

## ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 004.896

<https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2019.3.9>

К.О. БЄЛЄВАНЦЕВА

Державний вищий навчальний заклад  
«Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь

ORCID: 0000-0003-1133-3460

О.І. ПРОНИНА

Державний вищий навчальний заклад  
«Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь

ORCID: 0000-0001-7085-8027

**ВИКОРИСТАННЯ НЕЧІТКИХ МНОЖИН ПРИ ВИЗНАЧЕННІ  
ПРИВАБЛИВОСТІ ПАСАЖИРОПОТОКУ**

*Аналізуючи сучасні пасажирські перевезення в Україні, можна зробити висновок, що зі збільшенням кількості міського населення зростає потреба в розвитку пасажирських перевезень, а також у підвищенні якості транспортних послуг. Основними завданнями пасажирського міського транспорту є повне і сучасне задоволення потреб населення в перевезеннях, підвищення ефективності та якості роботи транспортної системи. У даній роботі розглядається модель пасажиропотоку в межах міста. Проведено аналіз стану проблеми міського транспорту з урахуванням вітчизняного та зарубіжного досвіду. Розглянуто основні методи дослідження пасажиропотоку, що застосовуються в диспетчерських службах. Обрані основні параметри, які впливають на оцінку пасажиропотоку. На підставі характеристик предметної області, а саме великої кількості різнобічних факторів, що впливають, обраний найбільш відповідний метод вивчення привабливості маршруту - нечіткий висновок. Була побудована нечітка модель оцінки пасажиропотоку, за допомогою кортежів описані входні лінгвістичні змінні. Описано вибір функцій приналежності для змінних, найменування термів входних і вихідних змінних, позначені інтервали універсуму та сформовано продукційні правила. Розроблена модель була реалізована у вигляді системи нечіткого виведення для оцінки пасажиропотоку в середовищі MatLab Fuzzy. В роботі представлені всі етапи її побудови. Розроблена модель ляже в основу системи, яка полегшить роботу диспетчера для оцінки пасажиропотоку, дозволить йому визначити завантаженість маршруту та зменшить навантаження. Усе це разом допоможе оптимізувати пересування пасажирів в міському транспорті, що веде до покращення ринку перевезень.*

*Ключові слова: пасажиропотік, привабливість маршруту, модель нечіткого виводу, продукційні правила.*

Е.А. БЕЛЕВАНЦЕВА

Государственное высшее учебное заведение  
«Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

ORCID: 0000-0003-1133-3460

О.И. ПРОНИНА

Государственное высшее учебное заведение  
«Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

ORCID: 0000-0001-7085-8027

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ  
ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ ПАССАЖИРОПОТОКА**

*Анализируя современные пассажирские перевозки в Украине, можно сделать вывод, что с увеличением количества городского населения растет потребность в развитии пассажирских перевозок, а также в повышении качества транспортных услуг. Основными задачами пассажирского городского транспорта является полное и современное удовлетворение потребностей населения в перевозках, повышение эффективности и качества работы транспортной системы. В данной работе рассматривается модель пассажиропотока в пределах города. Проведен анализ состояния проблемы городского транспорта с учетом отечественного и зарубежного опыта. Рассмотрены основные методы изучения пассажиропотока, применяемые в диспетчерских службах. Выбраны основные параметры, которые влияют на оценку пассажиропотока. На основании характеристик предметной области, а именно большого количества разносторонних влияющих факторов, выбран наиболее подходящий метод изучения привлекательности маршрута – нечеткий вывод. Была построена нечеткая модель оценки пассажиропотока, с помощью кортежей описаны входные лингвистические*

*переменные. Описан выбор функций принадлежности для переменных, наименования термов входных и выходной переменной, обозначены интервалы универсума и сформированы продукционные правила. Разработанная модель была реализована в виде системы нечеткого вывода для оценки пассажиропотока в среде MatLab Fuzzy. В работе представлены все этапы ее построения. Разработанная модель ляжет в основу системы, которая облегчит работу диспетчера для оценки пассажиропотока, позволит ему определять загруженность маршрута и уменьшит нагрузку. Все это вместе поможет оптимизировать передвижения пассажиров в городском транспорте, что ведет к улучшению рынка перевозок.*

*Ключевые слова: пассажиропоток, привлекательность маршрута, модель нечеткого вывода, продукционные правила.*

K.A. BIELIEVANTSEVA  
State Higher Educational Institution  
"Priazov State Technical University", Mariupol  
ORCID: 0000-0003-1133-3460  
O.I. PRONINA  
State Higher Educational Institution  
"Priazov State Technical University", Mariupol  
ORCID: 0000-0001-7085-8027

### USAGE OF FUZZY SETS IN DETERMINING THE ATTRACTIVENESS OF PASSENGER FLOW

*When analyzing modern passenger transportation in Ukraine, we can conclude that with an increase in the number of urban population, the need for the development of passenger transportation, as well as for improving the quality of transport services, is growing. The main task of urban transit services is to fully and modernly meet the transportation needs of the population, while increasing the efficiency and quality of the transport system. In this paper, we consider the model of passenger traffic within the city. We analyze the state of the problem of urban transport, taking into account domestic and foreign experience. The basic methods for studying passenger flow used in dispatch services are considered. The main parameters that affect the estimation of passenger flow are selected. Based on the characteristics of the subject area, namely a large amount of diverse influencing factors, we choose the most suitable method for studying the attractiveness of the route - a fuzzy conclusion. A fuzzy model for estimating passenger flow is constructed, and input linguistic variables are described using tuples. The choice of membership functions for variables, the names of the terms of the input and output variables are described, the intervals of the universe are indicated. Production rules necessary for building a fuzzy inference system are formed. The developed model is implemented as a fuzzy inference system estimating passenger flow in the MatLab Fuzzy environment. The paper presents all the stages of its construction. The developed model will form the basis for a system that will facilitate the work of the dispatcher to assess passenger flow, allowing him to determine the load on the route and reduce it. All of this collectively will help optimize the movement of passengers in public transport, which will lead to an improvement in the transportation market.*

*Keywords: passenger flow, attractiveness of the route, model of fuzzy inference, production rules.*

#### Постановка проблеми

У сучасному світі транспортна мобільність грає важливу роль. Вона впливає на різноманітні сфери нашого життя та є їх складовою частиною, наприклад, це стосується нормального функціонування економіки, ефективність виробництва. Також вона відповідає за раціональний розподіл виробничої сили по певній території. Усе це дозволяє розвиватися таким галузям як сільське господарство, торгівля, промисловість, туризм та іншим.

Основним завданням пасажирського автомобільного транспорту є повне і сучасне задоволення потреб населення в перевезеннях, підвищення ефективності та якості роботи транспортної системи.

Тема оцінки пасажиропотоку не є зовсім новою. Існує достатня кількість досліджень, аналітичних даних та інформації щодо транспортних пересувань населення. Також існує й різні методи їх вивчення [1, 2], які можна класифікувати по якимось спільним ознакам (рис. 1).

Наприклад, по тривалості охоплюваного періоду розрізняють систематичні і разові. Перші проводять кожного дня впродовж усього періоду руху працівники служби експлуатації, а другими називають короточасні обстеження.

За шириною охоплення бувають суцільні та вибіркові дослідження. Суцільні проводяться по всім маршрутам одночасно. За допомогою цього методу вирішуються такі важливі проблеми, як ефективність роботи та графіків, підлаштування транспорту під пасажирські потреби, координація

роботи. Це дуже корисно, але є затратним за кількістю робітників. Вибіркові ж дослідження покривають тільки обрану частину мережі, де вирішуються простіші й не такі глобальні питання.

За способами проведення методи вивчення пасажиропотоку поділяють на чотири варіанти. Перший – анкетний, який дозволяє отримати достовірні дані щодо транспортної мобільності мешканців, але він є й дуже трудомістким у плані роботи з людьми, обробкою отриманих даних, а також залежний від бажання людей співпрацювати. Другий метод – звітно-статистичний. Він ґрунтується на продані пасажиром у салоні транспортного засобу квитки, статистику перевезених людей із пільгами, на облікові звіти. Це гарний спосіб щоб визначити обсяги перевезених пасажирів для кожного транспортного напрямку, але він не дає можливості оцінити максимальну завантаженість. Наступний метод – натурний – передбачає певну взаємодію із пасажиром та отримання від них безпосередньої інформації. Останніми є автоматизовані методи, що працюють без людського фактору та взаємодії з пасажиром та видають оброблену інформацію щодо пасажиропотоку. Вони у значній мірі можуть скоротити задіяну кількість людей, що приймають участь у дослідженнях, хоча й можуть дорого коштувати.

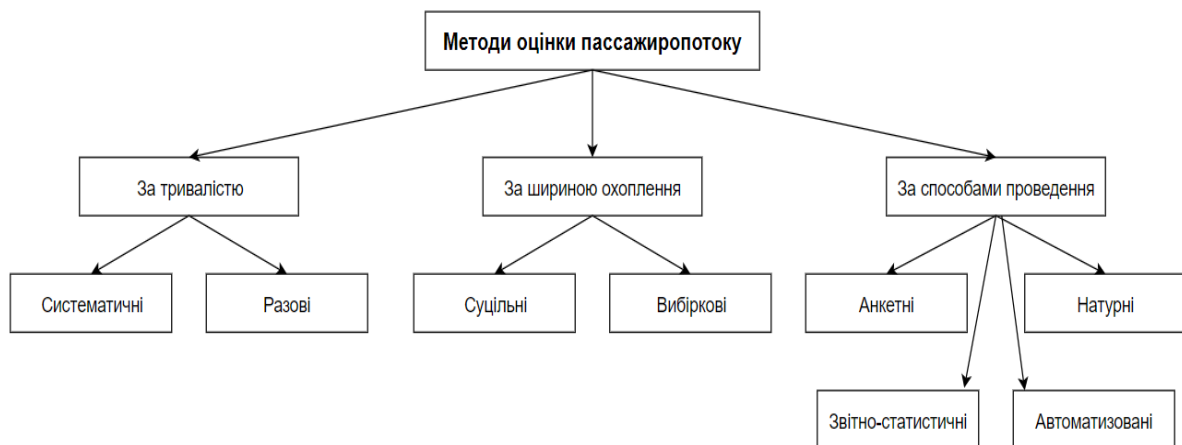


Рис. 1. Методи оцінки пасажиропотоку

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій

На сьогоднішній день існує багато робіт присвячених оцінці пасажиропотоку. Так у роботі Джассбі [3] запропонована трифазна система нечітких висновків (FIS), де було запропоновано зіставити соціальні та демографічні змінні до загальної кількості поїздок. Перша FIS призначена для зіставлення змінних пересувань з кількістю сформованих поїздок. Друга система націлена на зіставлення кількості змінних зацікавленості з кількістю залучених в результаті поїздок. Третя FIS призначена для поєднання результатів першої і другої системи.

Ця робота показує, що ключовою умовою для успішного прогнозування майбутнього є правильний аналіз уже існуючого. Потрібні деякі функції, які допоможуть виявити існуючі схеми подорожей між регіонами, дослідити їх та удосконалити. Основним завданням було максимально точно описати людський вибір, який більше відповідає нечіткій логіці порівняно з чіткою математикою. Нечітка логіка може стати логічним способом для відображення таких областей.

Ще одним прикладом вивчення пасажиропотоку можна привести роботу Компіла та Селіка [4]. Вони займалися моделюванням розподілу пасажиропотоку за допомогою нечітких правил та генетичних систем. У поєднанні ці два способи дають кращі та адекватні дані, ніж поодиночі. Це дослідження продемонструвало їх використання на прикладі складних міських регіонів із бажаним рівнем точності та інтерпретації. Вони відрізняються від аналогічних попередніх робіт в декількох аспектах: вперше була запропонована і застосована генетична нечітка система для моделювання пасажирських потоків; розроблено оригінальні рішення проблеми навчання нечіткої бази; було встановлено широке порівняння продуктивності серед нечіткої, генетичної нечіткої моделі розподілу поїздок.

У працях А. Білоуса та І. Демчук [5] моделі оцінки пасажиропотоку, які базуються на нечіткій логіці із застосуванням генетичних алгоритмів вважаються досить надійними та достовірними. Генетичні алгоритми відкидають гірші варіанти та залишають найкращі, методом відбору та еволюції. Вони мінімізують втручання в налаштування параметрів. Із переваг можна виокремити надання високоякісних результатів аналізу, але недоліком є суб'єктивність вибору функцій приналежностей.

Інший дослідник, Ді Ін, виводив формулу оцінки задоволення транспортними кореспонденціями за допомогою нечіткої логіки [6]. Він вимірює задоволеність пасажирів автобусом на рівні обслуговування та надає пропозиції щодо покращення послуг громадського транспорту за результатами дослідження. Крім цього він не відкидає думки, що його методи не враховують такі аспекти, як регіональні екологічні питання. У роботі не було враховано вплив погоди, пори року та

міської культури під час проведення оціночних досліджень. У той же час, через різну погоду та пори року, стан людей досить різний [7], що також може вплинути на задоволення від їзди. Також не враховується проблема скільки автобусів пасажирів можуть вибрати до одного й того ж місця. Задоволення від їзди впливатиме на прийняте рішення пасажирів щодо вибору лінії. Це також напрямок майбутніх досліджень.

Щодо критеріїв привабливості маршруту, то у праці Грирорової Т. [8] було досліджено значущість факторів, які впливають на вибір пасажирів. Їх порівняння проводилося натурним методом за допомогою анкет, після чого був складений рейтинг таких факторів, як час руху, вартість проїзду, час очікування, кількість пересадок та ін.

Аналогічні дослідження проводив і Ковалишин В. [9]. Серед багатьох критеріїв він у першу чергу виділив час очікування пасажирів на зупинці, як найважливіший критерій. Друге місце посів показник часу поїздки. А ось на третій позиції – наповненість транспорту.

Давідч Н. також спірався у своїй праці [10] на час руху під час поїздки. Автор описав його нелінійним регресійним рівнянням, де змінними виступали швидкість маршрутного потоку, коефіцієнт заповненості транспорту, довжина перегону та потужність двигуна. У результаті він отримав показник якості перевезення пасажирів.

#### Формулювання мети дослідження

Мета даної роботи – дослідити роботу міського маршрутного транспорту, проаналізувати критерії, що впливають на оцінку пасажиропотоку та побудувати нечітку модель оцінки пасажиропотоку.

#### Викладення основного матеріалу дослідження

Оцінка пасажиропотоку складається із багатьох факторів, переплетених один з одним. Проаналізувавши різні методи вирішення цієї проблеми та переглянувши аналогічні завдання, було прийнято рішення взяти за основу нечітку логіку.

Цей метод застосовується коли нам потрібно не просто сказати однозначно так чи ні, істина чи брехня, а показати сам ступінь істинності. Тобто твердження можуть бути частково правдиві та частково помилкові. Це допомагає вирішити багато життєвих задач, адже наша реальність складна і характеризується неоднозначністю, неточністю та не лінійністю.

Щоб оцінити пасажиропотік за допомогою нечіткої логіки треба виділити параметри, зазначити діапазон значень, які можуть набувати параметри та вибрати функції приналежності.

Щодо функції приналежності, то їх існує багато. Але для даної проблематики було виокремлено сигмоїду та дзвін [11]. Вони нелінійні та не мають різних піків, що означає для них підійде більше значень.

#### Нечітка модель оцінки пасажиропотоку

Згідно предметної галузі було обрано основні критерії, що впливають на пасажиропотік. Нечітка модель розрахунку ступеня впевненості у привабливості пасажиропотоку представлена в наступному вигляді [12]:

$$L = \langle \{V\}_{i=1}^4; \{R\}_{k=1}^{180}; \{W\}_{j=1}^1 \rangle, \quad (1)$$

де  $\{V\}$  - множина вхідних лінгвістичних змінних;

$\{R\}$  - множина продукційних правил;

$\{W\}$  - множина вихідних лінгвістичних змінних.

Множина вхідних змінних  $\{V\}_{i=1}^4 = \{\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4\}$  складається з лінгвістичних змінних:

–  $\beta_1$  визначається кортежем  $\langle \beta_1, T(\beta_1), X \rangle$ , де  $\beta_1$  = «інтервал між транспортними засобами»,

$T(\beta_1) = \{IS, IM, IL\}$ ,  $X = [0;1]$ . Він описує як часто транспортні засоби виходять на маршрути та наскільки великий проміжок між рухомою одиницею. Найменування та параметри термів представлені в табл. 1;

–  $\beta_2$  визначається кортежем  $\langle \beta_2, T(\beta_2), X \rangle$ , де  $\beta_2$  = «технічний стан транспортного засобу»,

$T(\beta_2) = \{CB, CM, CG, CE\}$ ,  $X = [0;100]$ . Параметр буде вимірюватися у відсотках, а його діапазон сягатиме від 0 до 100%. Де значення, які ближче до 0 будуть вказувати на гірший стан, ніж ті, що ближче до 100. Такий терм як «дуже поганий» не вводиться, так як при настільки незадовільному стані транспортного засобу його взагалі не повинні випускати на маршрут. Найменування та параметри термів представлені в табл. 2;

–  $\beta_3$  визначається кортежем  $\langle \beta_3, T(\beta_3), X \rangle$ , де  $\beta_3$  = «довжина маршруту»,

$T(\beta_3) = \{MS, MM, ML\}$ ,  $X = [0;50]$ . Довжина маршруту вимірюватиметься у кількості зупинок на маршрут. Її діапазон сягатиме від 0 до 50. Чим коротша відстань для пасажирів від початкової зупинки, де

він сів у транспортний засіб, до кінцевої - тим менше часу він витратить на дорогу та тим привабливіше для нього буде маршрут. Найменування та параметри термів представлені в табл. 3;

$-\beta_4$  визначається кортежем  $\langle \beta_4, T(\beta_4), X \rangle$ , де  $\beta_4 =$  «час доби»,  $T(\beta_4) = \{TF, TM, TD, TE, TN\}$ ,  $X = [4; 23]$ . Транспортні засоби виходять на маршрути та сходять з них у різний час, але можна виділити такий діапазон, як з 4 години ранку до 11 години ночі, коли вони активні. Найменування та параметри термів представлені в табл. 4.

Таблиця 1

Інтервал між транспортними засобами

Позначення терму	Назва терму	Тип функції приналежності	Параметри			Вихідний універсум
			a	b	c	
IS	маленький	сигмоїда	-20	-	0,25	[0; 0,3]
IM	середній	узагальнений дзвін	0,15	2	0,5	[0,3; 0,7]
IL	великий	сигмоїда	20	-	0,75	[0,7; 1]

Таблиця 2

Технічний стан транспортного засобу

Позначення терму	Назва терму	Тип функції приналежності	Параметри			Вихідний універсум
			a	b	c	
CB	поганий	сигмоїда	-0,25	-	15,5	[0; 25]
CM	середній	узагальнений дзвін	7	1,5	36	[25; 50]
CG	гарний	узагальнений дзвін	7	1,5	65	[50; 75]
CE	відмінний	сигмоїда	0,25	-	85	[75; 100]

Таблиця 3

Довжина маршруту

Позначення терму	Назва терму	Тип функції приналежності	Параметри			Вихідний універсум
			a	b	c	
MS	короткий	сигмоїда	-0,5	-	13	[0; 16]
MM	середній	узагальнений дзвін	7	2	25,5	[16; 36]
ML	довгий	сигмоїда	0,5	-	38	[36; 50]

При формуванні бази правил  $\{R\}_{j=1}^{180} = \{R_1, R_2, \dots, R_{180}\}$  кожне правило представлено у вигляді нечіткої продукції [12].

Нечітка база знань з інформацією про залежність «вхід - вихід» містить лінгвістичні правила, приклади яких представлені нижче:

1. ЯКЩО  $\beta_1 =$  «великий» ТА  $\beta_2 =$  «поганий» ТА  $\beta_3 =$  «довгий» ТА  $\beta_4 =$  «ранній ранок» ТО  $\omega_1 =$  «мала».
2. ЯКЩО  $\beta_1 =$  «середній» ТА  $\beta_2 =$  «середній» ТА  $\beta_3 =$  «середній» ТА  $\beta_4 =$  «ніч» ТО  $\omega_1 =$  «середня».
3. ЯКЩО  $\beta_1 =$  «маленький» ТА  $\beta_2 =$  «відмінний» ТА  $\beta_3 =$  «короткий» ТА  $\beta_4 =$  «день» ТО  $\omega_1 =$  «велика».

Таблиця 4

Позначення терму	Назва терму	Тип функції приналежності	Параметри			Вихідний універсум
			a	b	c	
TF	ранній ранок	сигмоїда	-3	-	5,5	[4; 6]
TM	ранок	узагальнений дзвін	1,3	2,5	8	[6; 10]
TD	день	узагальнений дзвін	2	3	13	[10; 16]
TE	вечір	узагальнений дзвін	1,3	2,5	18	[16; 20]
TN	ніч	сигмоїда	3	-	20,5	[20; 23]

Правила задаються експертами на основі суб'єктивних переваг і не носять випадкового характеру.

На привабливість маршруту впливають усі вхідні параметри: інтервал між транспортними засобами, технічний стан транспортного засобу, довжина маршруту, час доби. В залежності від них буде формуватися вихідна змінна, за допомогою якої і можна оцінити пасажиропотік. Чим ближче значення до одиниці, тим більше впевненості, що пасажир вибере даний маршрут тому що він є найбільш привабливим.

Лінгвістична змінна  $\omega_1$  визначається кортежем  $\langle \omega_1, T(\omega_1), X \rangle$ , де  $\omega_1 =$  «ступінь впевненості у привабливості маршруту»,  $(\omega_1) = \{PS, PM, PL\}$ ,  $X = [0; 1]$ .

Найменування та параметри термів представлені в табл. 5.

Таблиця 5

Позначення терму	Назва терму	Тип функції приналежності	Параметри			Вихідний універсум
			a	b	c	
PS	мала	сигмоїда	-20	-	0,25	[0; 0,3]
PM	середня	узагальнений дзвін	0,15	2	0,5	[0,3; 0,7]
PL	велика	сигмоїда	20	-	0,75	[0,7; 1]

Для перевірки адекватності розробленої моделі, було проведено моделювання за допомогою інструменту Matlab Fuzzy Logic Toolbox. Ця програма слугує для загального аналізу адекватності нечіткої моделі та дає можливість оцінити вплив зміни значень вхідних нечітких змінних на значення вихідних [13].

Після визначення змінних та термів для кожної з них можна переходити до створення самої моделі (рис. 2).

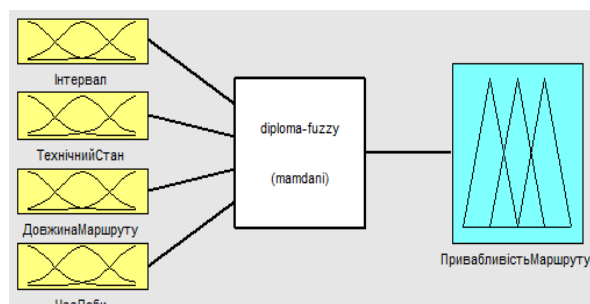


Рис. 2. Модель нечіткого висновку

Лінгвістична змінна «Інтервал» (рис. 3) характеризується трьома термами: «маленький», «середній», «великий».

Лінгвістична змінна «Технічний стан» (рис. 4) характеризується чотирма термами: «поганий», «середній», «гарний», «відмінний».

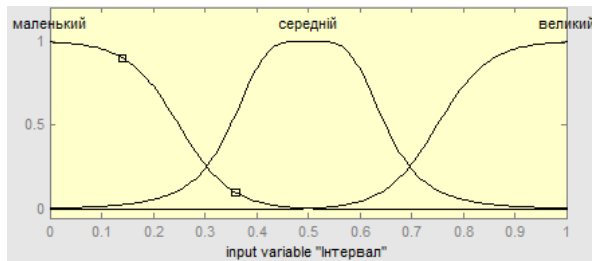


Рис. 3. Вхідна змінна «Інтервал»



Рис. 4. Вхідна змінна «Технічний стан»

Лінгвістична змінна «Довжина маршруту» (рис. 5) характеризується трьома термами: «короткий», «середній», «довгий».

Лінгвістична змінна «Час доби» (рис. 6) характеризується п'ятьма термами: «ранній ранок», «ранок», «день», «вечір», «ніч».

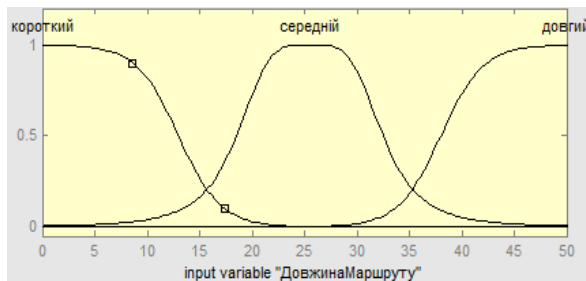


Рис. 5. Вхідна змінна «Довжина маршруту»

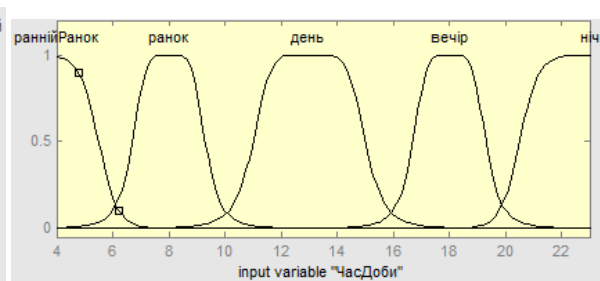


Рис. 6. Вхідна змінна «Час доби»

Остання змінна є вихідною – «Привабливість маршруту» (рис. 7). Вона описується трьома термами: «мала», «середня», «велика».

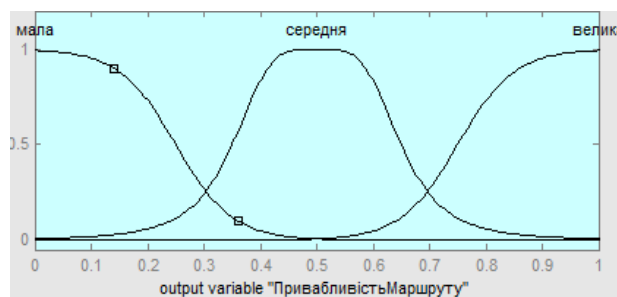


Рис. 7. Вихідна змінна «Привабливість маршруту»

Після моделювання задаються правила нечіткої системи. Загальна кількість правил сягає 180 штук. На рис. 8 можна побачити їх приклад.

Візуалізація нечіткого логічного висновку (рис. 9) дозволяє проілюструвати висновок по кожному правилу окремо, отримання нечіткої множини і виконання процедури дефазифікації.

При дослідженні нечіткої моделі використовується режим перегляду правил. Отримати значення необхідної вихідної змінної можна, задавши конкретне значення вхідних змінних. Приклад візуалізації поверхні зображено на рис. 10.

171. If (Інтервал is великий) and (ТехнічнийСтан is поганий) and (ДовжинаМаршруту is довгий) and (ЧасДоби is ніч) then (ПривабливістьМаршруту is мала) (1)  
 172. If (Інтервал is маленький) and (ТехнічнийСтан is середній) and (ДовжинаМаршруту is довгий) and (ЧасДоби is ніч) then (ПривабливістьМаршруту is середня) (1)  
 173. If (Інтервал is середній) and (ТехнічнийСтан is середній) and (ДовжинаМаршруту is довгий) and (ЧасДоби is ніч) then (ПривабливістьМаршруту is середня) (1)  
 174. If (Інтервал is великий) and (ТехнічнийСтан is середній) and (ДовжинаМаршруту is довгий) and (ЧасДоби is ніч) then (ПривабливістьМаршруту is мала) (1)  
 175. If (Інтервал is маленький) and (ТехнічнийСтан is гарний) and (ДовжинаМаршруту is довгий) and (ЧасДоби is ніч) then (ПривабливістьМаршруту is середня) (1)  
 176. If (Інтервал is середній) and (ТехнічнийСтан is гарний) and (ДовжинаМаршруту is довгий) and (ЧасДоби is ніч) then (ПривабливістьМаршруту is середня) (1)  
 177. If (Інтервал is великий) and (ТехнічнийСтан is гарний) and (ДовжинаМаршруту is довгий) and (ЧасДоби is ніч) then (ПривабливістьМаршруту is середня) (1)  
 178. If (Інтервал is маленький) and (ТехнічнийСтан is відмінний) and (ДовжинаМаршруту is довгий) and (ЧасДоби is ніч) then (ПривабливістьМаршруту is середня) (1)  
 179. If (Інтервал is середній) and (ТехнічнийСтан is відмінний) and (ДовжинаМаршруту is довгий) and (ЧасДоби is ніч) then (ПривабливістьМаршруту is середня) (1)  
 180. If (Інтервал is великий) and (ТехнічнийСтан is відмінний) and (ДовжинаМаршруту is довгий) and (ЧасДоби is ніч) then (ПривабливістьМаршруту is середня) (1)

Рис. 8. Правила системи нечіткого виводу

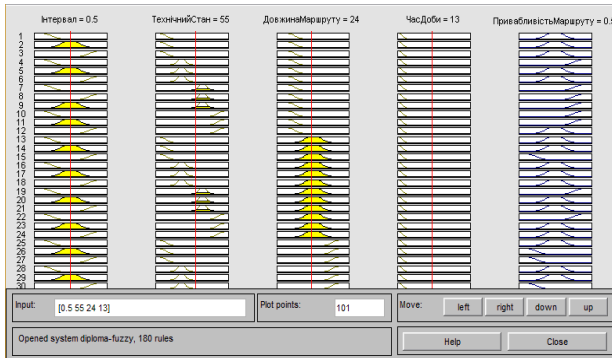


Рис. 9. Інтерфейс перегляду правил системи нечіткого виводу

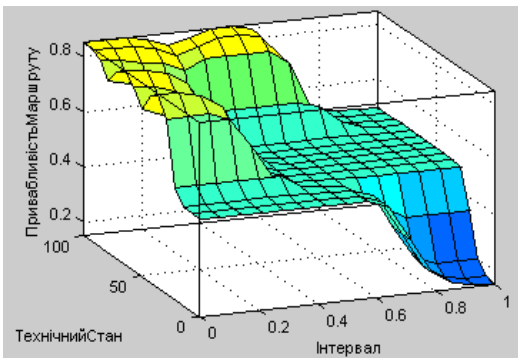


Рис.10. Візуалізація поверхні

Після введення усіх можливих правил було проаналізовано їх, виявилось, що терм «мала» для вихідної змінної ступінь впевненості у привабливості маршруту по відношенню до змінної привабливості маршруту зустрічається 21 раз, терм «середня» зустрічається 120 раз, терм «велика» 39 разів.

Слід відзначити, що найбільш ефективним способом при якому використовується нечітка логіка, це – моделі, що включають в себе велику кількість змінних. У цьому випадку завдання змінних та функцій приналежності їх термів у графічному режимі, за допомогою Matlab Fuzzy Logic Toolbox, а також візуалізація правил дозволяють істотно зменшити трудомісткість перевірки нечіткої моделі, знизити кількість можливих помилок та скоротити загальний час нечіткого моделювання.

#### Висновки

У ході дослідження була змодельована система оцінки пасажиропотоків. Її модель базується на нечіткій логіці, яка більш точно може описати вибрану предметну область. Для моделювання було використано інструмент Matlab Fuzzy Logic Toolbox. У якості основних критеріїв оцінки привабливості маршруту були вибрані наступні: інтервал між транспортними засобами, технічний стан, довжина маршруту та час доби.

Це дослідження робилось з метою побудови нечіткої моделі, для подальшої реалізації її у вигляді системи для диспетчерів. Система, що розробляється спрямована на полегшення роботи диспетчера оцінки пасажиропотоку, завдяки виявленню годин пік та завантаженості маршрутів. На основі оцінки пасажиропотоку диспетчер може змінити навантаження, та будувати динамічний розклад у різні години доби. Усе це разом допоможе поліпшити пересування пасажирів у міському транспорті, зменшити негативні враження, після його використання та покращити інфраструктуру міста.

#### Список використаної літератури

1. Палант О.Ю. Огляд методів обстеження пасажиропотоків / О.Ю. Палант // Бізнес Інформ. –2014. – №11. – С. 142–148.
2. Вдовиченко В.О. Дослідження перерозподілу пасажиропотоків на міських маршрутах пасажирського транспорту міста Кривого Рогу / Вдовиченко В.О., Великодний Д.О., Нікітченко В.М. // Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту: III міжнародна науково-практична інтернет-конференція (14-16 квітня 2015). – Вінниця: ВНТУ, 2015 – С. 50–53.
3. Jassbi J. Soft system modeling in transportation planning: Modeling trip flows based on the fuzzy inference system approach / J. Jassbi, P. Makvandi, M. Ataei, Pedro A. C. Sousa // African Journal of Business Management – 2011. – Vol. 5(2). – P. 505–514.
4. Kompil M., Celik H. Modelling trip distribution with fuzzy and genetic fuzzy systems. Transportation Planning and Technology – 2013. – Vol. 36 (2). – P. 170–200. doi: 10.1080/03081060.2013.770946.



5. Білоус А. Б. Аналіз методів та моделей розрахунку обсягу пасажирських кореспонденцій / А. Б. Білоус, І. А. Демчук // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2014. – 3/3(69). – С. 55–57. doi: 10.15587/1729-4061.2014.24545.
6. Di Yin Research on Fuzzy Comprehensive Evaluation of Passenger Satisfaction in Urban Public Transport // *Modern Economy* – 2018. doi: 10.4236/me.2018.93034.
7. Huang, H.B. The Research on Changsha City Bus Passenger Satisfaction Evaluation by AHP-Fuzzy Comprehensive Evaluation. // *Central South University of Forestry and Technology* – 2014.
8. Григорова Т.М. Визначення факторів, які впливають на вибір пасажирами виду приміського транспорту / Т.М. Григорова, Ю.О. Давідіч, В.К. Доля // *Вісник НТУ «ХПІ»*. – Харків, 2015. – №21 (1130). – С.29–37.
9. Ковалишин В.В. Про «комфортний» час очікування громадського транспорту у Львові: [Електронний ресурс]. – 2013. – Режим доступу: <http://volodymyrkovalyshyn.blogspot.com/2013/06/blog-post.html>.
10. Давідіч Н.В. Оцінка якості в проектах міського пасажирського транспорту / Давідіч Н.В. // *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. – Луцьк, 2016. – №1 (5). – С.63–66.
11. Mamdani, E. An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller / Mamdani, E., Assilian, S. // *International Journal of Man-Machine Studies*. – 1975. – Vol.7. – P.1–13. doi: 10.1016/B978-1-4832-1450-4.50032-8/.
12. Mamdani, E. Applications of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic synthesis // *IEEE Transactions on Computers*. – 1977. – Vol.26, №12. – P.1182–1191. doi: 10.1109/TC.1977.1674779.
13. Леоненков О. В. Нечітке моделювання у середовищі MATLAB и fuzzyTECH / О. В. Леоненков. – Санкт-Петербург: Мастер решений, 2003. – 736 с.

#### References

1. Palant O. Yu. Review of Methods for Inspection of Passenger Flows / O. Yu. Palant // *Business Inform.* – 2014. – №11. – С. 142–148.
2. Vdovichenko V. A. Investigation of the redistribution of passenger traffic on urban routes of passenger transport in the city of Kryvyi Rih / Vdovichenko V. A., Velikodny D. O., Nikitchenko V. M. // *Suchasni tekhnolohii ta perspektyvy rozvytku avtomobilnoho transoportu: III mizhnarodna naukovo-praktychna internet-konferentsiia (14–16 kvitnia 2015) [Modern technologies and prospects for the development of road transport: III International Scientific and Practical Internet Conference (April 14–16, 2015)]*. – Vinnitsa: VNTU, 2015 – P. 50-53.
3. Jassbi J. Soft system modeling in transportation planning: Modeling trip flows based on the fuzzy inference system approach / J. Jassbi, P. Makvandi, M. Ataei, Pedro A. C. Sousa // *African Journal of Business Management* – 2011. – Vol. 5(2). – P. 505–514.
4. Kompil M., Celik H. Modelling trip distribution with fuzzy and genetic fuzzy systems. *Transportation Planning and Technology* – 2013. – Vol. 36 (2). – P. 170–200. doi: 10.1080/03081060.2013.770946.
5. Bilous A. B. Analysis methods and models of calculation of passenger correspondence / A. B. Bilous, I. A. Demchuk // *Eastern European Journal of Advanced Technologies*. – 2014 – 3/3 (69). – P. 55–57. doi: 10.15587/1729-4061.2014.24545.
6. Di Yin Research on Fuzzy Comprehensive Evaluation of Passenger Satisfaction in Urban Public Transport // *Modern Economy* – 2018. doi: 10.4236/me.2018.93034.
7. Huang, H.B. The Research on Changsha City Bus Passenger Satisfaction Evaluation by AHP-Fuzzy Comprehensive Evaluation. // *Central South University of Forestry and Technology* – 2014.
8. Grigorova T. M. Determination of factors influencing the choice of passengers by type of suburban transport / T. M. Grigorova, Yu. O. Davidich, V. K. Dolya // *Bulletin of NTU "KPI"*. – Kharkiv, 2015. – №21 (1130). – P.29–37.
9. Kovalyshyn V. V. About the "comfortable" time of waiting for public transport in Lviv: [Electronic resource]. – 2013. – Available at: <http://volodymyrkovalyshyn.blogspot.com/2013/06/blog-post.html>.
10. Davidich N. V. Quality assessment in urban passenger transport projects / N. V. Davidich // *Modern technologies in engineering and transport*. – Lutsk, 2016. – №1 (5). – P.63–66.
11. Mamdani, E. An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller / Mamdani, E., Assilian, S. // *International Journal of Man-Machine Studies*. – 1975. – Vol.7. – P.1–13. doi: 10.1016/B978-1-4832-1450-4.50032-8/.
12. Mamdani, E. Applications of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic synthesis // *IEEE Transactions on Computers*. – 1977. – Vol.26, №12. – P.1182–1191. doi: 10.1109/TC.1977.1674779.
13. Leonenko A. V. Fuzzy modeling in MATLAB and fuzzyTECH / A. V. Leonenko. – St. Petersburg: Master of Decisions, 2003. – 736 p.