

Секція 9.
КОМП'ЮТЕРНЕ ПРОЄКТУВАННЯ
ТА МОДЕЛЮВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ.
СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЄКТУВАННЯ
В ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМАХ ТРАНСПОРТНИХ
ЗАСОБІВ. КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕНЕРГЕТИЧНИХ
СИСТЕМАХ І МАШИНАХ

УДК 621.486

СТРУКТУРНО-ЛОГІЧНА СХЕМА ІНФОРМАЦІЙНОЇ
ТЕХНОЛОГІЇ ВИБОРУ СЕНСОРНИХ ВУЗЛІВ ДЛЯ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ПАРКУВАЛЬНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ
МЕТОДІВ FUZZY BWM І FUZZY MARCOS

Кононихін Олександр Сергійович, канд. техн. наук, доцент каф. АКІТ,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
e-mail: makonon@i.ua, ORCID ID 0000-0002-6396-6836

Малік Денис Олегович, аспірант,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
e-mail: makonon@i.ua, ORCID ID 0009-0001-5863-2241

Моїсеєнко Ростислав Сергійович, аспірант,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
e-mail: makonon@i.ua, ORCID ID 0009-0004-3720-7731

Стрімка урбанізація та збільшення кількості транспортних засобів у сучасних мегаполісах загострюють проблему дефіциту паркувального простору. Це призводить до ускладнення дорожнього руху, підвищення рівня викидів вихлопних газів та економічних втрат. Вирішення цієї проблеми лежить у площині впровадження концепції «Розумного міста», невід'ємною складовою якої є інтелектуальні паркувальні системи (ІПС).

Основою будь-якої ІПС є мережа сенсорних вузлів, що здійснюють безперервний моніторинг стану паркомісць (вільно/зайнято) у режимі реального часу. На сучасному ринку представлено широкий спектр апаратних рішень: магнітометри, ультразвукові та інфрачервоні датчики, системи відеоаналітики тощо. Кожна з цих технологій має власні переваги та недоліки, що робить процес вибору оптимального обладнання для конкретного інфраструктурного об'єкта нетривіальною інженерною задачею [1].

Вибір типу сенсорного вузла для ІПС є класичною задачею багатокритеріального прийняття рішень. Системний архітектор або особа, що приймає рішення (ОПР), повинна враховувати цілий комплекс суперечливих критеріїв: капітальні витрати на закупівлю, складність монтажу та обслуговування, енергоспоживання (час автономної роботи), точність детекції за різних погодних умов, а також затримку передачі даних.

Складність вирішення цієї задачі поглиблюється тим, що експертні оцінки характеристик обладнання часто є суб'єктивними, неповними або лінгвістично невизначеними (наприклад, «висока надійність», «помірне енергоспоживання»). Традиційні методи багатокритеріальної оцінки не здатні адекватно обробляти таку невизначеність.

Тому актуальним є розробка інформаційної технології, яка використовує апарат нечіткої логіки. Зокрема, інтеграція сучасного методу Fuzzy BWM (Best-Worst Method) [2] для розрахунку вагових коефіцієнтів критеріїв дозволяє значно знизити когнітивне навантаження на експертів та підвищити узгодженість їхніх оцінок порівняно з класичним методом аналізу ієрархій. Водночас застосування методу Fuzzy MARCOS [3] забезпечує високу стабільність фінального ранжування альтернатив навіть при зміні їх кількості, шляхом обчислення корисності відносно ідеального та антиідеального розв'язків [4]. Розробка структурно-логічної схеми такої технології дозволить формалізувати та автоматизувати процес проектування ІПС.

Метою дослідження є підвищення ефективності проектування паркінгів за рахунок розробки структурно-логічної схеми інформаційної технології вибору сенсорних вузлів для інтелектуальних паркувальних систем, яка базується на комплексному застосуванні методів багатокритеріального аналізу Fuzzy BWM та Fuzzy MARCOS.

Це дозволить мінімізувати вплив суб'єктивної невизначеності експертних оцінок та підвищити наукову обґрунтованість проектних рішень при розгортанні інфраструктури розумних парковок.

На рис 1 представлена розроблена структурно-логічної схеми інформаційної технології вибору сенсорних вузлів для інтелектуальних паркувальних систем на основі методів FUZZY BWM і FUZZY MARCOS

На першому етапі відбувається формування вхідних даних, що передбачає визначення двох ключових множин. Спочатку формується множина доступних альтернатив, яка включає потенційні апаратні рішення для моніторингу паркомісць, зокрема вбудовані магнітометри, ультразвукові датчики, інфрачервоні сенсори та системи відеоаналітики. Для їх об'єктивного порівняння також визначається множина критеріїв оцінки, що охоплює такі техніко-економічні показники, як вартість вузла, його енергоспоживання, точність детекції, затримка передачі даних у мережі, складність монтажу та стійкість до несприятливих погодних умов.

Після ініціалізації вхідних даних алгоритм розгалужується на два паралельні процеси обробки експертної інформації. На другому етапі застосовується метод Fuzzy BWM для визначення важливості кожного критерію. Експерти аналітично визначають найкращий та найгірший критерії з усієї множини, після чого формують вектори парних порівнянь найкращого до інших та інших до найгіршого, використовуючи лінгвістичні змінні, виражені трикутними нечіткими числами. Результатом цього етапу є обчислений вектор оптимальних нечітких ваг критеріїв.

Паралельно з цим, на третьому етапі здійснюється нечітке оцінювання самих альтернатив. Група експертів надає свої оцінки щодо кожної характеристики сенсорних вузлів за обраними критеріями. Оскільки оцінки різних експертів можуть відрізнятися, проводиться їх агрегування шляхом усереднення трикутних нечітких чисел. Виходом цього етапу є сформована початкова нечітка матриця рішень, яка відображає узагальнене бачення характеристик обладнання.

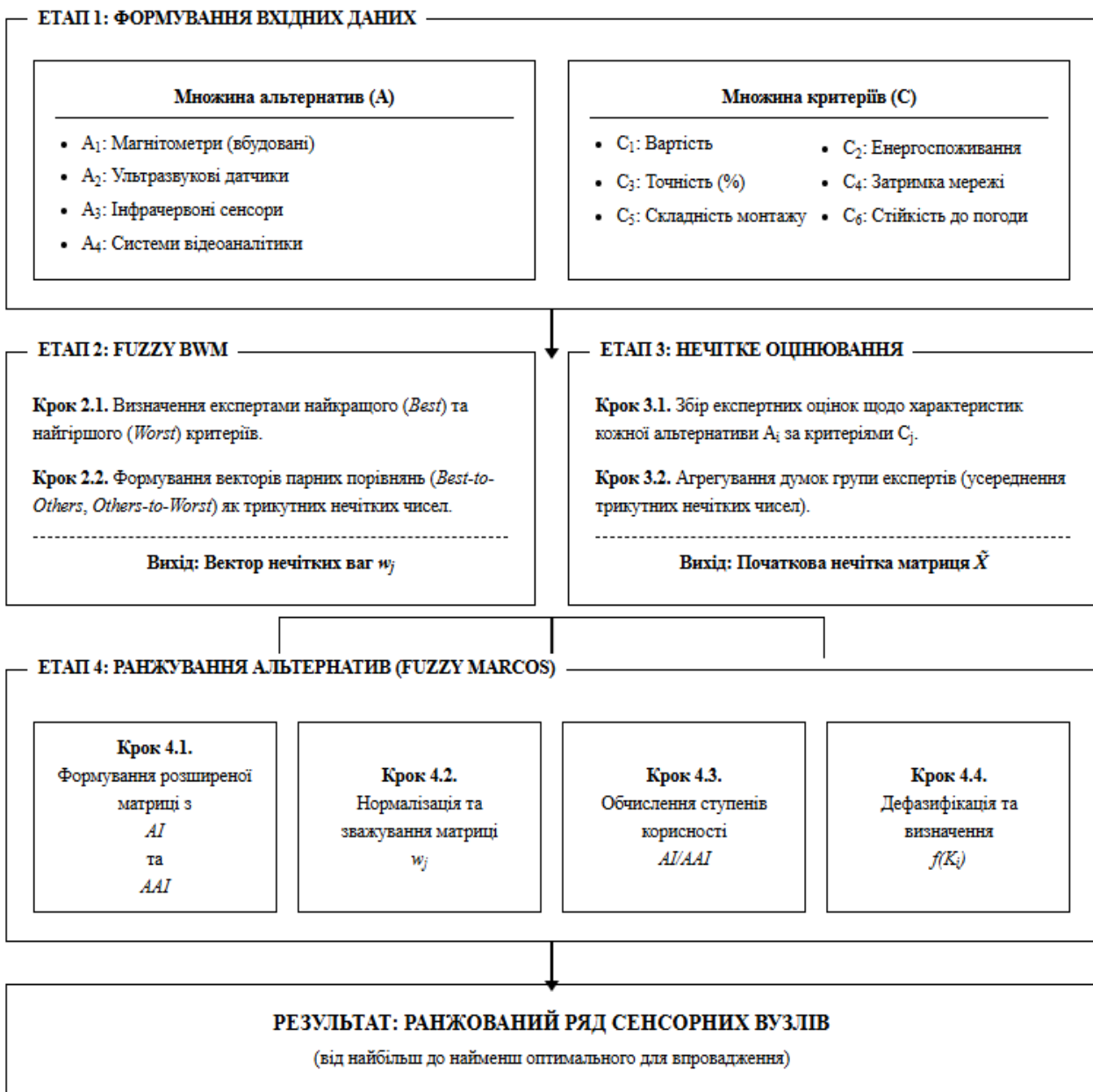


Рисунок 1 – Структурно-логічна схема інформаційної технології вибору сенсорних вузлів для інтелектуальних паркувальних систем на основі методів Fuzzy BWM і Fuzzy MARCOS

Четвертий етап об'єднує результати попередніх обчислень для остаточного ранжування альтернатив за допомогою методу Fuzzy MARCOS. Проце-

дура розпочинається з розширення початкової матриці шляхом додавання векторів ідеального та антиідеального розв'язків. Далі виконується нормалізація значень та їх зважування з використанням вектора нечітких ваг, отриманого на другому етапі.

Після цього розраховуються ступені корисності кожної альтернативи відносно опорних ідеального та антиідеального значень. Етап завершується деагрігацією отриманих результатів та обчисленням фінальної функції корисності для кожної моделі сенсора.

Результатом виконання всіх кроків інформаційної технології є сформований ранжований ряд сенсорних вузлів. Альтернативи розташовуються у порядку спадання їхньої функції корисності, тобто від найбільш оптимального варіанту до найменш придатного. Це надає системним архітекторам та особам, що приймають рішення, математично обґрунтований інструментарій для вибору найкращого обладнання при розгортанні інфраструктури розумних парковок.

Висновки

У дослідженні розроблено структурно-логічну схему інформаційної технології вибору сенсорних вузлів для інтелектуальних паркувальних систем. Складну багатокритеріальну задачу вирішено шляхом інтеграції методів Fuzzy BWM та Fuzzy MARCOS, що дозволило об'єктивно врахувати техніко-економічні характеристики обладнання.

Практична цінність технології полягає у створенні математично обґрунтованого інструментарію для системних архітекторів проектів Smart City, що дозволяє оптимізувати витрати при розгортанні IoT-інфраструктури.

Література

1. **Кононихін О. С., Малік Д. О., Моїсєєнко Р. С.** Нечітка модель підтримки прийняття рішень для сенсорної мережі міського паркінгу. *Наука і техніка сьогодні*. 2025. № 13 (54). С. 2272–2283.
2. **Stević Ž., Pamučar D., Puška A.** Sustainable supplier selection in healthcare industries using a new MCDM method: Measurement of alternatives and ranking according to Compromise solution (MARCOS). *Computers & Industrial Engineering*. 2020. Vol. 140. 106231.
3. **Rezaei J.** Best-worst multi-criteria decision-making method. *Omega*. 2015. Vol. 53. P. 49–57.
4. **Kumar S. et al.** Application of Integrated BWM Fuzzy-MARCOS Approach for Coating Material Selection in Tooling Industries. *Materials*. 2022. Vol. 15. 9002. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma15249002>.