

М.С. Граф, доктор філософії
О.М. Свінцицька, к.е.н., доц.
Державний університет «Житомирська політехніка»
Є.Б. Артамонов, к.т.н., доц.
Національний авіаційний університет

Нечітке моделювання для аналізу та прогнозування в складних інформаційних системах

Стаття присвячена вивченню проблеми попередження та виявлення виникнення помилок та збоїв у роботі складних інформаційних систем. Під час дослідження використано поняття «системного аналізу» для визначення можливих проблем забезпечення стабільної роботи інформаційної системи та синтезу системи, що дозволить підвищити ефективність її рішення. Запропоновано використовувати нечітку логіку та нечітке моделювання, а також оцінки експертів, що визначають можливість технічних збоїв.

Введено поняття нечіткості до значень елементів, що входять до складу інформаційної системи. Описується припущення, що при нечіткому моделюванні в експерта, що приймає рішення, може бути одна стратегія, що забезпечує найкращий результат. Для знаходження таких варіантів або стратегій розглянуто нечіткі оцінки наслідків з врахування всієї множини існуючих варіантів, з можливістю проведення її подальшої заміни іншою нечіткою множиною з трикутною функцією належності. Такий підхід дозволить проводити розгляд інтегральної нечіткої оцінки по відношенню до можливих наслідків від обраного вибору. Описано можливі причини того чи іншого збою, визначено належності та пріоритетність помилок та збоїв.

Ключові слова: нечітка логіка; моделювання; помилки; інформаційна система; системний аналіз.

Актуальність теми. Сучасні складні інформаційні системи (ІС) системи, необхідні для проведення аналізу ознак збоїв у роботі складних ІС, мають спиратися на поточну або експертну інформацію про місцезнаходження та причини помилок і збоїв, що визначаються під час проведення моніторингу поточного інформаційного та технічного стану, а також контролю допустимих меж відхилення тих чи інших технічних характеристик. До таких збоїв можна зарахувати: помилки в роботі програмного забезпечення, збої в роботі ІС, неочікувану поведінку ІС, неполадки в ІТ-інфраструктурі та кібератаки. Останнім часом розроблено нові різні ефективні підходи, засновані на методах штучного інтелекту, а саме: експертних системах, нечіткої логіки, визначення можливостей збоїв на основі розпізнавання ключових слів, фраз та образів за допомогою штучних нейронних мереж та нечітких відносин. Сфера застосування складних ІТ-систем – контроль за роботою систем різних видів, таких як електромережі / електромережеві комплекси, фінансові системи, системи охорони здоров'я, державного управління, транспортні системи, виробництво, роздрібна торгівля, освіта, дослідження та розробки, сфера розваг тощо, моніторинг трендів, контроль інструментарію в комплексно-автоматизованому виробництві та контроль якості.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Нечітка логіка та нечітке моделювання є одним з найпоширеніших методів для визначення помилок та типу помилок у різних системах [1]. Така схема є достатньо логічною та забезпечує зручний метод зіставлення входу з виходом за допомогою лінгвістичних правил, сформованих на основі людського розуміння (даних експертів), а не тільки математичних моделей [2]. Нечітка логіка може поєднувати дані різних діагностичних тестів і практичні знання експертів з проведення діагностики [3]. Крім того, нечітка логіка використовується для управління невизначеною та нечіткою інформацією. Тобто, можна сказати, що нечітка логіка є ідеальним інструментом для управління неточною та нечіткою інформацією в реальному світі [4].

Хоча нечіткі моделі, запропоновані раніше, мають своє значення для визначення помилок та збоїв у роботі інформаційної системи, що починаються, проте жодна з них не визначає всі можливі типи несправностей нечітких моделей, включаючи множинні початкові пошкодження [5].

Для опрацювання спотворення вихідного сигналу на стиках використовуються дискретні лінійні динамічні системи з кінцевою імпульсною характеристикою [6]. Найчастіше використовуються такі методи, що будуються на нейронних мережах, генетичних алгоритмах та нечіткій логіці [7]. Можливість обробки помилок та оцінка ситуації за обмежений час для можливості прийняття правильного рішення описано в [8] та з використанням експертних систем в [9].

Метою статті є дослідження, в якому пропонується описати концепцію моделювання для визначення технічних збоїв у складних ІС на основі нечіткої логіки.

Викладення основного матеріалу. Нижче показано, що, використовуючи нечітку логіку та експертні оцінки, можна побудувати сучасні нечіткі системи, що визначають можливість технічних збоїв. Нерідко загальноприйнятими зусиллями не вдається побудувати математичний опис досліджуваної системи, тому запропоновано альтернативні методи, що спираються на евристичні знання. Такі методи полягають у зборі всієї інформації з відкритих або доступних систем про досліджуваний процес шляхом спостереження за його перебігом. Таку роботу зазвичай може виконувати експерт, який видає якісний та достатній опис процесу у нормальних, аварійних та екстрених умовах роботи. Знання експерта можуть бути формалізовані засобами мови уявлень. Таким чином, знання про нормальне, аварійне та екстремне функціонування процесу та інформація про його минулі стани можуть бути використані для виявлення помилок та збоїв. Знання про процес, що у вигляді спостережень і словесних описів у розмовному вживанні, внаслідок застосування методів нечіткої логіки можна використовувати під час проведення класифікації процесів. З цією метою лінгвістичні змінні зважуються з врахуванням вагових коефіцієнтів для значень, що знаходяться між станами «ІСТИНА» та «БРЕХНЯ» відповідно. Це досягається шляхом введення поняття «функції належності» та «інформаційних показників». Такі показники мають якнайкраще описувати стан складної ІС. Потрібно зауважити, що введення поняття «нечіткості» до значень елементів, що входять до складу ІС, одразу порушує вимогу підтримання постійності виконання умов рішення задачі. Описується припущення, що при нечіткому моделюванні в експерта, що приймає рішення, може бути одна стратегія, що забезпечує найкращий результат. Для знаходження таких варіантів або стратегій пропонується розглянути нечіткі оцінки наслідків після здійснення вибору при одному чи іншому рішенні (або стратегії) з врахуванням всієї множини існуючих варіантів (стратегій) протилежної сторони як сукупну систему нечітких множин, з можливістю проведення її подальшої заміни іншою нечіткою множиною з трикутною функцією належності. Такий підхід дозволить проводити розгляд інтегральної нечіткої оцінки по відношенню до можливих наслідків від обраного вибору. Наприклад, якщо нечіткі елементи матриці збоїв ІС мають трикутну форму, це також може використовуватися для налаштування роботи системи (рис. 1). Правильність міркувань експерта зводиться відповідно до його суб'єктивного сприйняття. Використовуючи функцію належності інформаційної системи та експертні знання, можна визначити правила налаштування. Нижче наведено приклади таких правил:

- 1) ЯКЩО сталася помилка і є збій в роботі ІС, ТОДІ перезапустити систему;
- 2) ЯКЩО сталася помилка і збій в роботі ІС не відбувся, ТОДІ продовжити спостерігати за роботою системи;
- 3) ЯКЩО помилки нема і є збій в роботі ІС, ТОДІ перезапустити систему;
- 4) ЯКЩО помилки нема і збоїв в роботі ІС нема, ТОДІ продовжити спостерігати за роботою системи.

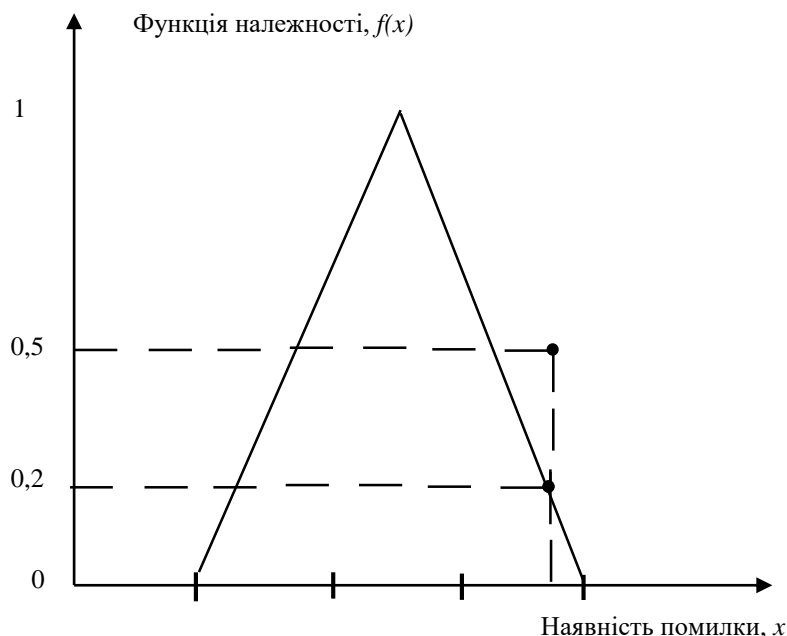


Рис. 1. Функція належності на наявності помилки в роботі системи

Умови функціонування ІС описуються векторами ознак m , і певне значення кожної компоненти вектора ознак є ступенем приписування чи належності відповідної причини несправності. Таким чином, значення інформаційних ознак, як і лінгвістичний опис ступеня помилки, може сприяти ухваленню

рішення на основі функцій належності. Після визначення відповідних коефіцієнтів обчислюється умовна ймовірність нечіткої випадкової події. Для того щоб обробляти узгоджену інформацію, необхідно проводити перетворення посилки, що можуть надходити з різних компонентів та додатків ІС в лінгвістичні описи. Це дозволить проводити обробку методами нечіткої логіки, або переводити лінгвістичний опис процесу за допомогою мови цифр. Такі перетворення називаються «переведення в нечітку форму» (англ. *fuzzification*) і «переведення з нечіткої форми» (англ. *Defuzzification*), зазвичай виконуються за допомогою функцій належності та наявної сукупності правил. На рисунку 2 наведено схему числової інформації, що надходить від пристроїв та додатків ІС, а також від створених експертами лінгвістичних змінних для виявлення помилок та збоїв.

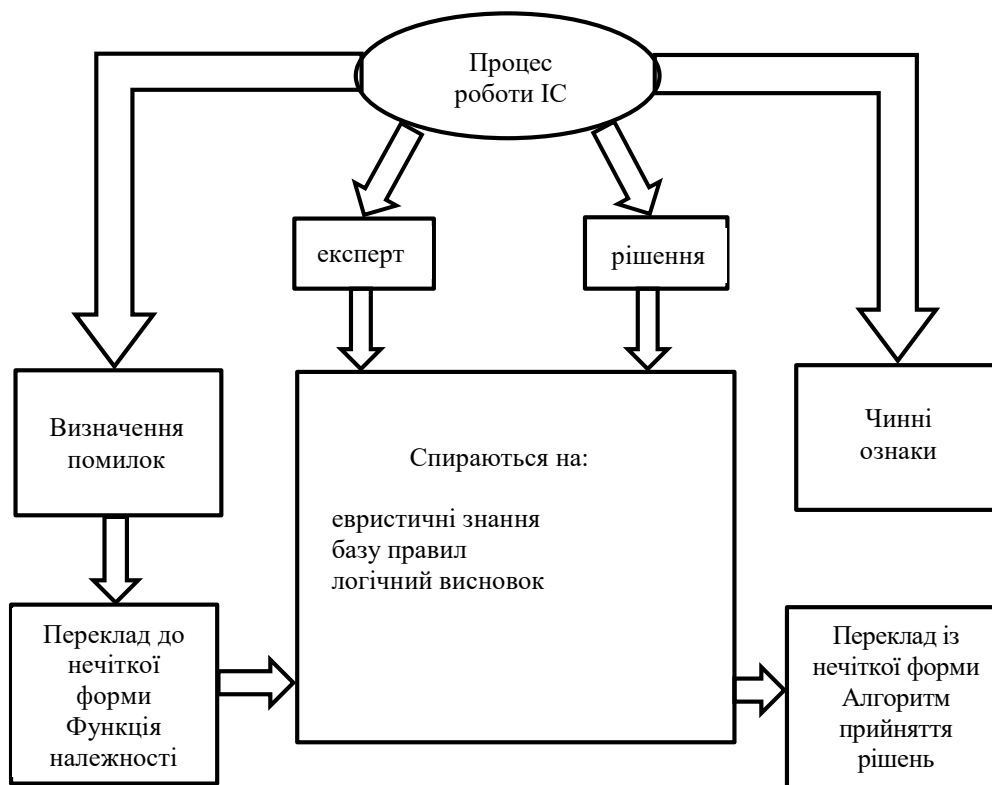


Рис. 2. Схема нечіткої інформаційної системи

Нечіткі правила ґрунтуються на взаємнооднозначній відповідності між причиною та ознаками виникнення помилки. Однак у системах, пов'язаних з роботою інформаційних систем, нерідко виникають помилки, за яких зв'язок між ознаками та причинами виникнення може мати неоднозначний характер. Прості двозначні твердження типу «відсутня» (1) – «наявна» (0) недостатні, оскільки сучасні інформаційні системи мають розпізнавати небезпечні умови роботи, причини та тип виникнення помилок. Крім цього, очікується також інформація про оцінку терміну служби всієї ІС або одної з її складових частин. Застосування нечіткої логіки дозволяє вирішити ці проблеми [4–9]. При нечіткому моделюванні ІС сама класифікація проводиться на основі концепції статистичного Баєсовського класифікатора або спеціальних моделей нечіткої діагностики, які використовують мінімальні та максимальні значення ймовірностей [10]. В даний час використовується модель, запропонована автором Л.А. Заде ще в 1965 р. [11]. Найчастіше її застосування – для керування в побутових приладах, при управлінні якістю та чіткістю зображення у відеокамерах, плавним стартом поїздів метро та хімічними процесами, також теорія нечіткості знайшла своє застосування у сфері інформаційних технологій. Зустрічаються ситуації, в яких рішення за допомогою теорії нечіткості для розпізнавання різних видів збоїв може виявитися кращим. Це, очевидно, відбувається у тому випадку, коли будь-яке математичне моделювання процесу виявляється неможливим, але є евристичні знання досвідчених експертів, і експерти включені у процес прийняття рішення. Ключовий недолік нечіткої логіки полягає в швидшому зростанні необхідної кількості правил залежно від ускладнення процесу, а також може призводити до необхідності проведення великих обсягів обчислень, що збільшує час логічного висновку та ускладнює використання нечітких систем у реальному часі.

Можливі причини того чи іншого збою можуть бути такими:

X_1 – помилки в програмному забезпеченні;

- X_2 – збої в роботі ІТ-систем;
- X_3 – неочікувана поведінка ІТ-систем;
- X_4 – неполадки в ІТ-інфраструктурі;
- X_5 – кібератаки.

Таблиця 1

Належності помилок та збоїв

Збої	Помилки				
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
Y_1	0,8	0,9	0,6	0,7	0,7
Y_2	0,6	0,7	0,5	0,8	0,6
Y_3	0,5	0,6	0,8	0,6	0,5
Y_4	0,5	0,8	0,7	0,6	0,8

Детерміністичні відносини між причиною і наслідком розглядаються як 1, відсутність зв'язку як 0, інші нечіткі відносини як проміжні значення між 0 і 1. Належності помилок та збоїв наведено в таблиці 1. Припустимо, знання експерта з експлуатації та роботи ІС у формі нечітких відносин причин та наслідків мають такий вигляд:

$$R = \begin{matrix} & Y_1 & Y_2 & Y_3 & Y_4 \\ \begin{matrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \\ X_5 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0,8 & 0,6 & 0,5 & 0,5 \\ 0,9 & 0,7 & 0,6 & 0,8 \\ 0,6 & 0,5 & 0,8 & 0,7 \\ 0,7 & 0,8 & 0,6 & 0,6 \\ 0,7 & 0,6 & 0,5 & 0,8 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (1)$$

Метод розв'язання. Припустимо, в результаті огляду ІС експерт оцінює її стан через такі відносини можливих причин та наслідків:

$$B = 0,4/Y_1 + 0,8/Y_2 + 0,3/Y_3 + 0,9/Y_4. \quad (2)$$

Потрібно визначити можливу причину такого стану на основі рівняння:

$$A = a_1/X_1 + a_2/X_2 + a_3/X_3 + a_4/X_4 + a_5/X_5. \quad (3)$$

Рівняння нечітких відносин введених нечітких множин можна подати у вигляді:

$$[0,4 \quad 0,8 \quad 0,3 \quad 0,9] = [a_1 \quad a_2 \quad a_3 \quad a_4 \quad a_5] * \begin{bmatrix} 0,8 & 0,6 & 0,5 & 0,5 \\ 0,9 & 0,7 & 0,6 & 0,8 \\ 0,6 & 0,5 & 0,8 & 0,7 \\ 0,7 & 0,8 & 0,6 & 0,6 \\ 0,7 & 0,6 & 0,5 & 0,8 \end{bmatrix} \quad (4)$$

або, транспонуючи, у вигляді нечітких векторів – стовпчиків:

$$\begin{bmatrix} 0,4 \\ 0,8 \\ 0,3 \\ 0,9 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,8 & 0,9 & 0,6 & 0,7 & 0,7 \\ 0,6 & 0,7 & 0,5 & 0,8 & 0,6 \\ 0,5 & 0,6 & 0,8 & 0,6 & 0,5 \\ 0,5 & 0,8 & 0,7 & 0,6 & 0,8 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Під час використання max-мін композиції останнє співвідношення перетворюється у вигляді:

$$\begin{cases} 0,4 = (0,8 \wedge a_1) \vee (0,9 \wedge a_2) \vee (0,6 \wedge a_3) \vee (0,7 \wedge a_4) \vee (0,7 \wedge a_5) \\ 0,8 = (0,6 \wedge a_1) \vee (0,7 \wedge a_2) \vee (0,5 \wedge a_3) \vee (0,8 \wedge a_4) \vee (0,6 \wedge a_5) \\ 0,3 = (0,5 \wedge a_1) \vee (0,6 \wedge a_2) \vee (0,8 \wedge a_3) \vee (0,6 \wedge a_4) \vee (0,5 \wedge a_5) \\ 0,9 = (0,5 \wedge a_1) \vee (0,8 \wedge a_2) \vee (0,7 \wedge a_3) \vee (0,6 \wedge a_4) \vee (0,8 \wedge a_5) \end{cases} \quad (6)$$

Із першого рівняння отримуємо:

$$0,4 \geq 0,9 \wedge a_2, \quad a_2 \leq 0,4. \quad (7)$$

Із другого рівняння:

$$0,8 \geq 0,8 \wedge a_4, \quad a_4 \leq 0,8. \quad (8)$$

Із третього рівняння:

$$0,3 \geq 0,8 \wedge a_3, \quad a_3 \leq 0,3. \quad (9)$$

Із четвертого рівняння:

$$0,9 \geq 0,8 \wedge a_2, \quad a_2 = 0,9. \quad (10)$$

$$0,9 \geq 0,8 \wedge a_5, \quad a_5 = 0,9. \quad (11)$$

Рішення системи рівнянь дає наступний вектор–стовпчик пріоритетності можливих причин виникнення помилок (табл. 2).

Таблиця 2

Можливі причини виникнення помилок

Можлива помилка	Вектор–стовпчик пріоритетності
Помилки введення та обробки даних: неправильні або неповні дані, дублювання даних, неактуальні дані, неправильні розрахунки, неправильне форматування даних, втрата даних	0,9
Помилки програмного та апаратного забезпечення: програмні помилки, несумісність програмного забезпечення, вразливість програмного забезпечення, відмова апаратного забезпечення, несумісність апаратного забезпечення, фізичне пошкодження	0,8
Помилки людського фактора: неправильне використання, недостатня підготовка, людська помилка	0,3

Можливо також побудувати додатковий ступінь ієрархії інших причинно-наслідкових відносин. Він базується на припущенні, що деякі причини помилок є наслідком деяких більш глибоких причин. Такий підхід є абсолютно новим розвитком співвідношення ознак виникнення помилок і причинами, що їх обумовлюють.

Несправності, виявлені у вектор–стовпчик у пріоритетності ІС, будуть такими (табл. 3):

Y_1 – несправність мережі; Y_2 – несправність безпеки; Y_3 – несправності в налаштуваннях; Y_4 – несправності в адмініструванні; Y_5 – несправності зовнішніх факторів.

Перелік причин виникнення тієї чи іншої несправності наводиться нижче відповідно до вказаних вище наслідків:

X_1 – проблеми з підключенням до мережі, перерви в роботі, перевантаження мережі, кібератаки на мережу; X_2 – кібератаки на систему, неефективні налаштування політик безпеки, несанкціонований доступ до даних або до ІС; X_3 – неоптимальні або неправильні налаштування, що можуть призвести до проблем з продуктивністю та надійністю; X_4 – некомпетентні або ненадійні адміністратори, неефективне або недостатнє адміністрування систем, перебої в електропостачанні, стихійні лиха, політичні події.

Виходячи з викладеного вище, можна скласти структурну схему матриць нечітких відношень між помилками (збоями) та їх наслідками, використовуючи теорію нечітких відносин та експертні оцінки можливих причин помилок.

Таблиця 3

Належності причин та пошкоджень ІС

Збої	Помилки			
	X_1	X_2	X_3	X_4
Y_1	0,1	0,9	0,1	0,4
Y_2	0,9	0,3	0,3	0,2
Y_3	0,7	0,7	1,0	0,6
Y_4	0,2	0,6	0,5	0,9
Y_5	0,7	0,2	0,6	0,3

Розглянемо приклад, коли знання експерта після огляду ІС мають вид нечітких відносин причин і наслідків:

$$R = \begin{matrix} & \begin{matrix} Y_1 & Y_2 & Y_3 & Y_4 & Y_5 \end{matrix} \\ \begin{matrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0,1 & 0,9 & 0,7 & 0,2 & 0,7 \\ 0,9 & 0,3 & 0,7 & 0,6 & 0,2 \\ 0,1 & 0,3 & 1,0 & 0,5 & 0,6 \\ 0,4 & 0,2 & 0,6 & 0,9 & 0,3 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (12)$$

В результаті огляду вимикача його стан можна оцінити, як функцію належності:

$$B = 0,9/Y_1 + 0,7/Y_2 + 0,3/Y_3 + 0,5/Y_4 + 0,8/Y_5. \quad (13)$$

Потрібно визначити можливу причину такого стану:

$$A = a_1/X_1 + a_2/X_2 + a_3/X_3 + a_4/X_4. \quad (14)$$

Відношення введення нечітких множин можна подати у вигляді:

$$[0,9 \quad 0,7 \quad 0,3 \quad 0,5 \quad 0,8] = [a_1 \quad a_2 \quad a_3 \quad a_4] * \begin{bmatrix} 0,1 & 0,9 & 0,7 & 0,2 & 0,7 \\ 0,9 & 0,3 & 0,7 & 0,6 & 0,2 \\ 0,1 & 0,3 & 1,0 & 0,5 & 0,6 \\ 0,4 & 0,2 & 0,6 & 0,9 & 0,3 \end{bmatrix}. \quad (15)$$

або, транспонуючи, у вигляді нечітких векторів – стовпців:

$$\begin{bmatrix} 0,9 \\ 0,7 \\ 0,3 \\ 0,5 \\ 0,8 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,1 & 0,9 & 0,1 & 0,4 \\ 0,9 & 0,3 & 0,3 & 0,2 \\ 0,7 & 0,7 & 1,0 & 0,6 \\ 0,2 & 0,6 & 0,5 & 0,9 \\ 0,7 & 0,2 & 0,6 & 0,3 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{bmatrix}. \quad (16)$$

При використанні max-мін композиції (взяття максимуму з мінімуму) останнє співвідношення перетворюється на вигляд:

$$\begin{cases} 0,9 = (0,1 \wedge a_1) \vee (0,9 \wedge a_2) \vee (0,1 \wedge a_3) \vee (0,4 \wedge a_4) \\ 0,7 = (0,9 \wedge a_1) \vee (0,3 \wedge a_2) \vee (0,3 \wedge a_3) \vee (0,2 \wedge a_4) \\ 0,3 = (0,7 \wedge a_1) \vee (0,7 \wedge a_2) \vee (1,0 \wedge a_3) \vee (0,6 \wedge a_4) \\ 0,5 = (0,2 \wedge a_1) \vee (0,6 \wedge a_2) \vee (0,5 \wedge a_3) \vee (0,9 \wedge a_4) \\ 0,8 = (0,7 \wedge a_1) \vee (0,2 \wedge a_2) \vee (0,6 \wedge a_3) \vee (0,3 \wedge a_4) \end{cases} \quad (17)$$

З першого рівняння отримаємо:

$$0,9 = 0,9 \wedge a_2, \quad a_2 = 0,9. \quad (18)$$

З другого рівняння:

$$0,7 \geq 0,9 \wedge a_1, \quad a_1 \leq 0,7. \quad (19)$$

З третього рівняння:

$$0,3 \geq 1 \wedge a_3, \quad a_3 \leq 0,3. \quad (20)$$

З четвертого рівняння:

$$0,5 \geq 0,9 \wedge a_4, \quad a_4 \leq 0,5. \quad (21)$$

З п'ятого рівняння:

$$0,8 \geq 0,7 \wedge a_1, \quad a_1 \leq 0,8. \quad (22)$$

Розв'язок нечітких рівнянь дозволяє встановити пріоритетність причин помилок для роботи складної ІС (табл. 4).

Таблиця 4

Пріоритетність причин помилок у роботі складної ІС

Можлива причина	ВСП
Несправності апаратного забезпечення	0,9
Несправності програмного забезпечення	0,8
Несправність введення–виведення	0,5
Несправність інтерфейсу користувача	0,3

Висновки та перспективи подальших досліджень. Описаний підхід для визначення невизначеності при моніторингу стану складної інформаційної системи дає ряд переваг порівняно з баєсівським підходом та ґрунтується на основі нечітких множин. Описано проведене нечітке моделювання для проведення аналізу та можливості подальшого прогнозування в складних інформаційних системах. Розглянуто ряд правил, функцію належності трикутної форми, описано схему нечіткої інформаційної системи та розглянуто причини помилок та збоїв, визначено пріоритетність помилок при виникненні збоїв у роботі складних ІС. В подальшому планується провести покращення достовірності інформації, що надходить до експерта для оптимізації трудомісткості, необхідність в яких може виникнути під час проведення адаптації майбутньої бази помилок.

Список використаної літератури:

1. Ghoneima S.S.M. A new approach of DGA interpretation technique for transformer fault diagnosis / S.S.M. Ghoneima, I.B.M. Tahab // Int. Jour. Electr Power and Energy Syst. – 2016. – Vol. 81. – P. 265–274.
2. Usage of nanotechnology based gas sensor for health assessment and maintenance of transformers by DGA method / C.Anjali, B.Partha, N.K. Roy, P.Kumbhakar // Int. Jour. Electr. Power and Energy Syst. – 2013. – Vol. 45. – P. 137–141.
3. Abu-Elanien A. Asset management techniques for transformers / A.Abu-Elanien, M.M.A. Salama // Electr. Power Syst. Research. – 2010. – Vol. 80. – P. 456–464.
4. Arshad M. Fuzzy Logic approach in power transformers management and decision making / M.Arshad, S.M. Islam, A.Khaliq // IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul. – 2014. – Vol. 21. – P. 2343–2354.

5. Rogers R. IEEE and IEC codes to interpret incipient faults in transformer using gas in oil analysis / R.Rogers // IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul. – 1978. – Vol. 13. – P. 349–354.
6. Граф М.С. Обробка сигналів при передачі інформації в безпілотному повітряному судні за допомогою алгоритму перетворення Фур'є / М.С. Граф // Збірник тез XII міжнародної науково-практичної конференції «ІРТК». – К., 2019. – С. 182–183.
7. Граф М.С. Аналіз існуючих методів обробки інформації в блоці керування безпілотного повітряного судна / М.С. Граф // Вісник інженерної академії України. – 2016. – Вип. 4. – С. 20–22.
8. Граф М.С. Прийняття рішень в системі керування безпілотним повітряним судном / М.С. Граф // Збірник тез XIII Міжнародної науково-технічної конференції «АВІА-2017». – К. : НАУ, 2017. – С. 4.36–4.38.
9. Граф М.С. Інтелектуальна система оброблення інформації блока керування безпілотного повітряного судна / М.С. Граф, В.П. Квасніков // Системні дослідження та інформаційні технології. Сер. : Проблеми прийняття рішень та управління в економічних, технічних екологічних і соціальних системах. – 2019. – Вип. 4. – С. 59–65.
10. Pevneva A. Comparison of the probabilistic model of a fuzzy Bayesian classifier and the Gaussian mixture problem / A.Pevneva, I.Pivovarova // Journal of Physics Conference Series. – 2022. – Vol. 2373. – P. 3–7. DOI: 10.1088/1742-6596/2373/6/062022.
11. Zadeh L.A. Fuzzy Sets as a Basis for a Theory of Possibility / L.A. Zadeh // Fuzzy Sets and Systems. – 1978. – Vol. 1. – № 1. – 100 p.

References:

1. Ghoneima, S.S.M. and Tahab, I.B.M. (2016), «A new approach of DGA interpretation technique for transformer fault diagnosis», *Int. Jour. Electr Power and Energy Syst*, Vol. 81, pp. 265–274.
2. Anjali, C., Partha, B., Roy, N.K. and Kumbhakar, P. (2013), «Usage of nanotechnology based gas sensor for health assessment and maintenance of transformers by DGA method», *Int. Jour. Electr. Power and Energy Syst*, Vol. 45, pp. 137–141.
3. Abu-Elanien, A. and Salama, M.M.A. (2010), «Asset management techniques for transformers», *Electr. Power Syst. Research*, Vol. 80, pp. 456–464.
4. Arshad, M., Islam, S.M. and Khaliq, A. (2014), «Fuzzy Logic approach in power transformers management and decision making», *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, Vol. 21, pp. 2343–2354.
5. Rogers, R. (1978), «IEEE and IEC codes to interpret incipient faults in transformer using gas in oil analysis», *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, Vol. 13, pp. 349–354.
6. Hraf, M.S. (2019), «Obrobka syhnaliv pry peredachi informatsii v bezpilotnomu povitriianomu sudni za dopomohoiu alhorytmu peretvorennia Furie», *Zbirnyk tez XII Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «IIRTK»*, K., pp. 182–183.
7. Hraf, M.S. (2016), «Analiz isnuuiuchykh metodiv obrobky informatsii v blotsi keruvannia bezpilotnoho povitriianoho sudna», *Visnyk inzhenernoi akademii Ukrainy*, Issue 4, pp. 20–22.
8. Hraf, M.S. (2017), «Pryiniattia rishen v systemi keruvannia bezpilotnym povitriianym sudnom», *Zbirnyk tez XIII Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii «AVIA-2017»*, NAU, K., pp. 4.36–4.38.
9. Hraf, M.S. and Kvasnikov, V.P. (2019), «Intelektualna systema obroblennia informatsii bloka keruvannia bezpilotnoho povitriianoho sudna», *Systemni doslidzhennia ta informatsiini tekhnolohii. Seriia. Problemy pryiniattia rishen ta upravlinnia v ekonomichnykh, tekhnichnykh ekolohichnykh i sotsialnykh systemakh*, Issue 4, pp. 59–65.
10. Pevneva, A. and Pivovarova, I. (2022), «Comparison of the probabilistic model of a fuzzy Bayesian classifier and the Gaussian mixture problem», *Journal of Physics Conference Series*, Vol. 2373, pp. 3–7, doi: 10.1088/1742-6596/2373/6/062022.
11. Zadeh, L.A. (1978), «Fuzzy Sets as a Basis for a Theory of Possibility», *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 1, No. 1, 100 p.

Граф Марина Сергіївна – доктор філософії з комп'ютерних наук, завідувач кафедри комп'ютерних наук Державного університету «Житомирська політехніка».

<https://orcid.org/0000-0003-4873-548X>.

Наукові інтереси:

- інформаційні системи;
- веборієнтовані системи;
- обробка інформації;
- аналіз даних;
- нейронні мережі;
- нечітка логіка.

Свінцицька Олександра Миколаївна – кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних наук Державного університету «Житомирська політехніка».

<https://orcid.org/0000-0002-2613-2437>.

Наукові інтереси:

- інформаційні технології в креативних індустріях;
- проєктне управління в ІТ;
- нечітка логіка.

Артамонав Євген Борисович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп’ютеризованих систем управління Національного авіаційного університету.

<https://orcid.org/0000-0002-9875-7372>.

Наукові інтереси:

- системне програмування;
- нечіткі системи;
- обробка інформації.

Graf M.S., Svintsytska O.M., Artamonov Y.B.

Fuzzy modelling for analysis and forecasting in complex information systems

Abstract. The article is devoted to the study of the problem of prevention and detection of errors and failures in the operation of complex information systems. In the course of the study, a systematic analysis was carried out to identify possible problems of ensuring the stable operation of the information system and synthesis of the system, which will increase the efficiency of its solution. It is proposed to use fuzzy logic and fuzzy modelling, as well as expert assessments that determine the possibility of technical failures.

The author introduces the concept of fuzziness to the values of the elements that make up the information system. The article describes the assumption that in fuzzy modelling, a decision-maker may have one strategy that provides the best result. In order to find such options or strategies, the article considers fuzzy estimates of consequences taking into account the entire set of existing options, with the possibility of its further replacement by another fuzzy set with a triangular membership function. Such an approach will allow consideration of an integral fuzzy assessment in relation to the possible consequences of the chosen choice. The possible causes of a particular failure are described, the membership and priority of errors and failures are determined.

Keywords: fuzzy logic; modelling; errors; information system; system analysis.

Стаття надійшла до редакції 07.05.2024.