

УДК 004.896

Проніна О.І.

Державний вищий навчальний заклад «Приазовський державний технічний університет»

МОДЕЛЮВАННЯ НЕЧІТКОГО ВИВЕДЕННЯ ДЛЯ ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНОЇ ІНДИВІДУАЛЬНОЇ МІСЬКОЇ ПОЇЗДКИ

Проніна О. І. Моделювання нечіткого виведення для вибору оптимальної індивідуальної міської поїздки.

У статті представлені етапи побудови системи нечіткого виведення для вибору оптимальної поїздки. Описано вхідні лінгвістичні змінні необхідні для побудови системи нечіткого виведення. Сформовано продукційні правила для системи нечіткого виведення. Показано результати моделювання нечіткого виведення в середовищі MatLab Fuzzy.

Ключові слова: оптимальна поїздка, нечітке моделювання, продукційні правила, система нечіткого виведення.

Пронина О. И. Моделирование нечеткого вывода для выбора оптимальной индивидуальной городской поездки. В статье представлены этапы построения системы нечеткого вывода для выбора оптимальной поездки. Описаны входные лингвистические переменные необходимые для построения системы нечеткого вывода. Сформированы продукционные правила для системы нечеткого вывода. Показаны результаты моделирования нечеткого вывода в среде MatLab Fuzzy.

Ключевые слова: оптимальная поездка, нечеткое моделирование, продукционные правила, система нечеткого вывода.

O. I. Pronina Modeling of fuzzy output for the selection of the optimal individual city trip. The article presents the stages of constructing a fuzzy inference system for choosing the optimal trip. The input linguistic variables necessary for constructing a system of fuzzy inference are described. Production rules for the system of fuzzy inference have been formed. The results of simulation of fuzzy inference in Matlab are shown.

Keywords: optimal travel, fuzzy modeling, production rules, system of fuzzy inference.

Вступ. На сьогодні інформаційні технології активно розвиваються і використовуються у різних галузях діяльності людини. Швидкий і доступний Інтернет, GPS позиціонування і мобільні додатки роблять використання смартфонів все більш популярним. Особливо актуальні ці технології для транспортних систем і організації перевозок, в тому числі приватних пасажирських (таксі).

Дослідження моделей взаємодії користувача і клієнта показали, що найбільш ефективний варіант взаємодії – це модель виклику таксі «без диспетчера», коли взаємодія водія і клієнта йде безпосередньо, без посередника [1]. У цій моделі клієнт вибирає собі автомобіль зі списку згідно зі своїми бажаннями і перевагами, але навіть тут виникають складнощі. Найчастіше користувач обирає собі автомобіль, який розташовано першим у запропонованому списку. Або клієнт орієнтується тільки на один параметр, наприклад, «ціна поїздки», ігноруючи параметр «розташування водія щодо клієнта». Обравши таку поїздку, користувач може довго чекати машину і додатково заплатити за подачу автомобіля, в разі якщо відстань до клієнта перевищує мінімальну. Або ж користувач може не звернути увагу на параметр «клас автомобіля» і його стан, що позначиться на ціні поїздки та на загальному враженні від поїздки. Обираючи тільки один ключовий параметр практично неможливо вибрати оптимальну поїздку.

Таким чином, розробка підсистеми, яка дозволить автоматизувати процес вибору оптимального варіанту індивідуальної міської поїздки, актуальна. Оскільки область оцінки параметрів суб'єктивна, вирішено використовувати апарат нечіткої логіки.

Метою даної роботи є моделювання нечіткої системи виведення для визначення оптимальності поїздки, тобто поїздки яка буде поєднувати в собі клас автомобіля «комфорт», мінімальну вартість подачі автомобіля, низьку вартість поїздки, близьке розташування водія щодо клієнта, високий рейтинг водія.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На теперішній день існує багато робіт, присвячених транспортним системам і їх проблемам. Ряд завдань вирішує апарат нечіткої логіки, наприклад, дослідження перспективи мінімізації невизначеності в експертних висновках під час вирішення типових задач автотехнічної експертизи дорожньо-транспортних пригод при гальмуванні [2]. У роботі [3] на підставі нечіткого логічного висновку запропонована модель оцінки ризиків проектів / програм / портфелів з перевезення вантажів. Застосування даної моделі дозволяє використовувати якісні показники і поліпшити результати виведення.

В роботі [4] розглядаються математична формалізація проблеми маршрутизації танкерів-автозаправних станцій при невизначеній інформації про вимоги обслуговуваних судів. Розглядаються кілька підходів до синтезу алгоритмів прийняття рішень і математичних моделей

на основі інтерактивного підходу. Основна увага приділяється застосуванню нечітких множин і нечіткої логіки для моделювання невизначених порядків судів, які обслуговуються, і оптимізації палива в умовах невизначеності. У роботі [5] розроблено схему керування виробничо-транспортною системою машинобудівного підприємства на основі засад тягучих логістичних систем. Для прийняття рішень про оптимальний обсяг виробничої і транспортної роботи застосовано також апарат теорії нечітких множин.

У моделях розподілу пасажирських перевезень застосування нечіткої логіки та генетичних алгоритмів забезпечує точні результати розрахунків у визначенні транспортного попиту [6]. Крім того, нечітка логіка використовується при вирішенні проблеми з призначенням трафіка, формування пропускну здатності пасажирів для кожного маршруту руху [7].

Модель індивідуальної міської поїздки. Для опису моделі індивідуальної міської поїздки (таксі) використовується множина поїздка $\{P\}$, представлена у вигляді (1).

$$P = \{(p_1, \Omega_1^j), (p_2, \Omega_2^j), (p_3, \Omega_3^j), (p_4, \Omega_4^j), (p_5, \Omega_5^j)\}, p_k \in A \quad (1)$$

$$\Omega_i^j = \{\omega_i^j \mid \mu_{\Omega_i^j}(\omega_i^j)\}, \omega_i^j \in \Omega_i^j,$$

де $A = \{p_k\}$ – множина ознак: p_1 – клас автомобіля, p_2 – розташування водія щодо клієнта, p_3 – ціна поїздки, p_4 – ціна подачі автомобіля, p_5 – рейтинг водія; k – індекс ознаки; $\Omega_i^j = \{\omega_i^j\}$ – множина значень ознаки p_k , що представляє собою найменування нечітких змінних; значення індексів $j \in [1;4]$ описують множину значень ознаки.

Ознаки є вхідними змінними для моделі, що пропонується, для їх опису було вирішено використовувати лінгвістичні змінні. Оскільки при описі вхідних параметрів поїздки вони є більш інформативними для користувачів [8]. Аналіз дозволив виявити як найменування термів, так і їх кількість для кожної лінгвістичної змінної. У результаті аналізу видів функцій приналежності термів емпіричним шляхом були обрані: сігмоїдна, узагальнений колокол і трикутна функції приналежності [9].

Ознаки $\{p_i\}_{i=1}^5$ описуються, відповідно, лінгвістичними змінними:

- β_1 визначається кортежем $\langle \beta_1, T(\beta_1), X \rangle$, де β_1 = «клас автомобіля», $T(\beta_1) = \{\text{економ, комфорт, бізнес}\}$, $X = [0, 300]$, функція приналежності трикутна;
- β_2 визначається кортежем $\langle \beta_2, T(\beta_2), X \rangle$, де β_2 = «розташування водія щодо клієнта», $T(\beta_2) = \{\text{близько, середньо, далеко}\}$, $X = [0, 300]$, функції приналежності сігмоїдна і узагальнений колокол;
- β_3 визначається кортежем $\langle \beta_3, T(\beta_3), X \rangle$, де β_3 = «ціна поїздки», $T(\beta_3) = \{\text{низька, середня, висока}\}$, $X = [0, 300]$, функції приналежності сігмоїдна і узагальнений колокол;
- β_4 визначається кортежем $\langle \beta_4, T(\beta_4), X \rangle$, де β_4 = «ціна подачі автомобіля», $T(\beta_4) = \{\text{низька, середня, висока}\}$, $X = [0, 300]$, функції приналежності сігмоїдна і узагальнений колокол;
- β_5 визначається кортежем $\langle \beta_5, T(\beta_5), X \rangle$, де β_5 = «рейтинг водія», $T(\beta_5) = \{\text{низький, середній, хороший, відмінний}\}$, $X = [0, 300]$, функції приналежності сігмоїдна і узагальнений колокол.

Значення параметрів термів кожної лінгвістичної змінної, функції приналежності і діапазон універсуму для вхідних змінних описані в [10].

Побудова нечіткої моделі вибору оптимальної поїздки. Для визначення ступеня впевненості в оптимальності поїздки використовується нечітка модель вибору. В основі нечіткої моделі вибору оптимальності поїздки лежить формальна система виду (2).

$$HM_2 = \langle \{V\}_{i=1}^5, \{W\}_{j=1}^4, \{R\}_{k=1}^{107} \rangle, \quad (2)$$

де $V = \{\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5\}$ – множина вхідних лінгвістичних змінних; $W = \{\omega_1\}$ – множина вихідних лінгвістичних змінних; $R = \{R_1, R_2, \dots, R_{107}\}$ – множина правил нечітких продукцій, при формуванні якої використовувався підхід, описаний в [9]. Кожне правило R_i представлено у вигляді нечіткої продукції виду (3).

$$\text{ПРАВИЛО} \langle \# \rangle: \text{ЯКЩО } \beta_1 \in \alpha_1 \text{ "ТА" } \beta_2 \in \alpha_2 \text{ "ТА" } \dots \beta_m \in \alpha_m \text{ "ТО" } \omega_1 \in \gamma_1 \text{ "ТА" } \dots \omega_s \in \gamma_s \text{ " (3)}$$

У якості схеми нечіткого висновку пропонується використовувати алгоритм Мамдані [8-9]: метод активації – min-активація, у всіх правилах у якості логічної зв'язки для умов застосовується нечітка кон'юнкція, в якості метода агрегування використовується min-кон'юнкція, для акумуляції висновків правил – метод max-диз'юнкції, метод дефазифікації – метод центру тяжіння.

Лінгвістична змінна ω_1 визначається кортежем $\langle \omega_1, T(\beta_1), X \rangle$, де ω_1 = «ступінь впевненості в оптимальності поїздки», $T(\omega_1) = \{NSU, SSU, HSU, VSU\}$, $X = [0, 1]$. Найменування термів NSU – «низький ступінь впевненості», SSU – «середній ступінь впевненості», HSU – «добрий ступінь впевненості», VSU – «високий ступінь впевненості». Параметри термів представлені в табл.1. Функції приналежності, для термів NSU, VSU – сігмоїдної форми, для SSU, HSU – узагальнений колокол [8].

Таблиця 1. Параметри термів лінгвістичної змінної ω_1

| Ім'я терма | Ім'я функції | Параметри | | | Діапазон універсуму | |
|------------|-------------------------|-----------|---|-------|---------------------|-------|
| | | a | b | c | X_1 | X_2 |
| NSU | $\mu_{NSU}(x; a, c)$ | 50 | - | 0,175 | 0 | 0,25 |
| SSU | $\mu_{SSU}(x; a, b, c)$ | 0,052 | 2 | 0,35 | 0,25 | 0,5 |
| HSU | $\mu_{HSU}(x; a, b, c)$ | 0,047 | 2 | 0,63 | 0,5 | 0,75 |
| VSU | $\mu_{VSU}(x; a, c)$ | 50 | - | 0,8 | 0,75 | 1 |

Моделювання нечіткої системи вибору оптимальної поїздки в середовищі Matlab. У сучасному світі особливої актуальності набувають засоби комп'ютерного моделювання. Це пов'язано з тим, що засобами комп'ютерного моделювання можна вирішити ряд важких у виконанні завдань, оптимізувати окремо взяті процеси. Для вибраної кількості вхідних даних розроблено структурну схему нечіткої моделі у середовищі MATLAB R2009b в пакеті Fuzzy Logic Toolbox. На рис.1 представлена структурна схема у вікні редактора системи нечіткого виведення.

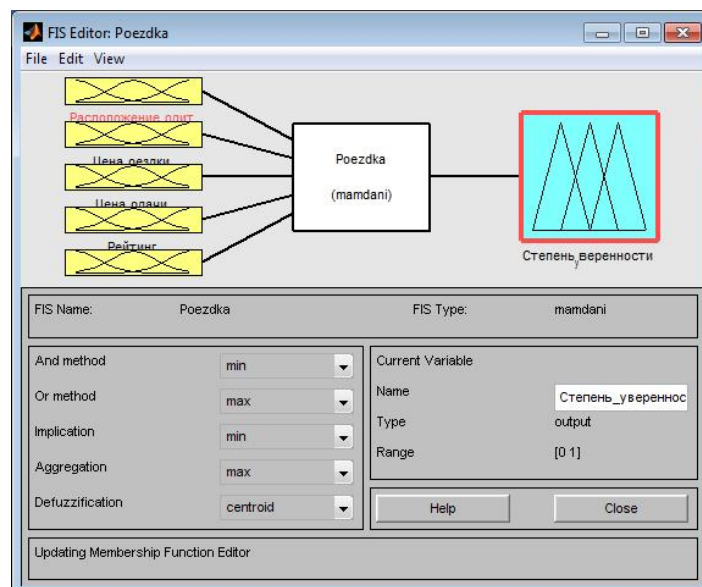


Рис. 1. Структурна схема системи на базі елемента нечіткої логіки

При створенні моделі проходить кілька етапів, основні особливості яких наведено нижче. На етапі фазифікації значення вхідних параметрів наводяться відповідно до їх нечітких лінгвістичних змінних з подальшим вибором закону зміни функції приналежності. Лінгвістична оцінка значення для змінної розташування водія щодо клієнта, проводиться за допомогою 3 термів: ("близько",

"середньо", "далеко"), рис. 2а. Лінгвістична оцінка значення для змінної рейтинг водія, проводиться за допомогою 4 термів: ("низький", "середній", "хороший", "відмінний"), рис. 2б.

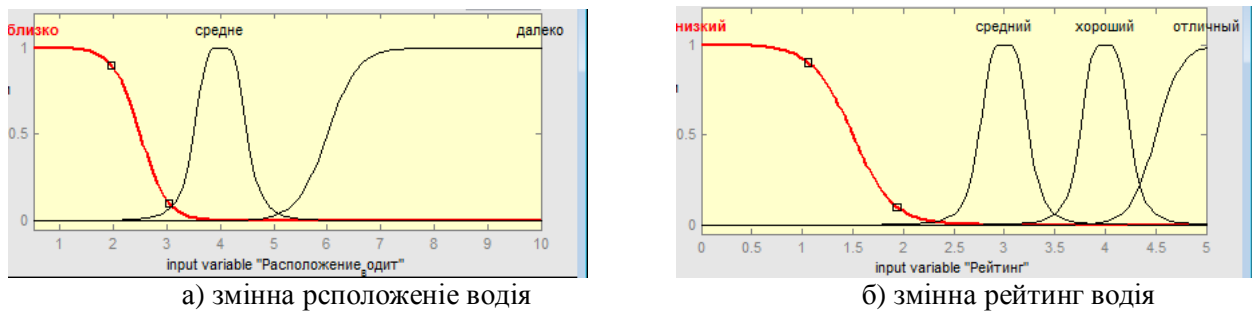


Рис. 2. Завдання лінгвістичної оцінки вхідних сигналів

Лінгвістична оцінка значення для змінних ціна поїздки і ціна подачі, проводиться за допомогою 3 термів: ("низька", "середня", "висока"), малюнок 3а, 3б.

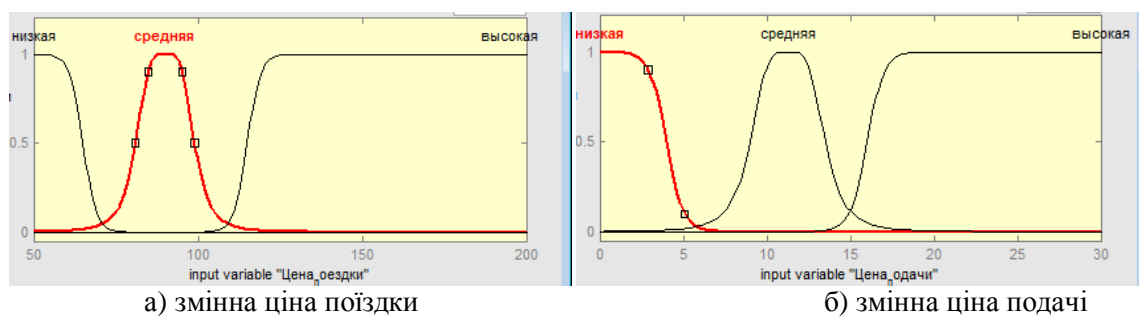


Рис. 3. Завдання лінгвістичної оцінки вхідних сигналів

Лінгвістична оцінка значення для змінної клас автомобіля, проводиться за допомогою 3 термів: ("економ", "комфорт", "бізнес"), рис. 4а. Лінгвістична оцінка значення для вихідної змінної ступінь впевненості, проводиться за допомогою 4 термів: ("низька", "середня", "хороша", "висока"), рис. 4б.

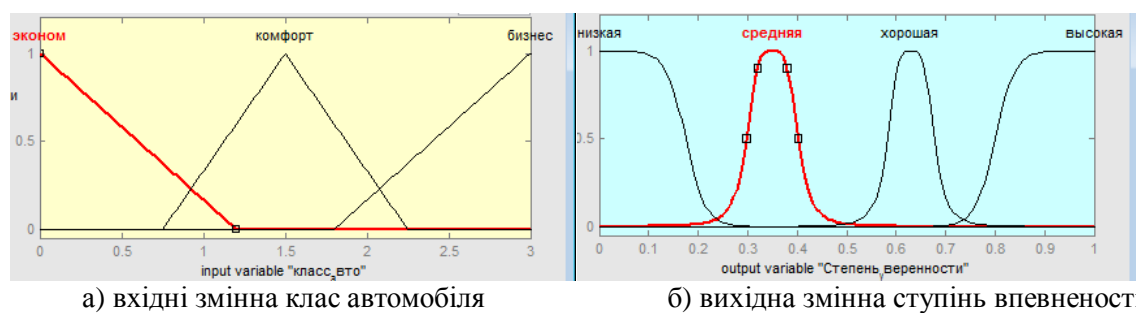


Рис. 4. Завдання лінгвістичної оцінки вхідних і вихідних змінних

При визначенні функцій приналежності необхідно, щоб ступені приналежностей кордонів інтервалу крайнім термам були наближені до одиниці. Таким чином буде виконуватися правило, чим менше (більше) значення змінної, тим більшою мірою воно відповідає крайньому терму "низький" ("високий") [11].

Причинно-наслідкові зв'язки між значеннями вхідних параметрів і вихідних даних формалізуються в сукупності нечітких логічних правил. Нечітка база знань з інформацією про залежність «вхід - вихід» містить лінгвістичні правила, приклади яких представлені нижче:

1. ЯКЩО $\beta_1 = \text{«комфорт»}$ ТА $\beta_3 = \text{«низька»}$ ТА $\beta_4 = \text{«низька»}$ ТА $\beta_2 = \text{«близько»}$ ТА $\beta_5 = \text{«відмінний»}$ ТО $\omega_1 = \text{«висока»}$.
2. ЯКЩО $\beta_1 = \text{«економ»}$ ТА $\beta_3 = \text{«середня»}$ ТА $\beta_4 = \text{«висока»}$ ТА $\beta_2 = \text{«далеко»}$ ТА $\beta_5 = \text{«середній»}$ ТО $\omega_1 = \text{«низька»}$.

Правила задаються експертами на основі суб'єктивних переваг і не носять випадкового характеру. При дослідженні нечіткої моделі використовується режим перегляду правил. Отримати значення необхідної вихідної змінної можна, задавши конкретне значення вхідних змінних.

Щоб виконати оцінку побудованої системи нечіткого виведення для завдання визначення ступеня впевненості в оптимальності поїздки необхідно ввести значення вхідних змінних для окремого випадку: клас автомобіля – «комфорт», розташування водія щодо клієнта – «близько», ціна поїздки – «низька», ціна подачі – «низька», рейтинг водія – «високий».

Наприклад, процедура нечіткого виведення для розробленої нечіткої моделі видає результат 0.811, який інтерпретується в ступінь впевненості в оптимальності поїздки - «високий»

Експеримент з перевірки адекватності нечіткої моделі вибору оптимальної поїздки.

Було проведено експеримент, в якому було створено 54 ситуації, з них 17 раз був використаний «економ клас» автомобіля, 20 раз «комфорт клас» і 17 разів «бізнес клас». Було проведено перебір всіх значень всіх вхідних змінних: ціна поїздки, ціна подачі, розташування водія щодо клієнта, рейтинг водія. Кожна створена ситуація оцінювалася не тільки системою, але і пропонувалася для оцінки експертам.

Для аналізу результату були розбиті на чотири групи: 1 група – поїздки з низьким ступенем впевненості [0; 0,25]; 2 група – поїздки із середнім ступенем впевненості [0,25; 0,5]; 3 група – поїздки з хорошим ступенем впевненості [0,5; 0,75]; 4 група – поїздки з високим ступенем впевненості в оптимальності [0,75; 1].

Щоб оцінити різницю між оцінкою експерта та результатами, що видає нечітка система вибору оптимальної поїздки була розрахована середня абсолютна помилка, значення якої наведено в таблиці 2.

Таблиця 2. Оцінка результатів експерименту

| Розбиття отриманих даних на групи | Кількість значень в групі | MAE |
|-----------------------------------|---------------------------|--------|
| 1 група | 7 | 0,019 |
| 2 група | 22 | 0,009 |
| 3 група | 11 | 0,013 |
| 4 група | 14 | 0,004 |
| Вся вибірка | 54 | 0,0095 |

Згідно з отриманими результатами можна зробити висновок про кількісну незгоду розподілу. Міра різниці (MAE) вказує на незначну відмінність значень експерта від значень, отриманих від системи. Середня абсолютна помилка як в кожній з груп, так і у всій вибірці в цілому, не перевищує значення 0,019. А якщо аналізувати вибірку в цілому, то різниця між значеннями, отриманими від експертів і від системи, не перевищує точність в 0,01. Ці дані доводять адекватність нечіткої моделі вибору оптимальної поїздки.

Висновки. Таким чином, моделювання нечіткої системи вибору оптимальної поїздки в середовищі Matlab дозволило перевірити нечітку модель вибору оптимальної поїздки. Отримані результати було порівняно з результатами, які надали експерти. У результаті аналізу виявлено, що результати, що отримані за моделлю, і результати, що отримані при опитуванні експертів, досить близькі. І навіть в разі числової відмінності не виходять за межі словесного опису оптимальності поїздки, що підтверджує середня абсолютна помилка. На підставі цього можна зробити висновок, що нечітку модель вибору оптимальної поїздки можна далі впроваджувати у інформаційну систему організації індивідуальної міської поїздки у вигляді підсистеми.

1. Пронина О. И. Анализ моделей и технологий распределения транспортных услуг / О. И. Пронина // Наукові праці Донецького національного технічного університету серія: «Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка», 2016. – №2 (23). – С. 86-90.
2. Кашканов А. А. Дослідження процесів руху транспортних засобів при гальмуванні [Електронний ресурс] / А. А. Кашканов, Ю. О. Воложинський, Я. В. Назарук // Матеріали XLVI науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ. 22-24 березня 2017 р. – Вінниця, – Електрон. текст. дані. – 2017. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2017/paper/view/2124> (дата обращения: 12.12.2017).
3. Меленчук В. М. Модель оцінки ризиків проектів/програм/портфелів транспортної логістики із застосуванням нечіткого логічного виведення / В. М. Меленчук // Збірник наукових праць «Вісник ЛДУ БЖД». Серія «Управління проектами і програмами», 2016. – №13. – С. 48 – 55.
4. Kondratenko G. V., Kondratenko N. Y, Kondratenko Y. P. Fuzzy Knowledge Based System for Planning and Optimization of Tanker-Refueler Routes Minsk: Publishing Center of BSU, Pattern recognition and information processing, 2016, p. 93 – 98
5. Нефёдова Я. И. Моделирование процессов управления в производственно-транспортной системе / Я. И.

- Нефёдова, Ю. В. Булгакова // Вестник Приазовского государственного технического университета. Серия: Технические науки, 2013. – №.27. – С. 205 – 2012.
6. Формальчик С. Ю. Застосування нечіткої логіки та генетичних алгоритмів у моделях пасажирських пересувань / С. Ю. Формальчик, А. Б. Білоус, І. А. Демчук // Автомобильный транспорт: сб. науч. тр. / М-во образования и науки Украины, ХНАДУ; [редкол.: Туренко А. Н. (гл. ред.) и др.]. – Харьков, 2014. – № 35. – С. 122 – 127.
 7. Fornalchuk Ye., Bilous A., Demchuk I. The Model of Correspondence of Passenger Transportation on the Basis of Fuzzy Logic Econtechmod. an international quarterly journal – 2015, Vol. 04, No. 2, pp. 59 – 64.
 8. Леоненков А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А. В. Леоненков. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.
 9. Каргин А. А. Введение в интеллектуальные машины. Книга 1. Интеллектуальные регуляторы / А. А. Каргин. – Донецк: Норд-Пресс, ДонНУ, 2010. – 526 с.
 10. Пронина О. И. Формализованное представление индивидуальной городской поездки на основе лингвистических переменных / О. И. Пронина // Вісник Харківського національного університету Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба «Системи обробки інформації», 2017. – № 1 (151). – С. 39-47.
 11. Сибикина И.В., Квятковская И.Ю. Построение лингвистических шкал в целях выявления важных дисциплин, формирующих компетенцию // Вестник АГТУ. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2012. – № 2. – С. 182–186.