

ШАРКАДІ МАРІАННА

Ужгородський національний університет

<https://orcid.org/0000-0002-1850-996X>e-mail: marianna.sharkadi@uzhnu.edu.ua

ДОРОВЦІ АДАМ

Закарпатський угорський інститут ім. Ференца Ракоці II,

Ужгородський національний університет

<https://orcid.org/0000-0003-4038-4945>e-mail: adam.dorovtsi@uzhnu.edu.ua

НЕЧІТКА МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦІНКИ СКЛАДОВОЇ СОЦІАЛЬНОЇ БЕЗПЕКИ – ДОБРОБУТУ НАСЕЛЕННЯ

Останнім часом питання соціальної безпеки привертає увагу багатьох дослідників. У даному дослідженні розглянуто одну з основних складових соціальної безпеки - добробут населення. Як і соціальна безпека, питання добробуту населення також є предметом низки наукових досліджень. У даній роботі розглядається визначення рівня добробуту населення України у порівнянні з країнами-членами Організації економічного співробітництва та розвитку. В рамках даного дослідження побудовано нечітку математичну модель, яка враховує три аспекти добробуту населення: економічний добробут, соціальний добробут та екологічний добробут. У ході дослідження використано додаток Fuzzy Logic Designer програмного пакету Matlab. З метою більш зрозумілого та прозорого представлення результатів дослідження побудовано FIS-дерево, в якому аспекти добробуту населення представлені окремо. Загалом у процесі дослідження побудовано 15 систем нечіткого виводу.

Ключові слова: математичне моделювання, нечіткі множини, нечітке моделювання, система нечіткого виводу, добробут населення, економічний добробут, соціальний добробут, екологічний добробут.

SHARKADI MARIANNA

Uzhgorod National University

DOROVTSI ADAM

Transcarpathian Hungarian Institute named after Ferenc Rakoczi II,

Uzhgorod National University

A FUZZY MODEL FOR ASSESSING THE COMPONENT OF SOCIAL SECURITY - THE WELL-BEING OF THE POPULATION

Recently, the issue of social security has attracted the attention of many researchers. Social processes are often characterized by a high degree of uncertainty, incomplete data and subjective assessments, which makes it difficult to accurately measure the level of well-being using classical approaches. In view of this, the use of fuzzy sets is an effective approach for modeling socio-economic indicators, where exact boundaries between different levels of well-being cannot be determined. This study examines one of the main components of social security - the well-being of the population. Similar to social security, the issue of population well-being is also the subject of a number of scientific studies. This paper examines the determination of the level of well-being of the population of Ukraine in comparison with the member countries of the Organisation for Economic Co-operation and Development. This study builds a fuzzy mathematical model that takes into account three aspects of human well-being: economic well-being, social well-being and environmental well-being. In the Matlab software, the stages of implication and aggregation are performed automatically, after selecting the appropriate methods. For the defuzzification stage, the center of gravity method is chosen. The Fuzzy Logic Designer application of the Matlab software package was used in the study. After constructing the membership functions, a knowledge base is built for each fuzzy inference system. In general, the built system consists of 307 logical rules of the "If-then" type. Matlab software implements two fuzzy logic inference algorithms - the Mamdani-type algorithm and the Sugeno-type algorithm. In the course of the study, Mamdani-type algorithm was used.

In order to present the results of the study in a more understandable and transparent way, a FIS-tree was built, in which the aspects of well-being are presented separately. In total, 15 fuzzy inference systems were built in the course of the study.

Keywords: mathematical modelling, fuzzy sets, fuzzy modelling, fuzzy inference system, population welfare, economic welfare, social welfare, environmental welfare.

Вступ

Рівень добробуту населення є однією з ключових складових соціальної безпеки. Добробут населення є багатограничним явищем, тому при визначенні рівня добробуту населення, потрібно врахувати різні аспекти цього явища. Індекс кращого життя ОЕСР досліджує рівень добробуту на основі наступних індикаторів: дохід, житло, робота, громада, освіта, навколишнє середовище, участь у суспільному житті, здоров'я, задоволеність життям, безпека. Для більшої прозорості і зрозумілості в ході дослідження розроблено ієрархічну модель для визначення рівня добробуту населення на основі вищезгаданих індикаторів.

Соціальні процеси часто характеризуються високим ступенем невизначеності, неповноти даних та суб'єктивних оцінок, що ускладнює точне вимірювання рівня добробуту за допомогою класичних підходів. З огляду на це, використання нечітких множин є ефективним підходом для моделювання соціально-економічних показників, де точні границі між різними рівнями добробуту не можуть бути визначені. Нечітка логіка дозволяє працювати з якісними та кількісними даними, які мають розмиті границі, і таким чином створює можливість оцінки показників, що враховують багатозначність та нечіткість соціальних явищ. Нечіткі множини надають інструменти для більш гнучкого підходу до аналізу добробуту, де градації між "високим", "середнім" та "низьким" рівнем не є різко визначеними, а можуть плавно переходити одна в іншу.

Основною метою даного дослідження є розробка моделі для визначення рівня добробуту населення з використанням нечітких множин. В рамках дослідження розглянуто методологію застосування нечітких систем для обробки даних, що характеризують рівень добробуту, зокрема показники економічного добробуту, соціального добробуту та екологічного добробуту. Такий підхід дозволить врахувати складність і багатогранність поняття добробуту, що є важливим для розробки більш точних і адаптивних соціальних політик.

Аналіз досліджень і публікацій

У своєму дослідженні Баженова О., Варналій З., та Чеберяк О. оцінюють соціальну безпеку на основі п'яти індикаторів: рівень забезпечення життєдіяльності, рівень добробуту, рівень соціального забезпечення, рівень захисту і самозбереження та рівень освіти і саморозвитку [1]. Гончаренко О.Г. у своїй роботі розглядає рівень життя одним з ключових індикаторів при аналізі соціальної безпеки [2]. Вищезгадані дослідження базуються на основі класичних методів. У ході даного дослідження запропонована нечітка модель для визначення рівня добробуту населення.

Сучасні дослідження свідчать, що добробут — це багатовимірне поняття, яке охоплює фізичні, психічні, економічні, соціальні та емоційні аспекти благополуччя. Як зазначено в дослідженні [3], добробут залежить від таких чинників, як рівень доходів, освіта, стан здоров'я, соціальні взаємини, зайнятість, а також державна політика. Ці фактори впливають як на індивідуальний рівень добробуту, так і на загальний рівень добробуту суспільства.

Наукові дослідження, що присвячені застосуванню нечітких множин для оцінки добробуту населення, вже набули значного поширення. Наприклад, у роботі [4] було проаналізовано рівень добробуту населення України в умовах пандемії COVID-19, причому акцент робився переважно на економічних показниках. В іншому дослідженні [5] добробут українського населення оцінювався за допомогою шести індикаторів, серед яких були показники, пов'язані з екологією та освітою. Крім того, нечіткі множини знаходять застосування не тільки у вітчизняних, але й у міжнародних соціологічних дослідженнях. Наприклад, у роботі [6] проаналізовано вплив економічних криз на здоров'я населення із застосуванням нечіткої логіки.

У попередніх опублікованих нами працях досліджено економічний добробут, соціальний добробут та екологічний добробут відповідно [7,8,9]. В ході даного дослідження об'єднано результати вищезгаданих досліджень, та побудовано системи нечіткого виводу для визначення рівня добробуту населення України у порівнянні з країнами-членами ОЕСР.

Постановка проблеми дослідження.

У роботі розглядається процес визначення рівня стану «добробут населення», тобто його оцінка. Для того, щоб оцінити добробут населення, вищезазначені показники згруповано, щоб зробити математичне моделювання більш прозорим і зрозумілим з використанням нечітких множин.

Запропоновано наступне групування індикаторів:

- 1) Економічні індикатори
 - a) Дохід
 - b) Житло
 - c) Робота
- 2) Соціальні індикатори
 - a) Громада
 - b) Освіта
 - c) Участь у суспільному житті
 - d) Здоров'я
 - e) Задоволеність життям
 - f) Безпека
- 3) Навколишнє середовище

В ході дослідження побудовано окремі системи нечіткого виводу для кожного індикатора та показника. В результаті загалом побудовано 15 систем нечіткого логічного виводу.

Результати досліджень.

На основі зазначеного групування побудовано ієрархічну структуру, яка подається на рис.1.

Після побудови ієрархічної структури в додатку Fuzzy Logic Designer програмного забезпечення Matlab побудовано FIS-дерево, яке складається з 15 систем нечіткого логічного виводу, а саме:

- Економічні індикатори – складається з трьох систем нечіткого виводу (дохід, житло, робота).
- Соціальні індикатори – як видно з рис.1 до даної системи відносяться такі індикатори, як освіта, здоров'я, безпека, громада, участь у суспільному житті, задоволеність життям. Дані індикатори також було поділено на дві підсистеми: базові потреби для життя (освіта, здоров'я, безпека) та громадські та соціальні зв'язки (громада, участь у суспільному житті, задоволеність життям). Усього дана система складається з восьми підсистем.
- Екологічні індикатори розглядаються в окремій системі нечіткого виводу.

- В програмному забезпеченні Matlab реалізовано два алгоритми нечіткого логічного виводу – алгоритм типу Мамдані та алгоритм типу Сугено. В ході дослідження використано алгоритм типу Мамдані. Алгоритм Мамдані складається з наступних етапів.

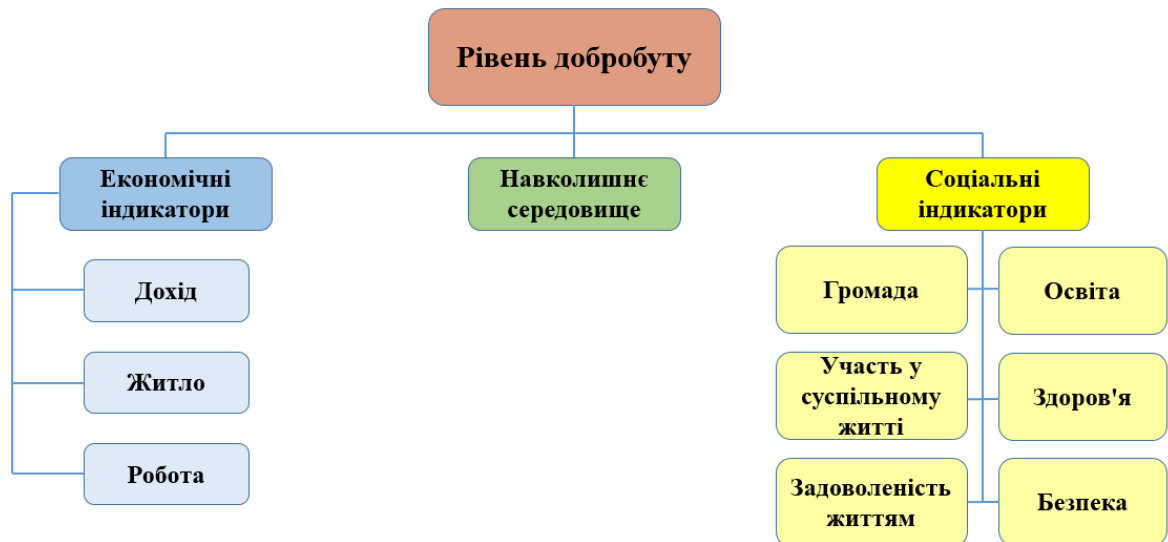


Рис. 1. Ієрархічна структура для оцінювання рівня добробуту. Побудовано авторами [6]

- 1) Фазифікація – приведення до нечіткості. Вхідні змінні описуються нечіткими поняттями, наприклад «низький», «середній» чи «високий» відповідно до можливих значень [9].
- 2) Побудова бази знань. База знань складається з нечітких логічних правил типу «Якщо-то».
- 3) Оцінка правил – в алгоритмі Мамдані для обробки правил використовується операція мінімуму (min), яка "обрізає" функцію належності на рівні, що відповідає ступеню істинності умови правила [9].
- 4) Агрегація (композиція). На цьому етапі результати з усіх активованих правил об'єднуються. Функції належності вихідних змінних "обрізаються" і комбінуються, утворюючи єдиний нечіткий вихідний набір. Для об'єднання результатів використовується операція максимуму [9].
- 5) Дефазифікація – приведення до чіткості.

На рис.2 показано графічна інтерпретація побудованого FIS-дерева.

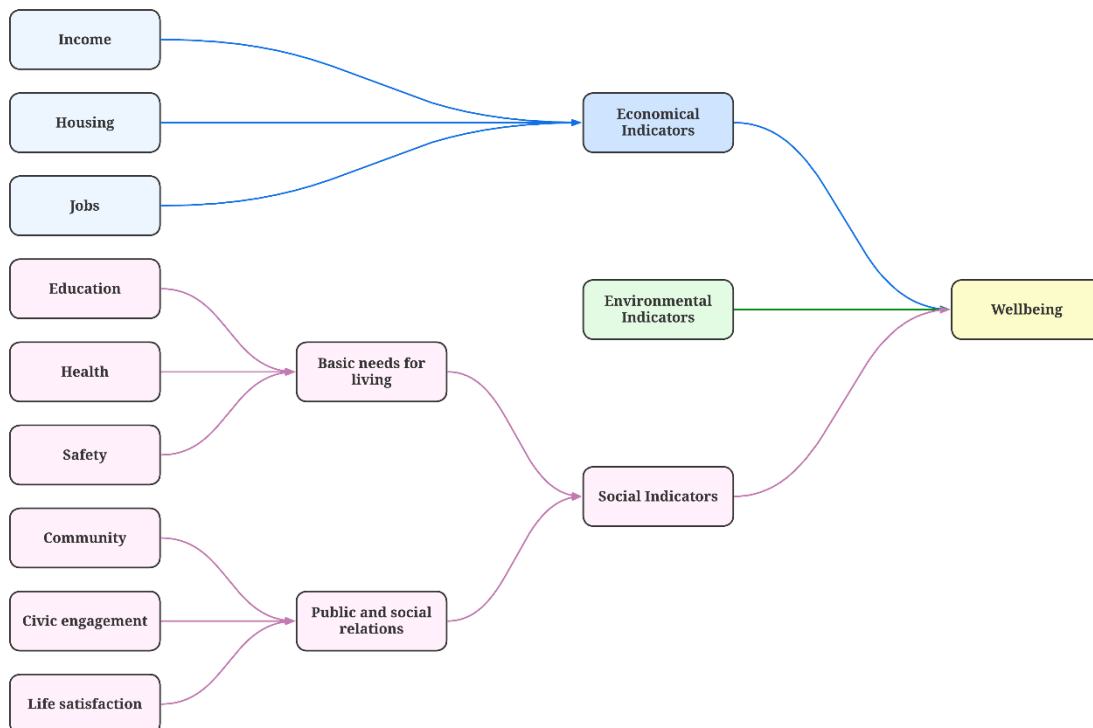


Рис. 2. Графічна інтерпретація побудованого FIS-дерева

Перед визначенням функцій належності наявні дані були прокласифіковані по квартилям. Після класифікації для кожної з систем нечіткого виводу визначено функції належності, якими описуються вхідні та вихідні дані. Для даних, що відносяться до категорії «низький» запропоновано лінійну z-подібну функцію належності, яка описується наступною формулою:

$$f(x, a, b) = \begin{cases} 1, & x \leq a; \\ \frac{b-x}{b-a}, & a < x < b; \\ 0, & b \leq x. \end{cases}$$

Для даних, що відносяться до категорії «середній» запропоновано трикутну функцію належності, яка описується наступною формулою:

$$f(x, a, b, c) = \begin{cases} 0, & x \leq a; \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b; \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c; \\ 0, & c \leq x. \end{cases}$$

Для даних, що відносяться до категорії «високий» запропоновано лінійну s-подібну функцію належності, яка описується наступною формулою:

$$f(x, a, b) = \begin{cases} 1, & x \leq a; \\ \frac{x-a}{b-a}, & a < x < b; \\ 0, & b \leq x. \end{cases}$$

На рис. 3. показана графічна інтерпретація даних функцій належності.

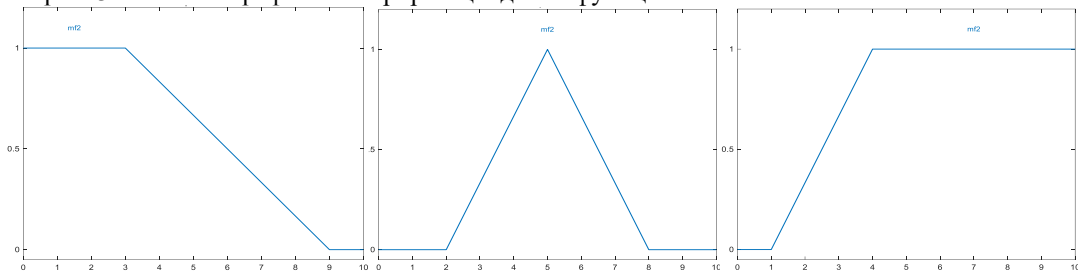


Рис. 3. Графічна інтерпретація лінійної z-подібної, трикутної та лінійної s-подібної функції належності

Після побудови функцій належності будується база знань для кожної системи нечіткого виводу. Загалом побудована система складається з 307 логічних правил типу «Якщо-то».

В програмному забезпеченні Matlab етапи імплікації та агрегації проводяться автоматично, після вибору відповідних методів. Для етапу дефазифікації обрано метод центру ваги. В таблиці 1 наведено результати всіх систем нечіткого виводу.

Таблиця 1

Результати побудованих систем нечіткого виводу (СНВ).

Назва СНВ.	Результат СНВ
Дохід	3.11
Житло	4
Робота	5
Освіта	3.27
Здоров'я	3.03
Безпека	3.89
Громада	4.29
Участь у суспільному житті	5
Задоволеність життям	1.7
Базові потреби для життя	3.64
Громадські та соціальні зв'язки	4
Економічні індикатори	4.32
Соціальні індикатори	3.8
Екологічні індикатори	6.36
Добробут	5

Висновки

В ході дослідження, використовуючи нечітку логіку, запропоновано просте рішення для аналізу такої багатогранної проблеми, як добробут населення. Побудована модель пройшла апробацію на реальних статистичних даних. Вхідними даними для такої апробації були статистичні дані по Україні. На основі цих даних та роботи моделі виявлено, що добробут населення України є «середнім» порівняно з добробутом населення країн-членів ОЕСР.

Подяка

Роботу виконано в рамках держбюджетної науково-дослідної теми Ужгородського національного університету “Методи обчислювального інтелекту для обробки і аналізу даних” (номер державної реєстрації 0121U109279).

Література

1. Баженова, О. В., Варналій, З. С., & Чеберяко, О. В. (2023). Соціальна безпека людини в умовах військової агресії: індикатори та оцінювання (на прикладі України). Проблеми Сучасних Трансформацій. Серія: Економіка Та Управління, (8). doi:10.54929/2786-5738-2023-8-07-02
2. Гончаренко О.Г., Академія Державної пенітенціарної служби, Чернігів, Україна. (2022). Соціальна безпека та оцінка її структури. Науковий вісник Сіверщини. Серія: Освіта. Соціальні та поведінкові науки, 2022(1), 81–90. doi:10.32755/sjeducation.2022.01.081
3. Kozlovskiy, S., Petrunenko, I., Baidala, V., Myronchuk, V., Kulinich, T. (2021). Assessment of public welfare in ukraine in the context of the covid-19 pandemic and economy digitalization. Problems and Perspectives in Management. 19. 416-431. doi: 10.21511/ppm.19(1).2021.35.
4. Pryimak, V., Holubnyk, O., Ucieklak-Jez, P., Kubicka, J., Urbanska, K., Babczuk, A. (2021). Fuzzy Technologies Modeling the Level of Welfare of the Population in the System of Effective Management. European research studies journal. XXIV. 749-762. doi: 10.35808/ersj/2382.
5. Saltkjel T, Ingelsrud MH, Dahl E, Halvorsen K. (2017). A fuzzy set approach to economic crisis, austerity and public health. Part I. European countries' conformity to ideal types during the economic downturn. Scandinavian Journal of Public Health. 45(18_suppl):41-47. doi:10.1177/1403494817706632
6. Шаркаді, М. М., & Доровці, А. Ф. (2024). Використання нечітких моделей у соціологічних дослідженнях. Науковий вісник Ужгородського університету. Серія «Математика і інформатика», 44(1), 175–181. doi: 10.24144/2616-7700.2024.44(1).175-181
7. Sharkadi, M., & Dorovtsi, A. (2024). Building a fuzzy model for determining the level of social well-being of the population. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4(4 (130), 35–45. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.310142>
8. Sharkadi, M., & Dorovtsi, A. (2024). Fuzzy modelling of the environmental component of social security. Вісник Черкаського Державного Технологічного Університету, 29(2), 70–78. doi:10.62660/bcstu/2.2024.70
9. Зінов'єва О. Г., Лубко Д. В. (2022). Алгоритм Мамдані в системах нечіткого виведення. Сучасні комп'ютерні та інформаційні системи і технології : матеріали III Всеукраїнської наук.-практ. інтернет-конф. (Запоріжжя, 12-19 грудня 2022 р.). Запоріжжя : ТДАТУ, 2022. С. 74-79.

References

1. Bazhenova O. V., Varnalyy Z. S., & Cheberyako O. V. (2023). Human Social Security Under Military Aggression Conditions: Indicators and Evaluation (Case of Ukraine). Problems of Modern Transformations. Series: Economics and Management, (8). <https://doi.org/10.54929/2786-5738-2023-8-07-02>
2. Honcharenko, O. G., & Academy of the State Penitentiary Service, Chernihiv, Ukraine. (2022). Social security and assessment of its structure. Scientific Herald of Sivershchyna. Series: Education. Social and Behavioural Sciences, 2022(1), 81–90. doi:10.32755/sjeducation.2022.01.081
3. Kozlovskiy, S., Petrunenko, I., Baidala, V., Myronchuk, V., Kulinich, T. (2021). Assessment of public welfare in ukraine in the context of the covid-19 pandemic and economy digitalization. Problems and Perspectives in Management. 19. 416-431. doi: 10.21511/ppm.19(1).2021.35.
4. Pryimak, V., Holubnyk, O., Ucieklak-Jez, P., Kubicka, J., Urbanska, K., Babczuk, A. (2021). Fuzzy Technologies Modeling the Level of Welfare of the Population in the System of Effective Management. European research studies journal. XXIV. 749-762. doi: 10.35808/ersj/2382.
5. Saltkjel T, Ingelsrud MH, Dahl E, Halvorsen K. (2017). A fuzzy set approach to economic crisis, austerity and public health. Part I. European countries' conformity to ideal types during the economic downturn. Scandinavian Journal of Public Health. 45(18_suppl):41-47. doi:10.1177/1403494817706632
6. Sharkadi, M. M., & Dorovtsi, A. F. (2024). Fuzzy models' use in sociological researches. Scientific Bulletin of Uzhhorod University. Series of Mathematics and Informatics, 44(1), 175–181. [https://doi.org/10.24144/2616-7700.2024.44\(1\).175-181](https://doi.org/10.24144/2616-7700.2024.44(1).175-181)
7. Sharkadi, M., & Dorovtsi, A. (2024). Building a fuzzy model for determining the level of social well-being of the population. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4(4 (130), 35–45. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.310142>
8. Sharkadi, M., & Dorovtsi, A. (2024). Fuzzy modelling of the environmental component of social security. Вісник Черкаського Державного Технологічного Університету, 29(2), 70–78. doi:10.62660/bcstu/2.2024.70
9. Zinovieva OG, Lubko DV (2022). Mamdani algorithm in fuzzy inference systems. Modern computer and information systems and technologies : materials of the III All-Ukrainian scientific and practical Internet conference (Zaporizhzhia, 12-19 December 2022). Zaporizhzhia: TDA TU, 2022. С. 74-79.