

І. А. Беспалко, Л. М. Наумчак, Д. В. Пекарєв

## ПРОЄКТУВАННЯ МАКЕТА СИСТЕМИ НЕЧІТКОЇ ЛОГІЧНОЇ КЛАСИФІКАЦІЇ КОСМІЧНИХ АПАРАТІВ У ПРОЦЕСІ АНАЛІЗУ КОСМІЧНОЇ ОБСТАНОВКИ

*Одним з етапів аналізу космічної обстановки є проведення класифікації космічних апаратів. Наявні підходи до вирішення зазначеного завдання не повністю враховують особливості ознак космічних апаратів та класифікують їх частково, лише за окремими ознаками. Тому для реалізації комплексного підходу до вирішення цієї проблеми розглянуто можливість застосування апарату нечіткої логіки та визначено основні етапи виконання поставленого завдання з використанням теорії нечітких множин.*

*На початкових етапах виокремлюють ознаки, які дозволяють провести класифікацію космічних апаратів. Їх отримують з аналізу апріорної та апостеріорної інформації в числовому, категорійному або лінгвістичному вигляді. У подальшому визначаються лінгвістичні змінні, їх терми саме для тих ознак, що можуть бути надані в лінгвістичному вигляді, та будуються їх функції належності нечітких множин.*

*Наступним кроком є формування бази нечітких продукційних правил нечіткої логічної системи класифікації космічних апаратів у процесі аналізу космічної обстановки, що є базисом для розроблення алгоритму та програмного забезпечення її реалізації.*

*Окреслено подальші кроки вирішення завдання класифікації космічних апаратів на основі нечіткої логіки, що полягають: у знаходженні ступенів істинності найпростіших тверджень за заданими значеннями вхідних параметрів; в обчисленні істинності передумов правил; у визначенні функцій належності кожного з висновків для загальної лінгвістичної змінної; в об'єднанні функцій належності через побудову їх максимуму; в отриманні конкретного значення вихідної змінної.*

*Запропонований підхід можливо використати для вирішення завдання комплексної класифікації космічних апаратів з урахуванням більшості різнорідних ознак.*

**Ключові слова:** класифікація космічних апаратів; ознаки класифікації; лінгвістичні змінні; функція належності; нечітке продукційне правило.

**Постановка проблеми в загальному вигляді.** Склад космічних систем провідних держав світу, що здійснюють космічну діяльність, сьогодні активно змінюється і нарощується [1]. Постійно зростає кількість космічних апаратів (КА), покращуються їх функціональні можливості у зв'язку з розвитком технологічної бази. Тільки за листопад 2023 року здійснено 15 пусків ракет-носіїв та виведено на навколосемну орбіту 237 КА різного призначення.

Із введенням правового режиму воєнного стану в Україні з 24 лютого 2022 року космічна підтримка та космічна ситуаційна обізнаність (аналіз космічної обстановки), як її складова, стали актуальною та нагальною потребою в процесі планування діяльності суб'єктів національної безпеки й оборони, що вимагає оперативної та чіткої класифікації КА саме за призначенням [1].

© І. А. Беспалко, Л. М. Наумчак, Д. В. Пекарєв, 2023

Основними причинами необхідності класифікації КА за призначенням є: визначення можливостей щодо застосування їх бортової спеціальної апаратури; уникнення помилкових рішень на підставі даних щодо можливого застосування КА противником;

підвищення ефективності застосування військ (сил) за рахунок використання об'єктивних даних про КА противника та проведення відповідних заходів запобігання їх впливу тощо.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питанню класифікації об'єктів різного характеру присвячено багато наукових праць. За напрямом, що розглядається, закордонними дослідниками було запропоновано алгоритм зворотного поширення штучних нейронних мереж для класифікації КА глобальної навігаційної системи (GPS) та розрахунку коефіцієнтів геометричної точності їх позиціонування [2], глибоке та багатоядерне навчання на основі рекурентних і згорткових нейронних мереж для синхронної ідентифікації форми та положення об'єктів на геостационарній орбіті [3] тощо. Уніфікована класифікація КА на основі маси та розміру подається як один з інструментів для визначення параметрів ракет-носіїв і вартості виведення КА на орбіти [4].

У роботах українських учених розглянуто варіанти класифікації КА на основі аналізу їх ознак та систематизації інформації про космічні системи [5–7] та приділяється увага проблематиці вибору КА для використання цільової інформації з них [8–10].

Отже, у сучасних наукових працях відображені результати досліджень класифікації КА за окремими ознаками, а завдання класифікації за комплексом ознак не розглядається.

**Формулювання завдання дослідження.** Метою статті є розроблення бази нечітких продукційних правил нечіткої логічної системи класифікації КА з наявної апріорної інформації з планів їх запусків та апостеріорної інформації про них.

У разі, коли немає чіткої межі, що розділяє класи (наприклад, різномірні ознаки притаманні декільком класам), підхід із використанням нечіткої логіки дозволить класифікувати КА за комплексом різномірних ознак із певною часткою істинності [11–13].

### **Виклад основного матеріалу**

З метою підвищення достовірності визначення призначення КА та їх належності до певного класу запропоновано використати математичний апарат теорії нечітких множин для проведення їх класифікації за апріорною та апостеріорною інформацією, що може бути отримана з відкритих джерел.

Початковим етапом у вирішенні завдання класифікації КА з використанням теорії нечітких множин є визначення їх ознак, які будуть використовуватися із цією метою. Вони можуть бути числовими, категорійними або лінгвістичними.

Завдання класифікації даних дозволяє вирішити система нечіткого виведення (англ. fuzzy inference system), що базується на алгоритмі отримання нечітких висновків на основі нечітких передумов із використанням понять нечіткої логіки [11]. Процес нечіткого виведення поєднує основні концепції теорії нечітких множин: функції належності, лінгвістичні змінні, нечіткі логічні операції, методи нечіткої імплікації та нечітку композицію [13].

Загальна схема роботи системи нечіткого виведення подана на рис. 1.

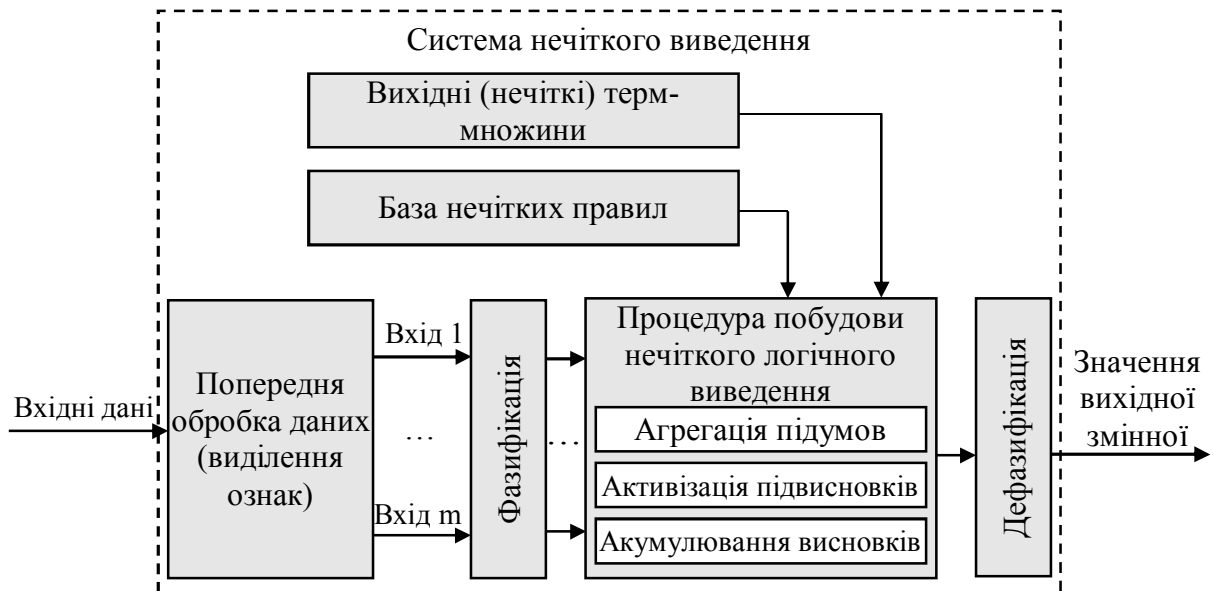


Рис. 1. Основні етапи нечіткого виведення

Системи нечіткого виведення призначені для перетворення значень вхідних змінних у вихідні змінні на основі використання нечітких правил. Для цього системи нечіткого виведення повинні містити базу нечітких правил та вихідні терм-множини [11–13].

Отже, основними етапами нечіткого виведення є (див. рис. 1) [11–13]: фазифікація вхідних змінних; агрегація підумов в нечітких правилах; активізація або композиція підвисновків у нечітких правилах; акумуляція висновків нечітких правил.

У цілому, класифікація об'єктів на основі нечіткої логіки є складним процесом та вимагає великої кількості вхідних даних, але основною перевагою застосування запропонованого підходу є можливість використовувати інформацію, яка може бути нечіткою, але все ж корисною для прийняття рішень.

Результатом першого етапу є фазифікація вхідних змінних – встановлення відповідності між конкретним (зазвичай числовим) значенням окремої вхідної змінної системи нечіткого виведення і значенням функції належності відповідного їй терму вхідної лінгвістичної змінної. Після чого для всіх вхідних змінних визначаються конкретні значення функцій належності  $\mu(x)$  за кожним із лінгвістичних термів, використаних у передумовах бази правил системи нечіткого виведення [11–13]:

$$\mu(x) = \begin{cases} 1, x \leq a \\ \frac{b-x}{b-a}, a < x < b \\ 0, b \leq x \end{cases} \quad (1)$$

або

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, a < x < b \\ 1, b \leq x \end{cases}, \quad (2)$$

де  $x$  – значення окремої вхідної змінної;

$a, b$  – граничні значення терму нечіткої множини.

Наступний етап нечіткого виведення – агрегація підумов у нечітких правилах, яка є необхідною умовою для подальшої програмної реалізації нечіткої логічної системи класифікації КА, що базується на описі кожного класу певною кількістю ознак, визначенням їх значень та їх лінгвістичних змінних.

Для розв’язання задачі класифікації КА використаємо нечітку систему типу “багато входів – один вихід”, що досить поширена в моделюванні систем керування, для яких через велику складність і неповноту даних неможливо або недоцільно будувати моделі в рамках класичної теорії [12–13].

Побудова системи нечітких правил здійснюється шляхом формування за кожним прикладом навчальної вибірки нечіткого правила  $P_i (i = 1, \dots, n)$  такого вигляду:

$$P_i : \text{ЯКЩО } v_1 = V_{1i} \text{ ТА...ТА } v_k = V_{ki} \text{ ТА...ТА } v_n = V_{ni}, \text{ ТО } w_i = W_i, \quad (3)$$

де  $v_k (k = 1, \dots, n)$  – найменування ознак об’єкта класифікації,  $v_k \in V_k$ ;

$V_k$  – область визначення ознак;

$w$  – номер класу,  $w \in W$ ;

$W$  – область визначення номерів класів;

$V_{ki}$  – лінгвістичні терми, що описують нечіткі множини з функціями належності.

Наведене правило нечіткого логічного виведення моделює мислення людини і дає змогу запропонувати рішення щодо віднесення об’єкта до певного класу за нечіткими ознаками в навчальному наборі.

Розглянемо приклад класифікації КА з використанням системи нечіткого виведення. Класифікувати ці об’єкти можливо за інформацією, що передуює їх запуску, та тією, що є доступною для аналізу після їх запуску. Отже, можна виділити апіорні (до запуску, наприклад, план запуску КА) (табл. 1) та апостеріорні (після запуску) ознаки класифікації, що, у свою чергу, можуть бути прямими та непрямыми [14–16].

*Таблиця 1*

Інформація з плану запуску КА

Категорія інформації	Тип апіорної ознаки
Заявлене призначення КА	Пряма, категорійна
Полігон (космодром) запуску	Непряма, лінгвістична
Тип ракети-носія, якою буде здійснено виведення КА	Непряма, лінгвістична
Назва КА	Пряма, лінгвістична
Замовник КА	Непряма, лінгвістична
Розробник КА	Непряма, лінгвістична
Конфігурація КА	Пряма, лінгвістична
Стартова маса КА	Пряма, числова
Розрахунковий (гарантійний) строк функціонування КА	Непряма, числова
Тип орбіти	Непряма, лінгвістична
Інерційна довгота висхідного вузла орбіти	Непряма, числова

Оскільки всі ознаки різні, то отримати узагальнений висновок та прийняти рішення щодо належності КА до певного класу з визначеним ступенем істинності можна, використовуючи математичний апарат нечіткого виведення (рис. 2). Зазначений підхід дозволить вирішити завдання класифікації КА з урахуванням більшості різнорідних ознак.

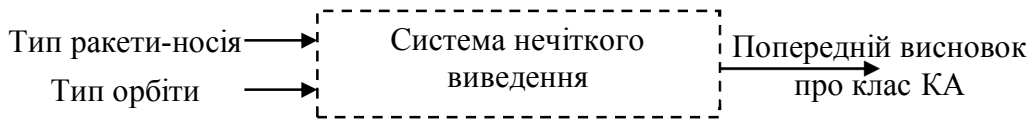


Рис. 2. Приклад моделі класифікації КА з використанням системи нечіткого виведення

Припустимо, що на 2024 рік заплановано запуск КА ViaSat 3.2 (ViaSat 3 EMEA), вага якого становить близько 6,4 т, з використанням ракети-носія Atlas-5 на орбіту висотою близько 35790 км [14–16]. Необхідно визначити типи ракети-носія й орбіти, на яку заплановано виведення КА. Ознаки “Тип ракети-носія за вантажопідйомністю” та “Тип орбіти за висотою” є непрямими лінгвістичними апріорними ознаками для подальшої класифікації КА.

Використаємо лінгвістичну змінну  $b_1$  – “Тип ракети-носія за вантажопідйомністю”, тоді множина термів цієї лінгвістичної змінної визначається як

$$T_1 = \{“Мала”, “Середня”, “Важка”, “Надважка”\} \quad (4)$$

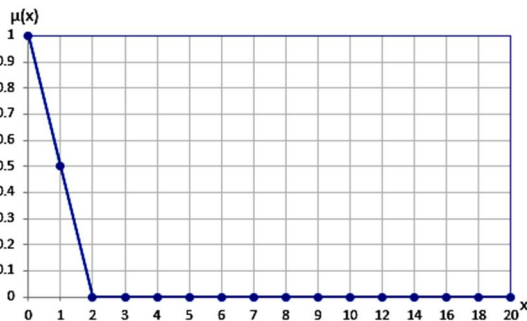
на універсумі всіх діапазонів значень змінної  $b_1$ :  $E_1 = [0, > 50]$ .

Використаємо лінгвістичну змінну  $b_2$  – “Тип орбіти за висотою”, тоді множина термів цієї лінгвістичної змінної визначається як

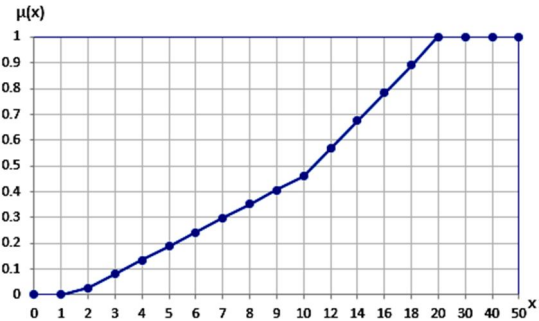
$$T_2 = \{“Низька”, “Середня”, “Висока”\} \quad (5)$$

на універсумі всіх діапазонів значень змінної  $b_2$ :  $E_2 = [160, > 35786]$ .

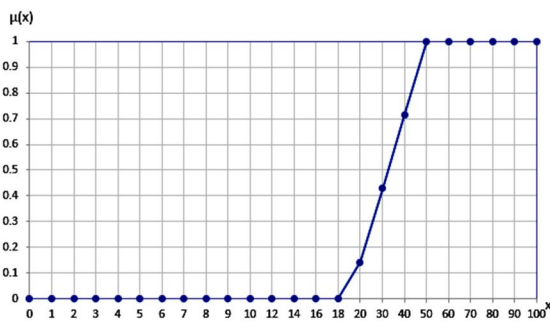
У результаті фазифікації чотирьох нечітких висловлювань для вхідної лінгвістичної змінної  $b_1$  отримуємо набір функцій належності (рис. 3).



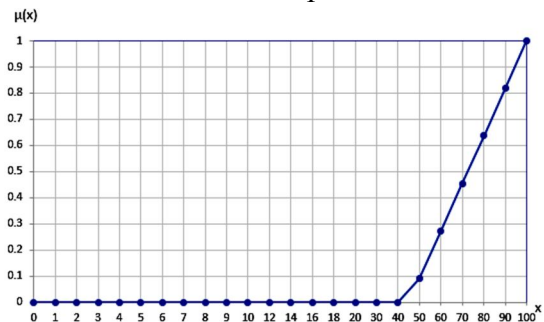
Функція належності терму “Тип ракети-носія” – мала



Функція належності терму “Тип ракети-носія” – середня



Функція належності терму “Тип ракети-носія” – важка



Функція належності терму “Тип ракети-носія” – надважка

Рис. 3. Набір функцій належності для вхідної лінгвістичної змінної  $b_1$  – “Тип ракети-носія за вантажопідйомністю”

У результаті фазифікації чотирьох нечітких висловлювань для вхідної лінгвістичної змінної  $b_2$  – “Тип орбіти за висотою” отримуємо набір функцій належності (рис. 4).

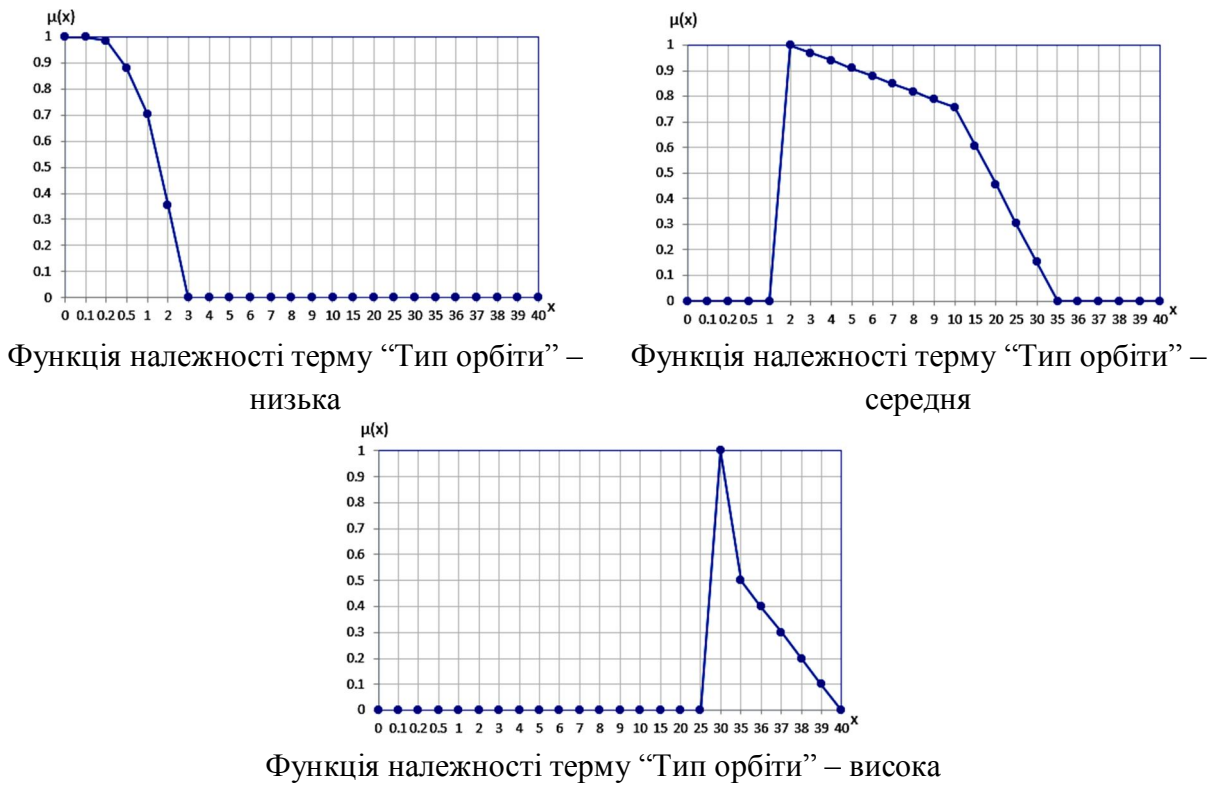


Рис. 4. Набір функцій належності для вхідної лінгвістичної змінної  $b_2$  – “Тип орбіти за висотою”

Для розглянутого прикладу, за відомих значень змінних “Вага корисного навантаження” = 6,4 т та “Висота орбіти” = 35790 км, можна зробити попередній висновок про тип ракети-носія – середня, що може бути використаний під час запуску КА, та ймовірний тип орбіти – висока, на яку буде виведено КА.

Для розроблення макета системи нечіткої логічної класифікації КА в межах набору обраних ознак були сформовані нечіткі лінгвістичні правила відповідно до виразу (3) (рис. 5).

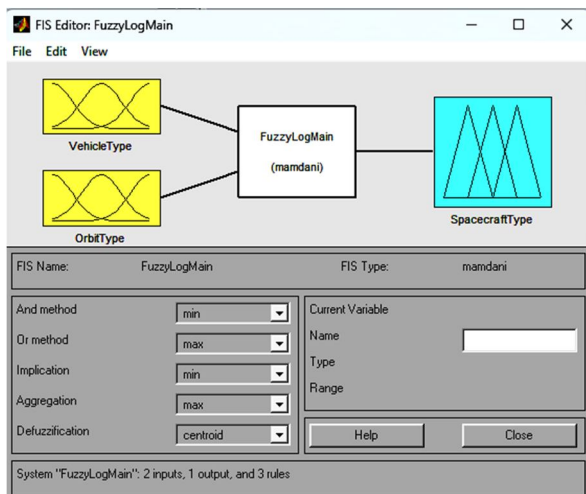


Рис. 5. Макет системи нечіткої логічної класифікації КА

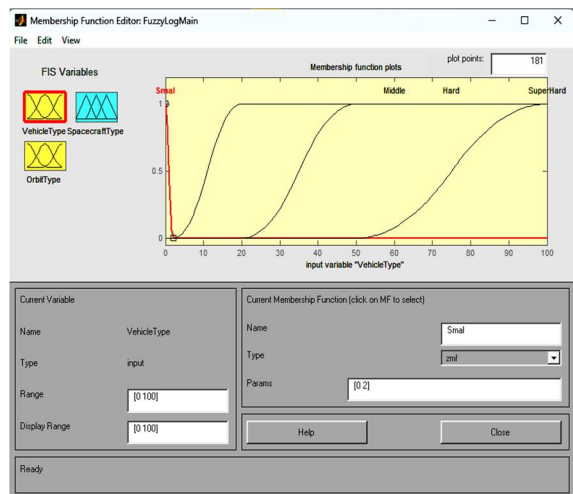


Рис. 6. Встановлення вхідних та вихідних змінних у редакторі функцій належності

Проектування макета системи нечіткої логічної класифікації КА здійснювалося з використанням інструменту Fuzzy Logic Toolbox програмного пакету Matlab. У процесі застосовувалася FIS модель Мамдані. Вхідні та вихідні змінні були задані за допомогою редактора функцій належності Membership Function Editor (рис. 6), а формування та модифікація нечітких правил проводилися в редакторі бази знань Rule Editor (рис. 7). Розроблений макет дозволяє проводити моделювання умов для класифікації КА за обраними ознаками (рис. 8), редагувати кількість вхідних та вихідних параметрів, а також формувати нові та модифікувати вже відомі нечіткі лінгвістичні правила.

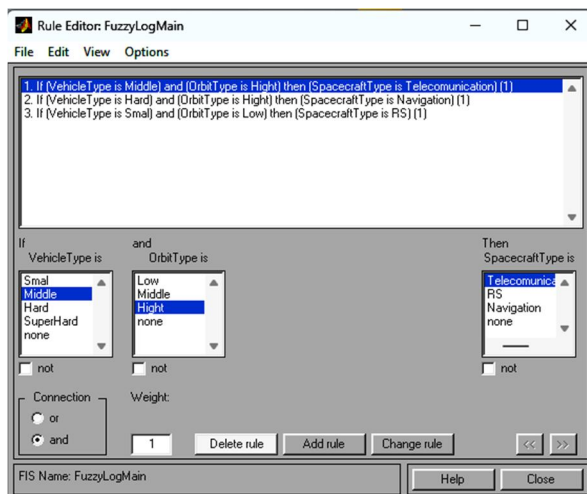


Рис. 7. Формування нечітких правил в редакторі бази знань

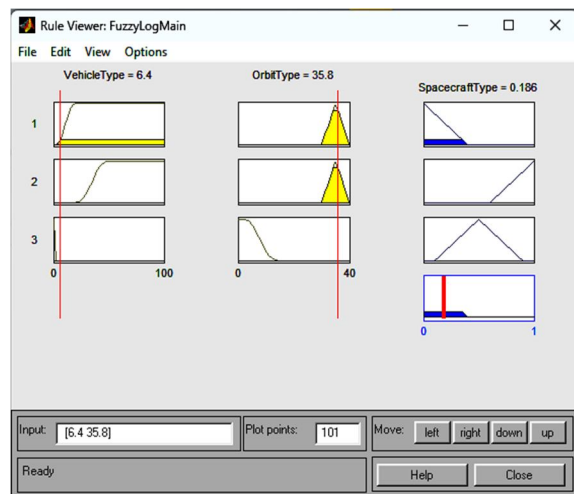


Рис. 8. Моделювання умов для класифікації КА за обраними ознаками

**Висновки.** Отже, запропонований підхід для вирішення завдання класифікації КА із застосуванням системи нечіткого логічного виведення можливо використати для комплексної їх класифікації з урахуванням максимальної кількості різнорідних ознак.

Розроблений макет системи нечіткої логічної класифікації КА дозволяє наочно відобразити процес нечіткого логічного виведення та може бути базисом для спеціального програмного забезпечення такої класифікації КА з подальшим упровадженням його в процес аналізу космічної обстановки.

Подальші дослідження зазначеного напрямку передбачають:

визначення переліку ознак для класифікації КА;

наповнення бази нечітких лінгвістичних правил;

розроблення комплексного алгоритму та методики класифікації КА із застосуванням системи нечіткого логічного виведення.

## СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ

1. Випорханюк Д. М., Ковбасюк С. В. Основи космічної ситуаційної обізнаності (Space Situational Awareness, SSA). Іноземний і вітчизняний досвід космічної діяльності у сфері оборони : Монографія. Житомир : Вид. О. О. Євенок, 2018. 532 с.
2. Azami H., Mosavi M-R., Sanei S. Classification of GPS Satellites Using Improved Back Propagation Training Algorithms // Wireless Pers Commun. 2013. Vol. 71. P. 789–803.

<https://doi.org/10.1007/s11277-012-0844-7>

3. Rui C., Botelho A. S., Ademir L., Xavier Jr. A Unified Satellite Taxonomy Proposal Based on Mass and Size // *Advances in Aerospace Science and Technology*. 2019. Vol. 4, No. 4.

<https://doi.org/10.4236/aast.2019.44005>

4. Huo Yurong, Li Zhi, Yuqiang Fang, Feng Zhang. Classification for geosynchronous satellites with deep learning and multiple kernel learning // *Applied Optics*. 2019. No. 58. P. 5830–5838.

<https://doi.org/10.1364/AO.58.005830>

5. Омельчук В. В., Пекаре́в Д. В., Омельчук О. В. Узагальнення класифікації космічних апаратів дистанційного зондування Землі // *Вісник ЖДТУ. Технічні науки*. 2006. № I (36). С. 75–80. URL: <http://vtn.ztu.edu.ua/article/viewFile/100106/95724> (дата звернення: 23.11.2023).

6. Аналіз особливостей космічних систем гіперспектрального знімання / І. А. Беспалко, В. С. Герасимов, Д. В. Пекаре́в та ін. // *Вісник ЖДТУ. Технічні науки*. 2012. № 1 (60). С. 85–92. URL: <https://eztuir.ztu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/3285/14.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (дата звернення: 23.11.2023).

7. Беспалко І. А., Пекаре́в Д. В., Савчук А. В. Врахування можливостей космічних орбітальних засобів видового спостереження при інформаційному забезпеченні вирішення прикладних завдань // *Вісник ЖДТУ. Технічні науки*. 2013. № 1. С. 16–23. URL: [https://library.ztu.edu.ua/e-copies/VISNUK/64\\_I/16.pdf](https://library.ztu.edu.ua/e-copies/VISNUK/64_I/16.pdf) (дата звернення: 23.11.2023).

8. Фриз П. В. Спосіб вибору доступних космічних апаратів за умовами геометричної видимості між ними та заданим районом Землі // *Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем*. 2019. № 16. С. 94–107. <https://doi.org/10.46972/2076-1546.2019.16.09>

9. Фриз П. В. Програмно-моделюючий комплекс для інформаційної підтримки прийняття рішень в задачах космічних спостережень Землі // *Проблеми інформатизації: Матеріали дев'ятої міжнародної науково-технічної конференції*. Київ, 2017. С. 126.

10. Фриз П. В., Кондратов О. М. Алгоритм автоматизованого вибору релевантних космічних апаратів для оптико-електронного спостереження заданих районів Землі // *Вісник ЖДТУ. Технічні науки*. 2012. № 2 (61). С. 138–146. URL: <https://eztuir.ztu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/3046/21.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (дата звернення: 23.11.2023).

11. Хорозов О. А. Застосування нечіткої логіки для телемедицини систем // *Кібернетика і обчислювальна техніка*. Київ : Академперіодика НАН України, 2017. № 2. С. 36–48. <https://doi.org/10.15407/kvt188.02.036>

12. Писарчук О. О. Моделювання ситуаційного менеджменту та ідентифікація процесів у енергетичних інформаційних системах управління // *Вісник ЖДТУ. Технічні науки*. 2014. № 4 (71). С. 98–105. URL: <http://eztuir.ztu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/2197/17.pdf?sequence=2> (дата звернення: 28.11.2023).

13. Желдак Т. А., Коряшкіна Л. С., Ус С. А. Нечіткі множини в системах управління та прийняття рішень / За ред. С. А. Ус. Дніпро : НТУ «ДП», 2020. 387 с. URL: <https://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/156356> (дата звернення: 28.11.2023).

14. Orbital Launches of 2023. URL: [https://space.skyrocket.de/doc\\_chr/lau2023.htm#planned](https://space.skyrocket.de/doc_chr/lau2023.htm#planned) (last accessed: 28.11.2023).



15. Launch Vehicles. URL: <https://space.skyrocket.de/directories/launcher.htm> (last accessed: 28.11.2023).

16. Types of orbits. URL: [https://www.esa.int/Enabling\\_Support/Space\\_Transportation/Types\\_of\\_orbits](https://www.esa.int/Enabling_Support/Space_Transportation/Types_of_orbits) (last accessed: 28.11.2023).

Стаття надійшла до редакції 20.12.2023.

## REFERENCES

1. Vyporkhaniuk, D. M., & Kovbasiuk, S. V. (2018). *Osnovy kosmichnoi sytuatsiinoi obiznanosti (Space Situational Awareness, SSA). Inozemnyi i vitchyzniani dosvid kosmichnoi diialnosti u sferi oborony : Monohrafiia [Basics of Space Situational Awareness (Space Situational Awareness, SSA). Foreign and Domestic Experience of Space Activity in the Field of Defense]. Zhytomyr [in Ukrainian].*
2. Azami, H., Mosavi, M-R., Sanei, S. (2013). Classification of GPS Satellites Using Improved Back Propagation Training Algorithms. *Wireless Pers Commun., Vol. 71*, 789–803. <https://doi.org/10.1007/s11277-012-0844-7>
3. Rui, C., Botelho, A. S., Ademir, L., & Xavier, Jr. (2019). A Unified Satellite Taxonomy Proposal Based on Mass and Size. *Advances in Aerospace Science and Technology, Vol. 4*, No. 4. <https://doi.org/10.4236/aast.2019.44005>
4. Huo Yurong, Li Zhi, Yuqiang Fang, Feng Zhang. (2019). Classification for Geosynchronous Satellites with Deep Learning and Multiple Kernel Learning. *Applied Optics, No. 58*, 5830–5838. <https://doi.org/10.1364/AO.58.005830>
5. Omelchuk, V. V., Pekariev, D. V., & Omelchuk, O. V. (2006). Uzahalennia klasyfikatsii kosmichnykh aparativ dystantsiinoho zonduvannia Zemli [Generalization of the Classification of Spacecraft for Remote Sensing of the Earth]. *Visnyk ZhDTU. Tekhnichni nauky [Bulletin of ZhSTU. Technical Sciences], № 1 (36)*, 75–80 Retrieved from <http://vtn.ztu.edu.ua/article/viewFile/100106/95724> [in Ukrainian].
6. Bepalko, I. A., Herasymov, V. S., Pekariev, D. V. et al. (2012). Analiz osoblyvostei kosmichnykh system hiperspektralnogo znimannia [Analysis of the Features of Space Systems of Hyperspectral Imaging]. *Visnyk ZhDTU. Tekhnichni nauky [Bulletin of ZhSTU. Technical Sciences], № 1 (60)*, 85–92. Retrieved from <https://eztuir.ztu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/3285/14.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [in Ukrainian].
7. Bepalko, I. A., Pekariev, D. V., Savchuk, A. V. (2013). Vrakhuvannia mozhlyvostei kosmichnykh orbitalnykh zasobiv vydovoho sposterezhennia pry informatsiinomu zabezpechenni vyrishennia prykladnykh zavdan [Taking into Account the Possibilities of Space Orbital Means of Species Observation in the Information Provision of Solving Applied Problems]. *Visnyk ZhDTU. Tekhnichni nauky [Bulletin of ZhSTU. Technical Sciences], № 1*, 16–23. Retrieved from [https://library.ztu.edu.ua/e-copies/VISNUK/64\\_I/16.pdf](https://library.ztu.edu.ua/e-copies/VISNUK/64_I/16.pdf) [in Ukrainian].
8. Fryz, P. V. (2019). Sposib vyboru dostupnykh kosmichnykh aparativ za umovamy heometrychnoi vydymosti mizh nymy ta zadanyim raionom Zemli [The Method of Selecting the Available Space Vehicles Under the Terms of Geometrical Visibility Between Them and the Earth's Designated Areas]. *Problemy stvorennia, vyprovuvannia, zastosuvannia ta ekspluatatsii*

*skladnykh informatsiinykh system: zb. nauk. prats ZhVI [Problems of Construction, Testing, Application and Operation of Complex Information Systems. Scientific Journal of Korolov Zhytomyr Military Institute], 16, 94–107. <https://doi.org/10.46972/2076-1546.2019.16.09> [in Ukrainian].*

9. Fryz, P. V. (2017). Prohramno-modeliuiuchy kompleks dlia informatsiinoi pidtrymky pryiniattia rishen v zadachakh kosmichnykh sposterezhen Zemli [Software-Modeling Complex for Informational Decision-Making Support in Tasks of Space Observations of the Earth]. In *Problemy informatyzatsii: Materialy dev'iatoi mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii [Problems of informatization: Proceedings of the ninth international scientific and technical conference]*. Kyiv. (pp. 126–127) [in Ukrainian].

10. Fryz, P. V., Kondratov, O. M. (2012). Alhorytm avtomatyzovanoho vyboru relevantnykh kosmich-nykh aparativ dlia optyko-elektronnoho sposterezhennia zadanykh raioniv Zemli [Algorithm of the Automated Selection of Relevant Space Vehicles for Optical-Electronic Observation of Given Regions of the Earth]. *Visnyk ZhDTU. Tekhnichni nauky [Bulletin of ZhSTU. Technical Sciences], № 2 (61), 138–146. Retrieved from <https://eztuir.ztu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/3046/21.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [in Ukrainian].*

11. Khorozov, O. A. (2017). Zastosuvannia nechitkoi lohiky dlia telemedychnykh system [Application of Fuzzy Logic for Telemedicine Systems]. *Kibernetyka i obchysliuvalna tekhnika [Cybernetics and Computer Technology], № 2, 36–48. <https://doi.org/10.15407/kvt188.02.036> [in Ukrainian].*

12. Pysarchuk, O. O. (2014). Modeliuvannia sytuatsiinoho menedzhmentu ta identyfikatsiia protsesiv u enerhetychnykh informatsiinykh systemakh upravlinnia [Modeling of Situational Management and Identification of Processes in Energy Management Information Systems]. *Visnyk ZhDTU. Tekhnichni nauky [Bulletin of ZhSTU. Technical Sciences], № 4 (71), 98–105. Retrieved from <http://eztuir.ztu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/2197/17.pdf?sequence=2> [in Ukrainian].*

13. Zheldak, T. A., Koriashkina, L. S., & Us, S. A. (2020). Nechitki mnozhyny v systemakh upravlinnia ta pryiniattia rishen [Fuzzy Sets in Management and Decision-Making Systems]. Dnipro. Retrieved from <https://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/156356> [in Ukrainian].

14. Orbital Launches of 2023. (2023). Retrieved from [https://space.skyrocket.de/doc\\_chr/lau2023.htm#planned](https://space.skyrocket.de/doc_chr/lau2023.htm#planned)

15. Launch Vehicles. (n.d.). Retrieved from <https://space.skyrocket.de/directories/launcher.htm>

16. Types of orbits. (n.d.). Retrieved from [https://www.esa.int/Enabling\\_Support/Space\\_Transportation/Types\\_of\\_orbits](https://www.esa.int/Enabling_Support/Space_Transportation/Types_of_orbits)

**I. A. Bepalko, L. M. Naumchak, D. V. Pekariev**

## **MODEL DESIGN OF FUZZY LOGICAL SYSTEM OF THE SPACECRAFT CLASSIFICATION IN THE PROCESS OF SPACE SITUATION ANALYSIS**

*One of the stages of the space situation analysis is the classification of spacecraft. Existing approaches to solving this problem do not fully take into account the peculiarities of spacecraft features and classify them partially, only by individual features. Therefore, in order to implement*

*an integrated approach to solving this problem, the possibility of using the fuzzy logic apparatus is considered and the main stages of the task are determined using the theory of fuzzy sets.*

*At the initial stages, features that allow spacecraft to be classified are identified. They are obtained from the analysis of a priori and a posteriori information in numerical, categorical or linguistic form. Subsequently, linguistic variables are defined, their terms for those features that can be provided in linguistic form are defined, and their membership functions of fuzzy sets are constructed.*

*The next steps is to form a base of fuzzy production rules for a fuzzy logic system for classifying spacecraft in the process of the space situation analysis, which is the basis for developing an algorithm and software for its implementation.*

*Further steps in solving the problem of spacecraft classification based on fuzzy logic are outlined. They consist of: finding the degrees of truth of the simplest statements for given values of input parameters; calculating the truth of the preconditions of the rules; determining the membership functions of each conclusion for a common linguistic variable; combining the membership functions by constructing their maximum; obtaining a specific value of the output variable.*

*The proposed approach can be used to solve the problem of complex spacecraft classification, taking into account most of the heterogeneous features.*

**Keywords:** *spacecraft classification; classification features; linguistic variables; membership function; fuzzy production rule.*