упродовж п'яти робочих днів тижня, збиралися дані у журнал «силуетного обстеження» наповненості салонів на прикладі 12 маршрутів міського громадського транспорту. За отриманими результатами розраховували середнє значення наповненості салону транспортного засобу.

Для забезпечення якісного задоволення потреб жителів міста у транспортних послугах потрібно дотримуватися графіків руху їх на маршрутах й, крім цього, досягати номінального рівня наповненості салонів. На цей показник впливає багато чинників: інтенсивність руху, рівень завантаження, середня швидкість транспортного потоку, кваліфікація водія тощо. Інтервал руху між транспортними

засобами громадського транспорту повинен розглядатися як інтервал часу роботи маршруту, у межах якого існує відповідність між провізним ресурсом і потребою у перевезеннях з урахуванням якості.

З метою перевірки відповідності існуючих інтервалів паспортним проводилися натурні дослідження з визначення середніх інтервалів на прикладі цих же 12 маршрутів. Необхідну кількість досліджень визначали з позицій забезпечення вірогідності отриманих результатів на рівні довірчої імовірності 0,95. Попередньо зібраними даними про інтервали встановлено, що вони підпорядковувались нормальному закону розподілу. Виходячи з цього, потрібна кількість дослідів становила 45. Виконувався статистичний аналіз отриманих результатів. Для кожної серії дослідів побудовано гістограми розподілів інтервалів та відповідні кумулятивні криві. Приклад із загальною кількістю інтервалів між автобусами ( $n = 1100$ ) наведено на рис.5.

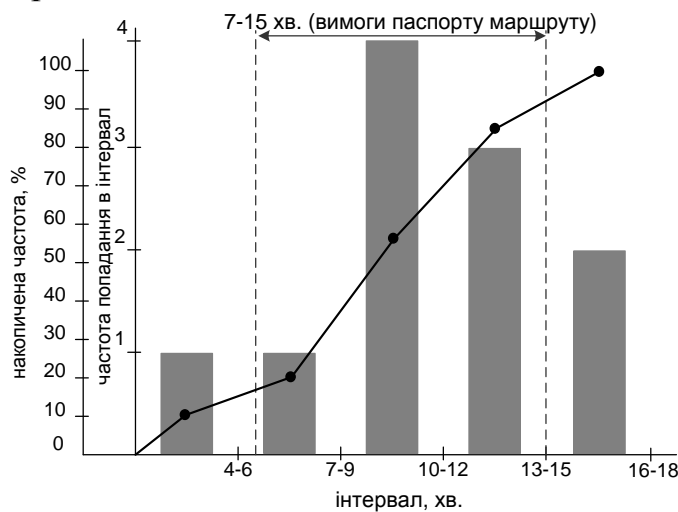


Рис. 5. Гістограма та кумулята розподілу інтервалів між автобусами маршруту 3А, які рухаються з центру (зупинка вул. Руставелі)

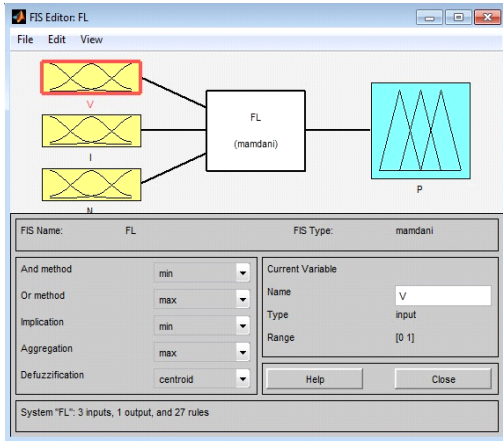
Отримані результати нестабільності параметрів руху автобусів на міських маршрутах підтверджують потребу поглибленого дослідження їх з метою розроблення відповідної методики їх стабілізації. Основу її становлять часові характеристики наповненості салонів транспортних засобів, розподілів інтервалів руху між ними, а також вартість проїзду для визначення привабливості маршруту.

Для розроблення та подальшого застосування моделі вибору маршруту пересування населення використовувалася програма MATLAB із спеціальним пакетом розширення Fuzzy Logic Toolbox, до складу якого входять такі графічні засоби:

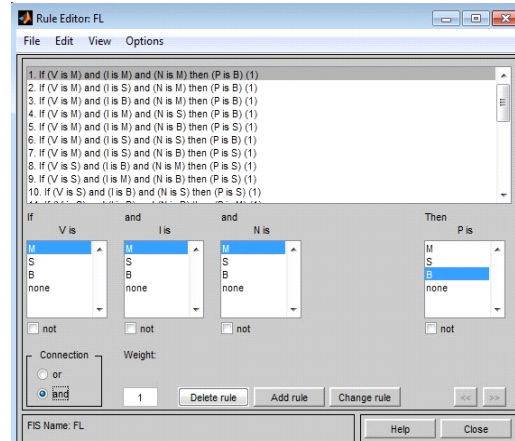
- редактор систем нечіткого висновку FIS (FIS-редактор);
- редактор функцій належності систем нечіткого висновку (Membership Function Editor - MFE);
- редактор правил системи нечіткого висновку (Rule Editor - RE);
- програма перегляду правил системи нечіткого висновку (Rule Viewer - RV);
- програма перегляду поверхні системи нечіткого висновку (Surface Viewer - SV).

Покрокове створення та робота моделі у програмному середовищі MATLAB наведені на рисунку 6.

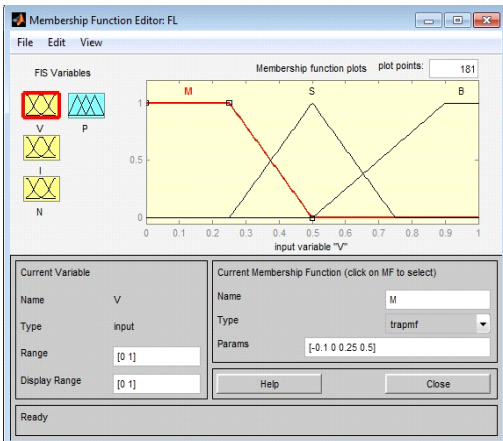
### 1. Задання початкових параметрів моделі



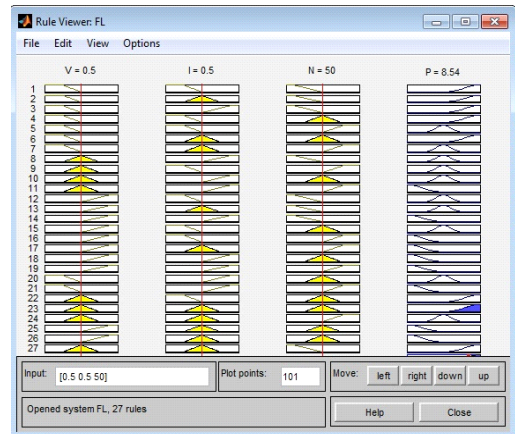
### 3. Створення нечіткої бази правил



### 2. Створення функцій належності параметрів



### 4. Отримання значень результуючого параметра



### 5. Візуалізація результатів, графіків залежності

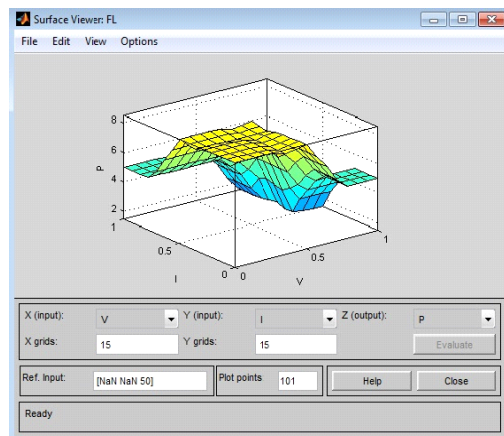


Рис. 6. Робота моделі вибору варіанта маршруту у програмному середовищі MATLAB

Першим кроком у створенні такої моделі є задання її початкових параметрів - вхідних та вихідних сигналів. Вхідними сигналами виступають вартість проїзду, середній інтервал руху транспортних засобів на маршруті та наповненість їх салонів; вихідним сигналом - привабливість маршруту.

Після введення цих параметрів другим кроком створюються функції належності кожного з них. Для вхідних параметрів обрано трикутну функцію належності, для привабливості маршруту (вихідного параметра) – функцію належності Гаусса. Їх значення розподіляли на інтервали та області.

Наступним кроком створюється нечітка база правил: обираються області значень вхідних та вихідних сигналів моделі, вказуються логічні операції та зазначається вага кожного з правил (у дослідженні вага кожного правила рівна 1).

Заключним кроком є отримання значень вихідного (результуючого) сигналу. Червоними лініями (див. рис. 6 в п. 4) можна встановлювати значення вхідних параметрів. Останній стовпець вказує на значення привабливості маршруту залежно від різних комбінацій вхідних сигналів.

Вплив різних поєднань двох вхідних параметрів на результуючий третій (привабливість) можна зобразити у вигляді графіків, які забезпечує програма перегляду поверхні системи нечіткого висновку.

В результаті реалізації наведеного алгоритму отримано значення привабливості прямих маршрутів громадського транспорту та варіантів маршрутів з пересадками.

У **четвертому розділі** викладено матеріали перевірки працездатності розробленої методики визначення пасажиропотоків на прикладі маршрутів громадського транспорту на окремому замкнутому фрагменті м. Львова, загальну площу 12 км<sup>2</sup> якого покривають 10 антен стільникового зв'язку Київстар з радіусом дії кожної 0,6 км. Досліджувану територію обслуговують 12 маршрутів: 7 автобусних, 4 трамвайних, 1 тролейбусний.

Використовуючи матрицю пасажиропотоків між парами зон дії антен стільникового зв'язку, сформовану за допомогою розробленого алгоритму та відповідної програмної реалізації, побудовано графіки генерування та поглинання пасажирських кореспонденцій (рис. 7). З їх допомогою можна, крім цього, визначити місця розташування об'єктів тяжіння не володіючи інформацією про соціально-транспортну інфраструктуру міста.

Наприклад, найбільша кількість населення (приблизно 1100 та 970 ос.) у час «пік» з 8.00 до 10.00 год. покидає зону дії антени 1 та 6. Зона дії 9-ї та 10-ї антен стільникового зв'язку поглинає найбільшу кількість осіб (відповідно 1250 та 1200 ос.). Це пояснюється розміщенням тут потужного об'єкту тяжіння – Національного університету «Львівська політехніка», до якого у досліджуваний період часу спостерігаються максимальні пасажиропотоки студентів, що проживають у гуртожитках, розташованих у зоні дії антен 1 та 6.

Були сформовані матриці пасажиропотоків прямого маршруту та маршруту із пересадками, на підставі чого сформована також матриця маршрутів громадського транспорту, що сполучають зони дії антен стільникового зв'язку на цій території міста.



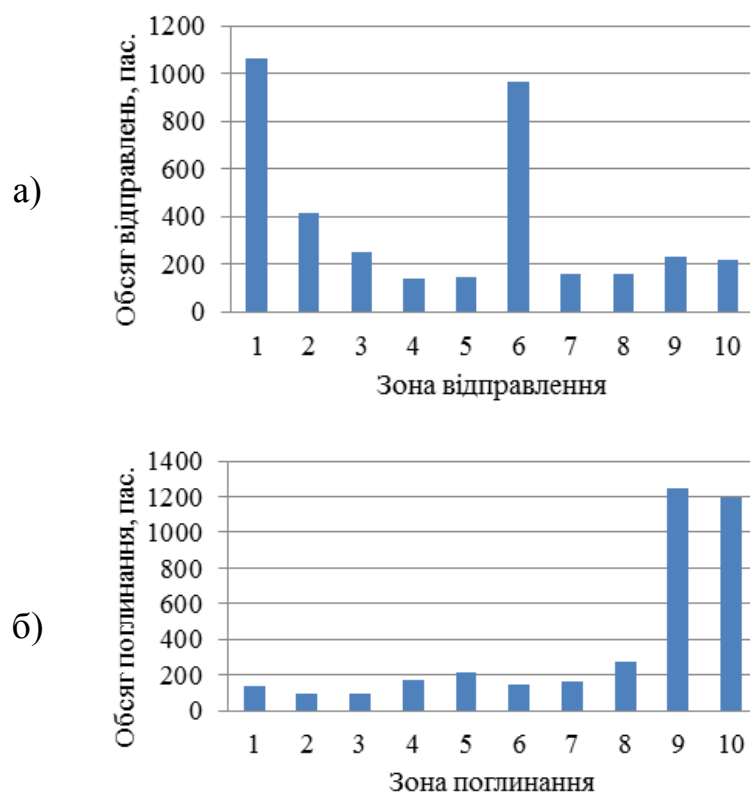


Рис.7. Розподіл генерування (а) та поглинання (б) кореспонденцій на фрагменті території м. Львова

В результаті введення основних характеристик маршрутів громадського транспорту у програму перегляду правил системи нечіткого висновку отримано значення привабливості маршрутів громадського транспорту, що обслуговують досліджувану територію. Найпривабливішим варіантом маршруту для потенційних пасажирів на наведеній вище території є трамвайний маршрут №2 (вартість проїзду – 2 грн., середні значення інтервалів руху та наповненості салонів транспортних засобів на маршруті відповідно 8 хв. та 70%) та тролейбусний маршрут №25 (вартість – 2 грн., інтервал – 10, наповненість – 90%). Їх привабливість для потенційних пасажирів відповідно становить 5,8 та 5 балів. Найменш привабливі для пасажирів маршрути з пересадками з середньою кількістю 1,5-1,9 балів.

Використовуючи отримані матриці та таблицю даних привабливості маршрутів, за допомогою формули 8 отримано пасажиропотоки мешканців міста за маршрутами. Наприклад, для трамвайного маршруту №2 розподіл пасажиропотоку між зонами дії антен у ранковий час «пік» виглядає наступним чином (рис. 8).

Отже, найбільша кількість пасажирів трамвайного маршруту №2 скористається ним з зупинок зони дії антени стільникового зв'язку №1 (приблизно 290 пас.). Пасажири, що виїжджають з зон дії антен №5, 6, 7 взагалі не претендують на пересування трамваєм №2, що можна пояснити, наприклад, відсутністю його прямого сполучення з цими зонами або ж наявністю великої кількості альтернативних, привабливіших для пасажирів варіантів маршрутів.

З використанням виразу 9 визначено сумарну кількість пасажирів кожної зони дії антени стільникового зв'язку, що претендують на пересування конкретним видом

маршруту, і отримано сумарний пасажиропотік на досліджуваних маршрутах (рис. 9).

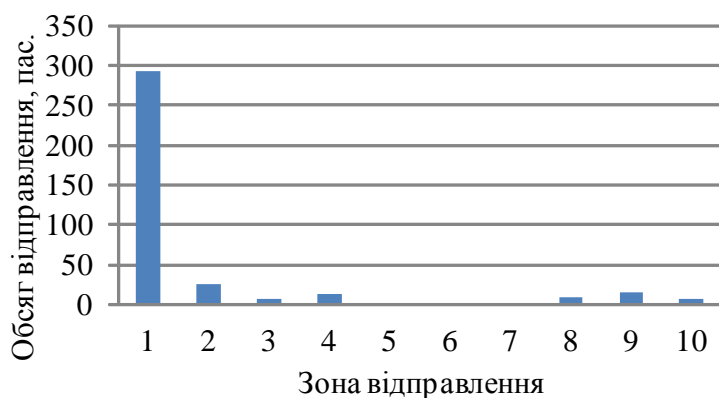


Рис.8. Пасажиропотік трамвайного маршруту №2 у зоні дії 10-ти антен стільникового зв'язку

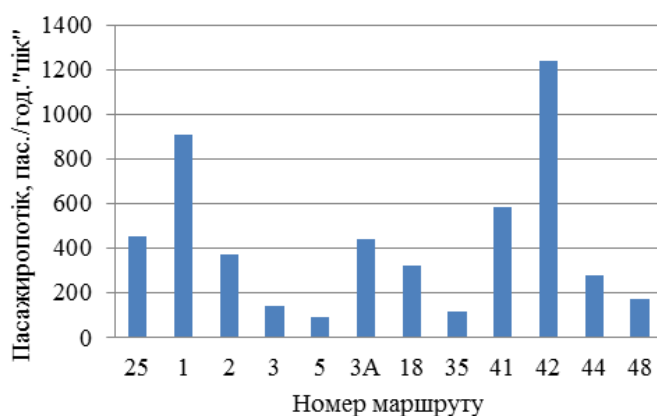


Рис.9. Сумарний пасажиропотік на МГТ для фрагменту території м. Львова

З наведеного видно, що автобусним маршрутом №42, сполученням пл. Кропивницького – пр. Червоної Калини, з заданими його характеристиками претендують на пересування 1240 пасажирів у час «пік». Це підтверджує попереднє припущення про максимум кореспонденцій, порівняно з іншими маршрутами, через наявність потужного об'єкту тяжіння Національного університету «Львівська політехніка» на вул. Бандери та об'єктів генерування – студентських гуртожитків на вул. Сахарова та Лазаренка.

З метою перевірки отриманих результатів на основі розробленої методики виконувались натурні дослідження з визначення пасажиропотоків за маршрутами. Ці дослідження виконувались на цьому ж фрагменті території м. Львова. Пасажирам кожного із 12 маршрутів, що заходили на зупинках, пропонувалося відповідати на запитання, які фіксувалися дослідником у спеціальну анкету. Отримана експериментальна матриця кореспонденцій на 70 % відповідає теоретичній. Зменшення на 30 % транспортних кореспонденцій від теоретичних пояснюється пішохідними пересуваннями жителів міським парком, що знаходиться в межах досліджуваної території, а також поїздками індивідуальним транспортом.

Економічна оцінка отриманих результатів на основі порівняльної характеристики трудозатрат на реалізацію розробленого методу з визначення пасажиропотоків та використання традиційних експериментальних методів (анкетування входів і виходів пасажирів) становить приблизно 112 тис. грн. ефекту.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розв'язано актуальну наукову задачу розроблення методу визначення параметрів пасажиропотоків на основі масивів даних операторів стільникового зв'язку з використанням нечіткої логіки, що дозволяє скоротити фінансові та трудові затрати, пов'язані з дослідженням пасажиропотоків традиційними методами.

1. Проаналізовано сучасні методи та моделі формування матриці міських пасажирських кореспонденцій та обґрунтовано основні вимоги до них. Виокремлено моделі визначення обсягів пересувань населення з застосуванням нечіткої логіки.
2. Розроблено алгоритми опрацювання даних транзакцій абонентів та методик формування матриці кореспонденцій та маршрутів громадського транспорту. Із застосуванням методу нечіткої логіки та з розробленими відповідними функціями належності створено повну базу правил (усіх 27) для визначення привабливості альтернативних варіантів маршрутів.
3. Розроблено у програмному середовищі MATLAB модель вибору ефективного варіанту пересування населення міста серед кількох запропонованих. Серед вхідних даних моделі – вартість пересування, інтервали між транспортними засобами на маршруті (у частках від можливих максимальних значень) та наповненість їх салонів (у відсотках від номінальної вмістимості). Визначальним критерієм у виборі ефективного варіанту пересувань обґрунтовано привабливість маршруту. Вона включає три перелічені чинники і може набувати значень від 0 до 10 балів.
4. З метою обґрунтування реальних числових значень трьох вхідних чинників ( $I$ ,  $N$ ,  $V$ ) у моделі вибору ефективного варіанту пересування виконувались натурні дослідження на прикладі 12 міських МГТ (автобус -  $V = 4$  грн.,  $I = 12.43$  хв.,  $N = 79\%$ ; трамвай -  $V = 2$  грн.,  $I = 13.75$  хв.,  $N = 73\%$ ; тролейбус -  $V = 2$  грн.,  $I = 10$  хв.,  $N = 90\%$ ).
5. Розроблені методи та моделі тестувалися на прикладі окремої замкнутої території м. Львова, загальну площу якої покривають 10 антен стільникового зв'язку. Сформовано матрицю кореспонденцій пасажирів між парами зон дії антен та матрицю маршрутів громадського транспорту, що їх сполучають. Побудовано графіки пасажиропотоків за маршрутами громадського транспорту, що обслуговують цю територію.
6. За результатами досліджень визначення пасажиропотоків на МГТ на основі розроблених моделі та методик з використанням масивів даних операторів стільникового зв'язку та нечіткої логіки і результатів натурних досліджень встановлено, що на досліджуваному фрагменті території м. Львова у час «пік» (8-10 год.) пересувається (у тому числі пішим ходом) 3734 абоненти Київстар.

За результатами натурних досліджень – 2609 абонентів Київстар. Експериментальна матриця охоплює 70 % пересувань. Розбіжність між ними пояснюється відповідною часткою пішого ходу та індивідуального транспорту.

7. Розраховано економічний ефект від розроблених методів та моделей, що становить приблизно 112 тис.грн. Вони використані у Львівському комунальному підприємстві «Львівавтодор» для розроблення пропозицій щодо змін розкладу руху транспортних засобів і в Управлінні транспорту та зв'язку Львівської міської ради для оперативного прийняття рішень щодо покращання рівня обслуговування пасажирів та керування маршрутами громадського транспорту.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### *Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації*

*Статті у виданнях України та в іноземних виданнях, які включені до міжнародних наукометричних баз*

1. Демчук, І.А. Аналіз методів та моделей розрахунку обсягу пасажирських кореспонденцій / А. Б. Білоус, І. А. Демчук // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. - 2014. - № 3(3). - С. 53-57.
2. Demchuk, I. The Model of Correspondence of Passenger Transportation on the Basis of Fuzzy Logic / Ye. Fornalchuk, A. Bilous, I. Demchuk - Econtechmod: an international quarterly journal on economics in technology, new technologies and modelling processes. - Lublin ; Rzeszow, 2015. - Volume 04, number 2. - P. 59-64.
3. Demchuk, I. The Formation of Transportation Route Selection Model of the Urban Population in Matlab Software Environment / Ye. Fornalchuk, I. Demchuk // ТЕКА. COMMISSION OF MOTORIZATION AND ENERGETICS IN AGRICULTURE. - Lublin; Rzeszow, 2015 - Vol. 15, No.4, 61-66.

*Статті у фахових виданнях України*

4. Демчук, І.А. Застосування нечіткої логіки та генетичних алгоритмів у моделях пасажирських пересувань / Є.Ю. Форнальчик, А.Б. Білоус, І.А. Демчук // Автомобильный транспорт: Сборник научных трудов. - Харьков: ХНАДУ, 2014. - Выпуск 35. - С.122-127.
5. Демчук, І.А. Визначення інтервалів руху та наповненості салонів транспортних засобів на міських маршрутах / Форнальчик Є.Ю., Демчук І.А. // Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. – Луцьк, 2016, №1 (5), С.163-166.
6. Демчук, І.А. Розроблення варіантів маршрутів громадського транспорту на основі транзакцій абонентів стільникового зв'язку / Демчук І.А. // Вісник Вінницького політехнічного інституту. - Вінниця, 2016. - №4. - С.84-87.
7. Демчук, І.А. Створення матриці кореспонденцій пересувань пасажирів на основі даних операторів стільникового зв'язку / Форнальчик Є.Ю.,

Демчук І.А. // Економіка та управління на транспорті. - К: НТУ, 2016. - Вип.3. - С.85-91.

8. Демчук І. Застосування інформаційних технологій у визначенні транспортних кореспонденцій жителів міста / І. Демчук // Вісник Національного університету «Львівська політехніка»: Комп'ютерні науки та інформаційні технології. - Львів: Видавництво Львівська політехніка, 2017. - № 864. - С.286-291.

*Електронний ресурс*

9. Демчук І. RouteAnalyzer [Електронний ресурс]: програмний продукт. - Львів, 2016. – Режим доступу: <http://test.lad.lviv.ua:7777/cells>.

***Опубліковані праці, які додатково відображають наукові результати дисертації***

*Опубліковані праці апробаційного характеру*

10. Демчук, І.А. Аналіз моделей попиту населення на перевезення пасажирським транспортом / Білоус А.Б., Демчук І.А. // Матеріали ХХІ Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих учених «Актуальні проблеми життєдіяльності суспільства»: збірник тез доповідей. - Кременчук, 2014. - С.109-111.
11. Демчук, І.А. Визначення оптимального методу дослідження рухомості населення / Білоус А.Б., Демчук І.А. // LXXI наукова конф. проф.-викл. складу, асп., студ. НТУ: тези доповідей. - Київ, 2015. - С.527.
12. Демчук, І. Алгоритм розрахунку пересувань мешканців міста з використанням масиву даних транзакцій систем стільникового зв'язку / А. Білоус, І. Демчук // Матеріали Всеукраїнської науково-теоретичної конференції: Проблеми з транспортними потоками і напрями їх розв'язання: тези доповідей. - Львів, 2015.- С.82-84.
13. Демчук, І. Про можливість використання стільникового зв'язку у маршрутизації пасажирських перевезень / І. Демчук // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції: Автобусобудування та пасажирські перевезення в Україні: тези доповідей. – Львів, 2015. – С.76-77.
14. Демчук, І.А. Обґрунтування вибору параметрів моделі кореспонденції пересувань населення / Демчук І.А. // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції: Новітні шляхи створення, тех.. експлуатації, ремонту і сервісу автомобілів: збірник тез доповідей. – Одеса-Коблево, 2015. – С.71-73.
15. Демчук, І.А. Підвищення ефективності функціонування системи міського громадського транспорту / Форнальчик Є.Ю., Демчук І.А. // ХХІІІ міжнародна науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих учених «Актуальні проблеми життєдіяльності суспільства»: тези доповідей. – Кременчук, 2016. – С. 105-106.
16. Демчук, І. Вплив вартості проїзду на вибір виду міського транспорту / Інна Демчук // Друга Всеукраїнська науково-практична конференція

«Автобусобудування та пасажирські перевезення в Україні»: тези доповідей. – Львів, 2016. – С. 70-71.

17. Демчук, І. Характеристика чинників, які впливають на формування пасажиропотоків на маршрутах громадського транспорту / І. Демчук, Р. Халак // Матеріали II Всеукраїнської науково-теоретичної конференції «Проблеми з транспортними потоками і напрямки їх розв'язання». – Львів, 2017. – С. 30 – 32.
18. Демчук, І.А. Використання стільникового зв'язку у дослідженні пересувань міського населення / Демчук І.А. // Проблеми розвитку транспорту та логістики: збірник наукових праць VII-ї Міжнародної науково-практичної конференції. - Сєверодонецьк: видавництво Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, 26-28 квітня 2017 р. - С.281-282.

### АНОТАЦІЯ

**Кара І.А. Визначення пасажиропотоків на міських маршрутах з використанням нечіткої логіки та транзакцій абонентів стільникового зв'язку. – Рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.01 - транспортні системи – Національний університет «Львівська політехніка», Львів, 2017.

Робота присвячена визначенню пасажиропотоків мешканців міста за маршрутами громадського транспорту на основі привабливості їх для потенційних пасажирів, яка залежить від параметрів, що характеризують вибрані маршрути серед усієї множини їх. Оцінка привабливості здійснюється з урахуванням сукупної дії трьох параметрів - вартості проїзду, наповненості салону транспортних засобів та інтервалів руху між ними, на підставі чого розроблена у програмному середовищі MATLAB модель вибору ефективного варіанту пересування пасажирів на основі нечіткої логіки.

У роботі використовуються масиви даних операторів стільникового зв'язку про транзакції абонентів, які відображають пересування населення. Створено алгоритми формування матриці кореспонденцій жителів міста між парами зон дії антен стільникового зв'язку (теоретична матриця) та матриці маршрутів, що сполучають ці зони.

Встановлено, що експериментальна матриця відображає 70 % пересувань населення громадським транспортом від теоретичної матриці, яка враховує усі можливі пересування (власний транспорт, піший хід).

**Ключові слова:** матриця пасажирських кореспонденцій, транзакції абонентів стільникового зв'язку, нечітка логіка, привабливість маршрутів, ступінь наповнення салонів транспортних засобів, інтервали руху, вартість пересування.

## АННОТАЦИЯ

**Кара И.А. Определение пассажиропотоков на городских маршрутах с использованием нечеткой логики и транзакций абонентов сотовой связи. – Рукопись.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.01 – транспортные системы. – Национальный университет «Львовская политехника», Львов, 2017.

Диссертация посвящена решению научно-прикладной задачи определения пассажиропотоков на городских маршрутах с использованием нечеткой логики и транзакций абонентов сотовой связи.

Определены пассажиропотоки жителей города по маршрутам общественного транспорта на основании привлекательности их для потенциальных пассажиров, которая зависит от параметров, характеризующих избранные маршруты среди всего множества их. Оценка привлекательности осуществляется с учетом совокупного действия троих параметров – стоимость проезда, степени наполнения салона транспортных средств, а также интервалов движения между ними.

Натурными исследованиями установлены основные характеристики маршрутов общественного транспорта, на основании чего разработана в программной среде MATLAB модель выбора эффективного варианта передвижения пассажиров на основании нечеткой логики.

В работе используются массивы данных операторов сотовой связи о транзакциях абонентов, отображающих передвижение населения. Созданы алгоритмы формирования матрицы корреспонденций между парами зон действия антенн сотовой связи и матрицы маршрутов, соединяющих эти зоны.

Разработанный метод определения пассажиропотоков по маршрутам тестировался на отдельном фрагменте территории г. Львова. Установлено, что экспериментальная матрица отображает 70 % передвижений населения от теоретической матрицы, которая учитывает все возможные передвижения.

Практическая реализация результатов работы дала возможность определить пассажиропотоки для города с учетом минимизации трудовых и финансовых ресурсов. За счет применения нечеткой логики и транзакций абонентов сотовой связи показано сокращения необходимого времени для проведения таких исследований по традиционной методике. Это свидетельствует о целесообразности использования разработанных методов и моделей.

Практическая значимость результатов работы подтверждается полученными актами внедрения разработок по определению пассажиропотоков в коммунальном предприятии «Львовавтодор» и в Управлении транспорта и связи г. Львова.

**Ключевые слова:** матрица пассажирских корреспонденций, транзакции абонентов сотовой связи, нечеткая логика, привлекательность маршрутов, степень наполнения салонов транспортных средств, интервалы движения, стоимость передвижения.

## SUMMARY

### **Kara I. Determination of passenger traffic on city routes using fuzzy logic and transactions of subscribers of cellular communication. - Manuscript.**

Dissertation for the degree of candidate of technical sciences in specialty 05.22.01 - transport systems - Lviv Polytechnic National University, Lviv, 2017.

The work is devoted to the definition of passenger traffic of city residents according to public transport routes based on their attractiveness which depends on the parameters characterizing the selected routes. The assessment of attractiveness is based on the combined effect of three parameters - the cost of travel, the filling of the cabin of vehicles and intervals between them, on the basis of which the MATLAB model is developed in the software environment for choosing an effective variant of passenger movement based on fuzzy logic.

The work is used data sets of cellular operators of subscribers' transactions which reflect the movement of the population (passenger traffic). There has been established the algorithms for forming the correlation matrix of the inhabitants of the city between the pairs of zones of the antennas of the cellular communication (the theoretical matrix) and the matrix of the routes connecting these zones.

It has been established that the experimental matrix reflects 70% of the population movement of the theoretical matrix, which takes into account all possible movements (private transport, foot traffic).

**Key words:** matrix of passenger correspondence, transactions of subscribers of cellular communication, fuzzy logic, attractiveness of routes, degree of filling of salons of vehicles, intervals of movement, cost of travel.



Підписано до друку 27.10.2017 р. Папір офсетний. Гарнітура Times.  
Формат 60 x 84/16. Ум. друк. арк. 0,9. Наклад 100 прим. Зам. №112  
Друк СПДФО Марусич М. М. Свідоцтво № 1252 від 30.12.1996  
м. Львів, пл. Осмомисла, 5/11  
тел./факс: (032) 261-51-31.  
e-mail: [interprint-m@ukr.net](mailto:interprint-m@ukr.net)