

## РОЗРОБЛЕННЯ АЛГОРИТМУ НЕЧІТКОГО ВИВОДУ MATLAB ДЛЯ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В УМОВАХ НЕВИ- ЗНАЧЕНОСТІ ДЛЯ ПРОЕКТОВАНИХ ОБ'ЄКТІВ

<sup>1</sup> Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського

*Запропоновано метод прийняття рішень в умовах невизначеності при проектуванні об'єктів. Невизначеність виникає у відкритих завданнях прийняття рішень, у яких децидент не знає всієї сукупності чинників, що діють. Ситуація невизначеності характеризується тим, що вибір конкретного плану дій може зумовити будь-який результат із певної множини варіантів, але ймовірності впливу випадкових факторів невідомі. Метою статті є створення алгоритму нечіткого виводу для прийняття рішень в умовах невизначеності при проектуванні об'єктів у середовищі Matlab. Дослідження ґрунтується на використанні методу прийняття рішень за допомогою лінгвістичної змінної, що сприяє підвищенню прийняття ефективного рішення в новій складній ситуації при проектуванні об'єктів. Для реалізації поставленої мети використано два типи алгоритмів Мамдані та Сугено у пакеті Fuzzy Logic Matlab. Для побудови нечіткої бази знань використовувались дані попередніх досліджень, а саме індекси та кількісні показники впливу проектуваного об'єкта на складові навколишнього середовища (повітря, поверхневі води, ґрунти). Побудовані експертні правила «ЯКЩО-ТО» для обох алгоритмів (Мамдані та Сугено). В результаті отримані числові значення шуканих величин – індекси оцінювання впливів на навколишнє середовище проектуваних об'єктів. Використаний метод прийняття рішень, що заснований на моделях нечіткого логічного виводу, є ефективними при оцінюванні впливів промислових об'єктів на складові навколишнього середовища, але складніше формалізуються порівняно з числовими методами, які не потребують від проектувальника володіння навичками у специфічному програмному середовищі.*

**Ключові слова:** нечіткий вивід, невизначеність, Fuzzy Logic Matlab, нечітка база знань.

### Вступ

Прийняття рішень – процес, необхідний для виконання будь-якої управлінської функції. Рішення можуть прийматися за допомогою інтуїції, судження або методом прийняття рішень. У формулюванні задачі прийняття рішень реальна ситуація відображається за допомогою певної мови (в основному, мови децидента). У ситуації невідомості фактично відсутня інформація про задачу, це можливо на початковій стадії дослідження. Якщо в процесі збирання інформації на певному етапі виявляється, що зібрано не всю інформацію чи одержати її з певних причин неможливо, то невизначеність трансформується в недостовірність. Вона може набирати вигляду неповноти чи недостатності (є не вся потрібна інформація), для деяких задач є неточні описи (недовизначеність), певні елементи задачі описано лише за аналогією з уже розв'язуваними (неадекватність). Лінгвістична невизначеність виникає внаслідок використання природної мови (в окремому випадку – фахової мови децидента) для описання задачі прийняття рішень. Цей вид невизначеності зумовлений необхідністю оперувати скінченною кількістю слів і обмеженим набором структурних фраз (речень, абзаців, текстів) для описання за скінченний час нескінченної множини різноманітних ситуацій, що виникають у процесі прийняття рішень. Лінгвістична невизначеність породжена, з одного боку, множинністю значень слів (понять і відношень) мови (полісемією), а з іншого – неоднозначністю змісту фраз.

Використання методу прийняття рішень за допомогою лінгвістичної змінної сприяє підвищенню прийняття ефективного рішення в новій складній ситуації, тому такий метод є **актуальним**. На сьогодні деякі методи прийняття рішення під час оцінювання впливів об'єктів на навколишнє середовище (НС) на стадії проектування відносно рівня забруднення його складових побудовано в основному на використанні кількісних показників [1, 2].

Метою статті є створення алгоритму нечіткого виводу для прийняття рішень в умовах невизначеності при проектуванні об'єктів у середовищі Matlab.

### Постановка задачі

При наявності вихідних даних про об'єкт дослідження (лінгвістична змінна, функція бажаності) побудувати нечітку базу знань для реалізації алгоритмів нечіткого логічного виводу для об'єкта проектування.

Для розв'язання задачі використаємо сучасний метод прийняття рішень в умовах невизначеності (недостатньої вихідної інформації під час проектування), тобто метод нечіткого логічного виводу. Нечіткий логічний вивід – апроксимація залежності «вхід-вихід» на основі лінгвістичних висловлювань типу «ЯКЩО-ТО» та операцій над нечіткими множинами. Методи прийняття рішень у разі оцінювання впливів об'єктів на НС можуть бути розроблені із використанням лінгвістичної змінної моделей нечіткого логічного виводу.

У пакеті Fuzzy Logic Toolbox MATLAB реалізовано два типи нечітких алгоритмів – типу Мамдані й типу Сугено [3]. Ці моделі відрізняються форматом бази знань і процедурою дефазифікації. Нечіткий логічний висновок по алгоритму Сугено виконується по нечіткій базі знань, але висновки правил  $d_j$  у алгоритмі Мамдані задаються нечіткими термами, а у алгоритмі Сугено – функцією від входів. Нечіткий логічний висновок по моделі Мамдані виконується згідно із (1):

$$\bigcup_{p=1}^{k_j} \left( \bigcap_{i=1}^n x_i = a_{i,jp} \text{ з вагою } w_{jp} \right) \rightarrow y = d_j, \quad j = \overline{1, m} \quad (1)$$

де  $a_{i,jp}$  – нечіткий терм, яким оцінюється змінна  $x_i$  у рядку з номером  $jp$  ( $p = \overline{1, k_j}$ );  $w_{jp}$  – ваговий коефіцієнт правила з порядковим номером  $jp$  число з діапазону  $[0,1]$ , що задає відносну вагу правила при нечіткому логічному висновку;  $d_j$  – нечіткий висновок  $j$ -го правила;  $m$  – кількість термів, що використовуються для лінгвістичної оцінки вихідної змінної.

Для прийняття обґрунтованих рішень у якості критерію оцінювання під час побудови алгоритмів нечіткого логічного виводу можна використати функцію бажаності побудовану для відповідної складової НС [3-4]. Входами такого алгоритму є кількісні показники, що характеризують рівень впливу об'єкту на складову НС [5], виходами – індекси, що сформовані за допомогою функції бажаності. Тобто, у таких моделях взаємозв'язок між входами  $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  та виходом  $Y$  визначається нечіткою базою знань. Нечітка система відображає залежність між якісним показником забруднення складових НС і його індексною оцінкою. Прийняття рішень відносно рівня впливу на складову НС здійснюється із сформованою шкалою бажаності. Формалізація термів здійснюється за допомогою симетричної Гаусовської функції (*gaussmf*) згідно із (2):

$$\mu(x_i, \sigma_i, c_i) = e^{-\left(\frac{x_i - c_i}{2\sigma_i}\right)^2} \quad (2)$$

де  $x_i$  – елемент універсальної множини, тобто входи моделі;  $c_i, \sigma_i$  – параметри функції приналежності, що визначаються згідно із вихідних умов (наприклад для атмосферного повітря для моделі Мамдані  $c_i = 1; \sigma_i = 0,3$ ; для моделі Сугено  $c_i = 0; \sigma_i = 0,8$ ).

Типова структура моделі на основі нечіткого логічного виводу показана на рис. 1 (Fuzzy Logic Matlab).

Нечітка модель містить наступні блоки:

1. Фазифікатор, що перетворює фіксований вектор факторів  $X$  у вектор нечітких множин  $\tilde{X}$  необхідних для виконання нечіткого логічного висновку;
2. Нечітка база знань, що містить інформацію про залежність  $Y=f(X)$  у вигляді лінгвістичних правил типу “ЯКЩО-ТО”;
3. Машина нечіткого логічного висновку, що на основі правил бази знань визначає значення змінної на виході у вигляді нечіткої множини  $\tilde{Y}$ , що відповідає нечітким значенням вихідних змінних  $\tilde{Y}$ ;
4. Дефазифікатор, що перетворює нечітку множину на виході у чітке число  $Y$ .

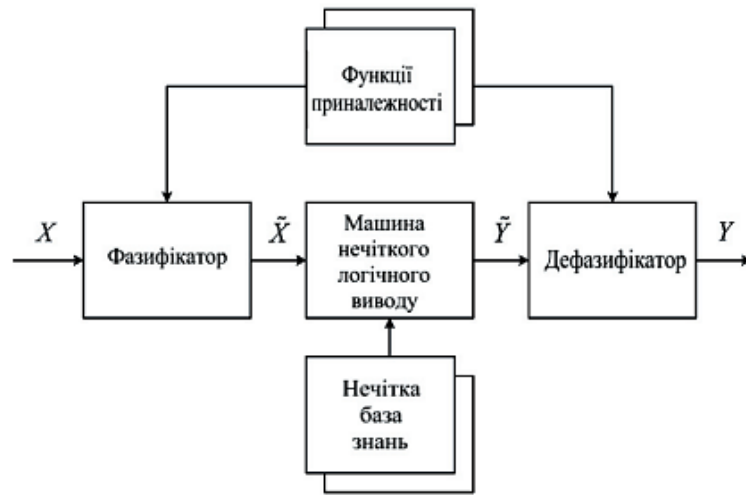


Рис. 1. Типова структура моделі нечіткого логічного виводу

### Результати дослідження

Розглядається вплив проєктованого об'єкта на такі складові НС: повітря, поверхневі води, ґрунти. У таблиці 1 представлено нечітку базу знань для реалізації алгоритмів нечіткого логічного виводу.

Таблиця 1.

#### Дані нечіткої бази знань для реалізації алгоритмів нечіткого логічного виводу

Впливи на НС	Входи моделей $X_i$		Виходи $Y_i$		
	Лінгвістична змінна (рівень впливу)	Числова змінна	Функція бажаності	Модель Мамдані	Модель Сугено
			Функціональна залежність	Лінгвістична змінна (категорія безпеки)	Числова змінна
Повітря	Допустимий	0	$Y_1 = 1 - e^{-(e^{0,25X-1})}$	Безпечний	0
	Умовно-допустимий	1		Слабко небезпечний	0,38
	Недопустимий	2		Помірно небезпечний	0,45
	Недопустимий	4,4		Небезпечний	0,67
	Недопустимий	8		Дуже небезпечний	0,93
Поверхневі води	Допустимий	1,50	$Y_2 = 1 - e^{-(e^{0,33X-1,33})}$	Повністю безпечний	0
	Допустимий	2,50		Безпечний	0,35
	Допустимий	3,75		Безпечний	0,45
	Умовно-допустимий	4,50		Малонебезпечний	0,60
	Недопустимий	5,50		Середньої безпеки	0,69
	Недопустимий	6,50		Небезпечний	0,80
	Недопустимий	6,75		Особливо небезпечний	0,90
	Недопустимий	7,00		Надзвичайно небезпечний	0,91
Ґрунти	Допустимий	0	$Y_3 = 1 - e^{-(e^{0,16X-1})}$	Безпечний	0
	Умовно-допустимий	16		Середньої безпеки	0,37
	Недопустимий	32		Небезпечний	0,44
	Недопустимий	128		Надзвичайно небезпечний	0,93

Реалізація процедур прийняття рішень з використанням лінгвістичної змінної (на прикладі повітря) згідно із сформованою бази знань (табл. 1) представлені на рис.1-рис.10.

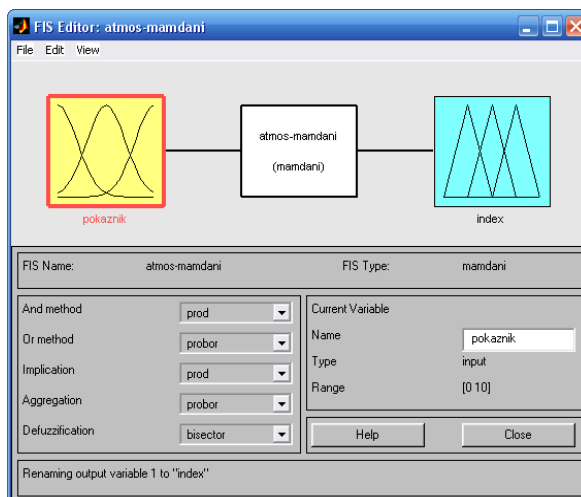


Рис. 1. Головне вікно FIS Editor алгоритму Мамдані (повітря)

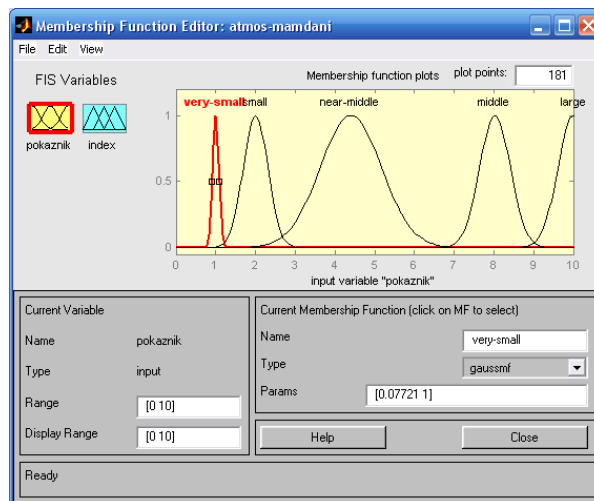


Рис. 2. Вікно входів алгоритму Мамдані (повітря)

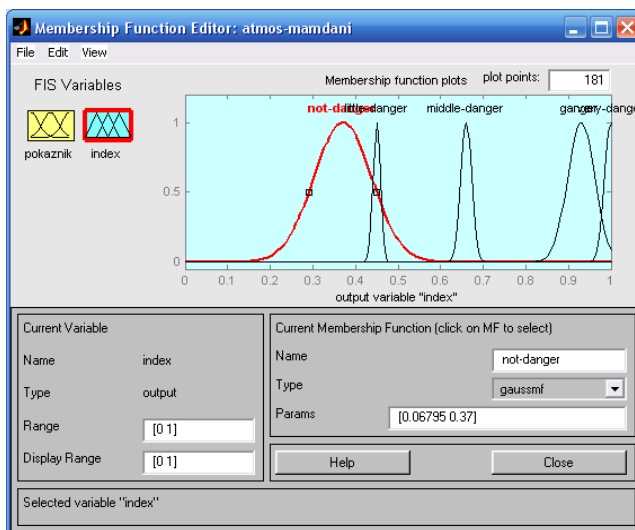


Рис. 3. Вікно виходів алгоритму Мамдані (повітря)

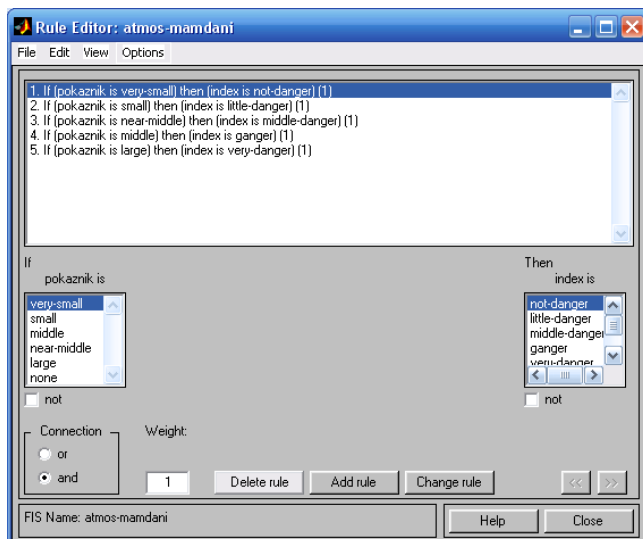


Рис. 4. Вікно правил алгоритму Мамдані (атмосферне повітря)

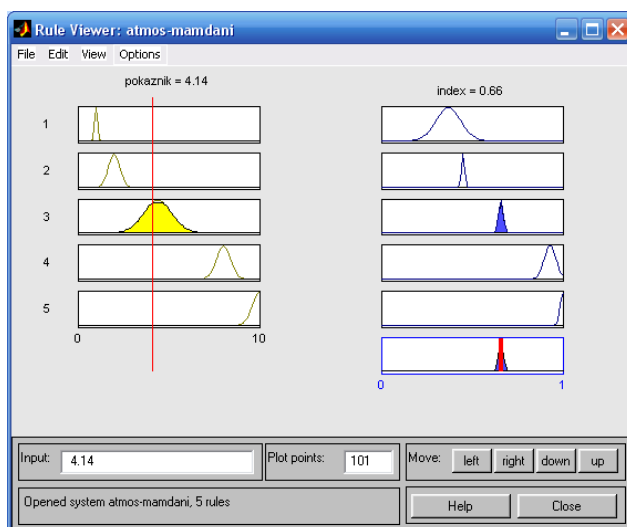


Рис. 5. Візуалізація нечіткого логічного висновку алгоритму Мамдані (повітря)

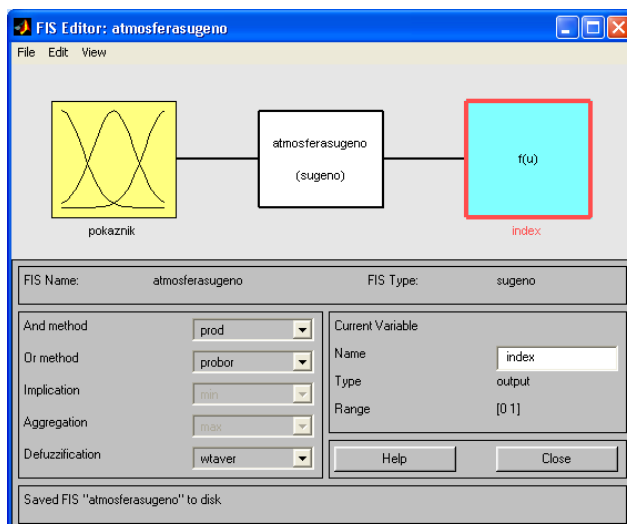


Рис. 6. Головне вікно FIS Editor алгоритму Сугено (атмосферне повітря)

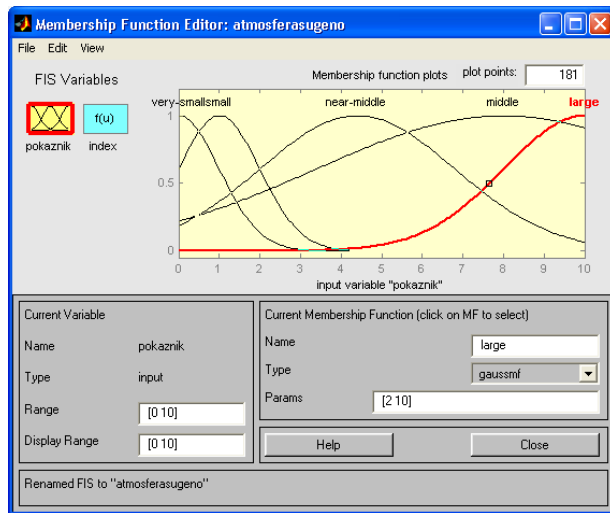


Рис. 7. Вікно входів алгоритму Сугено (повітря)

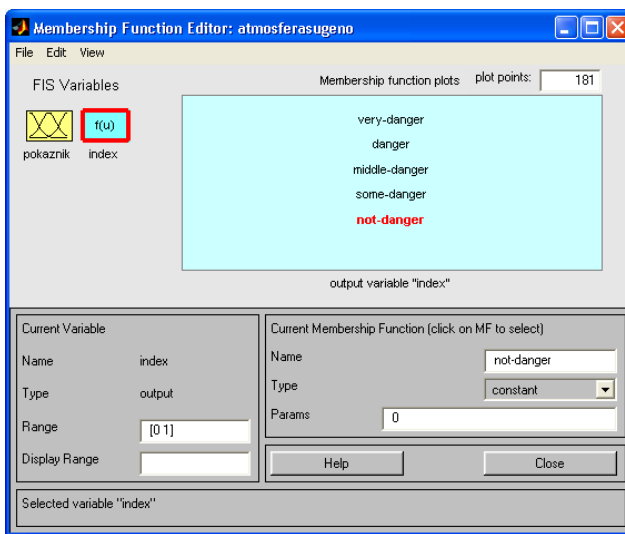


Рис. 8. Вікно входів алгоритму Сугено (повітря)

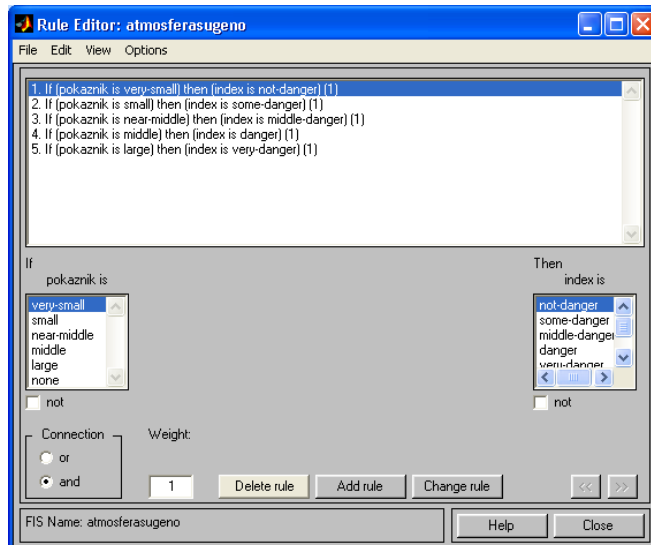


Рис. 9. Вікно правил алгоритму Сугено (атмосферне повітря)

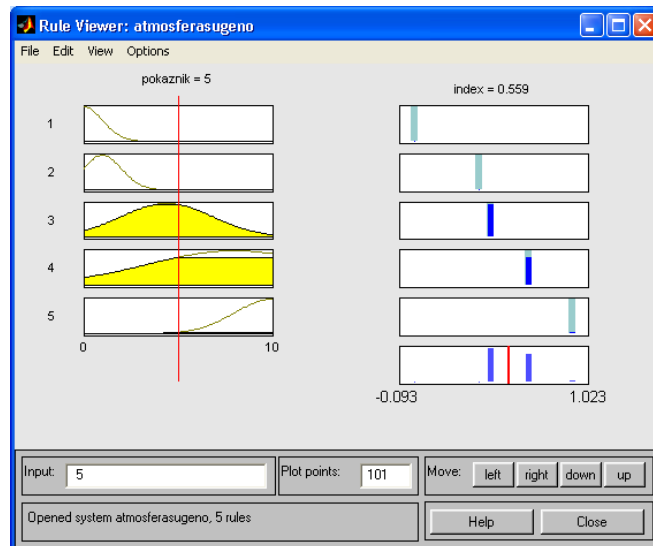


Рис.10. Візуалізація нечіткого логічного висновку алгоритму Сугено (повітря)

## Висновки

У результаті проведеного аналізу встановлено, що використання лінгвістичної інформації у вигляді експертних правил «ЯКЦО-ТО» дозволяє значно знизити необхідний обсяг навчальної вибірки при використанні алгоритму типу Мамдані. При більших обсягах вибірки алгоритм Сугено не забезпечує більшу точність та при цьому виникають труднощі зі змістовною інтерпретацією параметрів нечіткої моделі та із поясненням логічного висновку. З алгоритмом Мамдані таких труднощів не виникає, його параметри після навчання легко інтерпретуються змістовно.

Методи засновані на моделях нечіткого логічного виводу є ефективними при оцінюванні впливів промислових об'єктів на складові НС, але складніше формалізуються порівняно з числовими методами, які не потребують від проектувальника володіння навичками у специфічному програмному середовищі.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] А. Б. Качинський, *Екологічна безпека України: системний аналіз перспектив покращення*. К.: НІСД, 2001, 312 с.
- [2] А. В. Яцик, О. М. Петрук, О. П. Канаш та ін., *Методичне керівництво по розрахунку антропогенного навантаження і класифікації екологічного стану басейнів малих річок України*. К.: УНДІВЕП, 1992. 40 с.
- [3] С.С. Забара, О.О.Гагарін, І.М.Кузьменко Ю.Д.Щербашин, *Моделювання систем у середовищі MATLAB*. К.: Університет "Україна", 2011. 137 с.
- [4] О.І. Кушлик-Дивульська, Б.Р. Кушлик. *Основи теорії прийняття рішень*. К.: 2014. 94с.
- [5] Г. О. Статюха, В. А.Соколов, І. Б. Абрамов, Т. В. Бойко, А. О. Абрамова, *До питання кількісної оцінки екологічної безпеки при ОВНС*. Східно– Європейський журнал передових технологій. 2010. №6/6 (48). С.44 – 46.

## REFERENCES

- [1] A. B. Kachynskyy, *Ekologichna bezpeka Ukrainy: systemnyy analiz perspektiv pokrashchennya*. K.: NISD, 2001, 312 s.
- [2] A. V. Yatsyk, O. M. Petruk, O. P. Kanash ta in., *Metodychne kerivnytstvo po rozrakhunku antropohennoho navantazhennya i klasyfikatsiyi ekolohichnoho stanu baseyniv malykh richok Ukrainy*. K.: UNDIVEP, 1992. 40 s.
- [3] S.S. Zabara, O.O.Gaharin, I.M.Kuzmenko YU.D.Sherbashyn, *Modelyuvannya system u seredovishchi MATLAB*. K.: Univer-sytet "Ukrayina", 2011. 137 s.
- [4] O.I. Kushlyk-Dyvulska, B.R. Kushlyk. *Osnovy teorii pryynyattya rishen*. K.: 2014. 94s.
- [5] H. O. Statyukha, V. A.Sokolov, I. B. Abramov, T. V. Boyko, A. O. Abramova, *Do pytannya kilykysnoyi otsinky ekolohichnoyi bezpeky pry OVNS*. Skhidno– Yevropeyskyy zhurnal peredovykh tekhnolohiy. 2010. №6/6 (48). S.44 – 46.

**Абрамова Алла Олександрівна** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри технічних та програмних засобів автоматизації, e-mail: [alla\\_abramova@ukr.net](mailto:alla_abramova@ukr.net) ; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3475-8584>

## Development of a Fuzzy Matlab inference algorithm for decision-making under uncertainty conditions for designed objects

<sup>1</sup>National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

*The decision -making method in the face of uncertainty for designed objects is proposed. Uncertainty arises in open decision -making tasks in which the dice does not know the total set of factors. The uncertainty situation is characterized by the fact that the choice of a specific action plan can lead to any result from a certain set of options, but the likelihood of influencing random factors is unknown. The purpose of the article is to create a fuzzy algorithm for making decisions in the face of uncertainty for designed objects in the Matlab environment. The study is based on the use of decision -making method by means of a linguistic variable, which helps to increase the effective decision in a new difficult situation for designed objects. Two types of Mamdani and Sugeno algorithms in the Fuzzy Logic Matlab package were used to realize this goal. Previous studies were used to build a fuzzy knowledge base, namely indexes and quantitative indicators of the impact of the projected object on the components of the environment (air, surface water, soils). Expert rules "If - then" for both algorithms (Mamdani and Sugeno) were built. As a result, numerical values are obtained - indices of evaluation of influences on the environment of the projected objects. The used decision -making method based on fuzzy logical output models is effective in evaluating the influences of industrial objects on the components of the environment, but are more difficult to formalize than numerical methods that do not require the designer of skills in a specific software environment.*

**Keywords:** fuzzy output, uncertainty, fuzzy logic matlab, fuzzy knowledge base.

**Abramova Alla O.** — Cand. Sc. (Eng.), Associated Professor of the Department of Automation Hardware and Software, e-mail: [alla\\_abramova@ukr.net](mailto:alla_abramova@ukr.net) ; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3475-8584>