МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДВНЗ «УЖГОРОДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»
ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМ

«ПРОГРАМНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ»

Методичні вказівки до практичних робіт

УЖГОРОД – 2023

Програмні технології підтримки прийняття рішень: методичні вказівки до практичних робіт для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти, спеціальності 121 Інженерія програмного забезпечення факультету інформаційних технологій УжНУ / Укладач: д.т.н., доц. Поліщук В.В. – Ужгород: 2023. – 33 с.

У методичних вказівках до практичних робіт з курсу «Програмні технології підтримки прийняття рішень» сформульовано завдання для практичних робіт, необхідні теоретичні відомості, прикладм роботи алгоритмів, вимоги до порядку виконання та змісту звіту по проробленій роботі. Також наведена програма навчальної дисципліни та перелік запитань на підсумковий контроль.

Укладач: д.т.н., доц. Поліщук В.В., професор кафедри програмного забезпечення систем факультету інформаційних технологій ДВНЗ «УжНУ».

Рецензенти:

д.т.н., проф., декан факультету інформаційних технологій ДВНЗ «УжНУ» Повхан І.Ф.

к.ф-м.н., доц., завідувач кафедри програмного забезпечення систем ДВНЗ «УжНУ» Білак Ю.Ю.

Рекомендовано кафедрою програмного забезпечення систем від «19» травня 2023 р., протокол №11.

Розглянуто і схвалено науково-методичною комісією факультету інформаційних технологій УжНУ. Протокол №9 від 30.06.2023 р.

© УжНУ, 2023

ЗМІСТ

Вступ 4

Програма навчальної дисципліни 6

Практична робота №1. Методи багатокритеріального аналізу альтернатив 8

Практична робота №2. Програмна реалізація прикладної задачі багатокритеріального вибору альтернати по вибраним методикам 14

Практична робота №3. Програмна технологія підтримки прийняття рішень для оцінювання рівня ризику функціонування складних систем 16

Практична робота №4. Програмна технологія оцінювання процесу керованості системи у різних режимах функціонування 22

Перелік питань на підсумковий контроль 30

Література та джерела 32

Вступ

Актуальність вивчення дисципліни зумовлена тим, що процеси ефективне управління знаннями та прийняття рішень мають важливе значення для будь яких управлінців, як державного, так і приватного секторів. Наслідки неправильного прийняття рішень можуть призводити до проблем, як локального, так і глобального рівнів. Кожна складна система функціонування має різний базовий рівень, стосовно унікальності своїх даних. Це певна кількість та якість даних, які можна обробляти. Великі дані в складних системах можуть створюватися з великого набору датчиків, баз даних, інформаційних систем, соціальних мереж і т. д.

Тому діяльність складної системи вимагає прийняття певних рішень, а це в свою чергу пов'язане з оцінюванням майбутнього. Таке оцінювання реалізується шляхом максимального врахування невизначеностей та ризиків.

Сучасна теорія прийняття рішень ґрунтується на комплексній концепції, яка полягає у врахуванні всіх факторів проблемної ситуації, покладається на раціональній інтеграції логічного мислення, матеріальних та технічних засобів. Для врахування всіх факторів необхідно використовувати засоби програмування. Спочатку особа, що приймає рішення (ОПР) і експерти з проблем прийняття рішень змістовно аналізують проблемну ситуацію, що постає, і на підставі своєї логіки та інтуїції сформулюється ціль, досягнення якої, мало б розв'язати проблему. Детальне представлення цілі і власних переваг дозволяє сформулювати способи її досягнення. Кінцевим результатом є обґрунтований вибір, що на думку ОПР вважається найкращим.

Застосування різних математичних підходів починається після формулювання цілі і закінчується пошуком оптимального рішення, що забезпечує найкраще значення критерію або всіх критеріїв. Для цього в сучасному світі використовують програмні засоби, для підвищення якості та точності у обчисленні, а також врахування всіх факторів. Процес прийняття рішень полягає у виборі найкращого (оптимального) серед набору можливих

альтернатив з урахуванням складних рішень. Пошук ефективних стратегій, або методів для сприяння цьому процесу, є не простим завданням через складність проблем.

Актуальність даної дисципліни підтверджується необхідністю розроблення нових моделей та методів підтримки прийняття рішень у різних складних системах. Та підтверджується Європейською стратегією щодо даних для реалізації її до 2030 року, з метою впровадження в ЄС моделей оцінювання даних та знань для прийняття виважених рішень у бізнесі та державному секторі.

Метою вивчення навчальної дисципліни «**Програмні технології підтримки прийняття рішень**» є: формування у студентів системи теоретичних знань моделей і методів підтримки прийняття рішень в умовах ризику та невизначеності; набуття практичних умінь і навичок з питань розробки програмних технологій для підтримки управлінських рішень; вміння документування програмних технологій; вміння розробляти власні системи підтримки прийняття рішень для прикладних задач у різних сферах застосування на основі вивчених моделей та методів, а також засобів програмної підтримки.

Відповідно до освітньої програми, вивчення дисципліни сприяє формуванню у здобувачів вищої освіти такі компетентності.

Інтегральна компетентність (ІК):

Здатність особи розв’язувати складні задачі і проблеми у певній галузі професійної діяльності або у процесі навчання, що передбачає проведення досліджень та/або здійснення інновацій та характеризується в умовах невизначеності та ризику.

Загальні компетентності

– ЗК04. Здатність спілкуватися з представниками інших професійних груп різного рівня (з експертами інших галузей знань/видів економічної діяльності).

Спеціальні (фахові, предметні) компетентності (ФК):

- СК011. Здатність розробляти системи підтримки прийняття рішень.

Програма навчальної дисципліни

Змістовий модуль 1. Основні поняття та загальні питання підтримки прийняття рішень

Тема 1. Вступ. Основні поняття теорії прийняття рішень. Інтелектуальні системи засновані на знаннях. Програмні технології для теорії прийняття рішень.

Тема 2. Складні системи, багатокритеріальний аналіз та проблеми прийняття рішень.

Тема 3. Основні поняття теорії нечітких множин. Лінгвістичні змінні.

Тема 4. Поняття функцій належності, правила їх побудови. Бази знань.

Тема 5. Аналіз факторів впливу на рівень функціонування складних систем.

Змістовий модуль 2. Моделювання підтримки прийняття рішень засобами програмування для різних прикладних задач.

Тема 6. Моделі та засоби багатокритеріального оцінювання альтернатив.

Тема 7. Моделі та методи підтримки прийняття рішень для оцінювання рівня ризику функціонування складних систем.

Тема 8. Гібридна нечітка модель оцінювання суб’єктів управління.

Тема 9. Технологія підвищення безпеки вибору альтернативних варіантів рішень за групами цілей.

Тема 10. Технологія оцінювання процесу керованості системи у різних режимах функціонування.

Самостійна робота

№ п/п	Назва теми
1.	Тема 1. Вступ. Основні поняття теорії прийняття рішень. Інтелектуальні системи засновані на знаннях.Програмні технології для теорії прийняття рішень.
2.	Тема 2. Складні системи, багатокритеріальний аналіз та проблеми прийняття рішень.
3.	Тема 3. Основні поняття теорії нечітких множин. Лінгвістичні змінні.
4.	Тема 4. Поняття функцій належності, правила їх побудови. Бази знань.
5.	Тема 5. Аналіз факторів впливу на рівень функціонування складних систем.
6.	Тема 6. Моделі та засоби багатокритеріального оцінювання альтернатив.
7.	Тема 7. Моделі та методи підтримки прийняття рішень для оцінювання рівня ризику функціонування складних систем.
8.	Тема 8. Гібридна нечітка модель оцінювання суб’єктів управління.
9.	Тема 9. Технологія підвищення безпеки вибору альтернативних варіантів рішень за групами цілей.
10.	Тема 10. Технологія оцінювання процесу керованості системи у різних режимах функціонування.

Практична робота №1. Методи багатокритеріального аналізу альтернатив

Мета роботи: Ознайомлення студентів з методом багатокритеріального вибору альтернатив для створення систем підтримки прийняття рішень. Також вивчення методу багатокритеріального вибору альтернатив, який дасть змогу перейти до єдиної шкали оцінювання багатьох різних критеріїв.

Теоретичні відомості

Частина 1. Основні поняття

Задачі багатокритеріального вибору мають певну складність, яка полягає в неможливості апріорного виділення найкращого варіанту. Саме поняття «найкращого» залежить від психологічного сприйняття ситуації людиною і від множини факторів, які на даний момент розвитку науки та математичного апарату неможливо врахувати в моделі. Розглянемо один із підходів.

Нехай, множину альтернатив позначимо через X, ця множина може бути як скінченою, тобто допустимі альтернативи можна перерахувати $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, так і неперервною заданою умовами-обмеженнями. Позначимо $K = \{K_i, i = 1,2, \dots, m\}$ множину критеріїв ефективності.

Далі будемо розглядати задачі вибору, у яких множина допустимих альтернатив дискретна і скінчена, тоді модель такої задачі може бути представлена у вигляді таблиці 1.1.:

Табл. 1.1. Оцінки альтернатив по критеріям

	x_1	x_2	…	x_n
K_1	O_{11}	O_{12}	…	O_{1n}
K_2				
.	O_{21}	O_{22}	…	O_{2n}
.				
.				
K_m	O_{m1}	O_{m2}	…	O_{mn}

Де o_{ij} – оцінка j-альтернативи за i-критерієм.

Нехай особі, що приймає рішення (ОПР) відомі або може задати вагові коефіцієнти кожному критерію ефективності $\{p_1, p_2, \ldots, p_m\}$ з деякого інтервалу. Тоді можна визначити нормовані вагові коефіцієнти для кожного критерію ефективності відповідно:

$$\alpha_i = \frac{p_i}{\sum_{i=1}^{m} p_i}, i = 1, \ldots, m, \tag{1.1}$$

які відповідають умові

$$\sum_{i=1}^{m} \alpha_i = 1. \tag{1.2}$$

Далі будуємо інтегровану оцінку, як одну із запропонованих згорток, в залежності від психосоматичного настрою ОПР:

1. $M_1(x_j) = \frac{1}{\sum_{i=1}^{m} \frac{\alpha_i}{O_{ij}}}$ - песимістична; (1.3)
2. $M_2(x_j) = \prod_{i=1}^{m} \left(O_{ij}\right)^{\alpha_i}$ - обережна; (1.4)
3. $M_3(x_j) = \sum_{i=1}^{m} \alpha_i O_{ij}$ - середня; (1.5)
4. $M_4(x_j) = \sqrt{\sum_{i=1}^{m} \alpha_i (O_{ij})^2}$ - оптимістична. (1.6)

Між ними існує наступна субординація:

$M_1(x) \leq M_2(x) \leq M_3(x) \leq M_4(x), \forall x \in X$.

Для визначення результативної альтернативи застосовують максимальний вихід по всіх правилах.

Приклад 1.1. Нехай розглянемо задачу вибору найкращого виробника програмного продукту бухгалтерського обліку.

Критерії оцінки виробника:

1. Ціна (грн..);
2. Кількість видів обліків (1-5);
3. Технічні характеристики апаратного забезпечення (високі, середні, малі);
4. Редактор документів (наявний, відсутній);
5. Експорт, імпорт даних (Так, ні);
6. Робота в мережах (Так, ні);
7. Захист інформації (високий, середній, низький);
8. Інтерфейс користувача (простий, середній, складний);
9. Програмний помічник (так, ні).

Нехай нам задано множину альтернатив - x_1, x_2, x_3, x_4, із своїми критеріями $k_1, k_2, ..., k_9$ наступною таблицею:

	x_1	x_2	x_3	x_4
K_1	3000	4000	5000	3500
K_2	4	5	5	3
K_3	високі	середні	високі	малі
K_4	наявний	наявний	наявний	відсутній
K_5	так	ні	ні	так
K_6	так	ні	так	так
K_7	високий	середній	високий	середній
K_8	середній	простий	простий	складний
K_9	так	так	так	ні

Вагомість критеріїв експерт оцінив у числах із інтервалу [0,10] відповідно: {8, 10, 9, 8, 5, 6, 9, 5, 3}.

Розв'язання:

На першому етапі експерт нормує вхідні дані у множину потужності [0; 1].

	x_1	x_2	x_3	x_4
K_1	0,67	0,25	0	0,43
K_2	0,8	1	1	0,6
K_3	0	0,5	0	1
K_4	1	1	1	0
K_5	1	0	0	1
K_6	1	0	1	1
K_7	1	0,7	1	0,7
K_8	0,5	1	1	0
K_9	1	1	1	0

На другому етапі обчислимо нормовані вагові коефіцієнти $\alpha_i, i = 1,2,...,9$ за формулою (1.1) і запишемо їх як множину: {0,13; 0,16; 0,14; 0,13; 0,08; 0,1; 0,14; 0,08; 0,05}.

На третьому етапі для вибору найкращої альтернативи обчислимо середню згортку за допомогою формули (1.5):

$$M_3(x_1) = 0{,}67 * 0{,}13 + 0{,}8 * 0{,}16 + \ldots + 1 * 0{,}05 = 0{,}7438.$$

$$M_3(x_j) = \begin{pmatrix} 0{,}7438 \\ 0{,}6159 \\ 0{,}6508 \\ 0{,}5673 \end{pmatrix}.$$

На останньому етапі вибираємо альтернативу. Найкраща альтернатива буде x_1, оскілки отримала максимальну оцінку.

Частина 2. Прийняття рішень на основі автоматизованого методу нормування вхідних даних

Розглянемо метод багатокритеріального вибору, який дасть змогу перейти до єдиної шкали оцінювання багатьох різних критеріїв. Даний метод засновується для визначення вузького набору можливих рішень, значення яких ближче до ідеальної точки, тобто посилання точки в просторі цільових функцій.

Означення. Точкою «задоволення вимог ОПР» називається уявна альтернатива, в якої оцінки по всіх критеріях могли б задовольняти ОПР.

Множину альтернатив позначимо через *X*, множину критеріїв ефективності – $K = \{K_i, i = 1,2, \ldots, m\}$.

Модель такої задачі може бути представлена у вигляді таблиці 1.1.

Визначимо матрицю $Z = \{z_{ij}\}$, де

$$z_{ij} = 1 - \frac{|t_i - o_{ij}|}{max\left\{t_i - \min_j o_{ij}; \max_j o_{ij} - t_i\right\}}, i = 1, \ldots, m, j = 1, \ldots, n. \quad (2.1)$$

Нехай ОПР відомі або може задати вагові коефіцієнти кожному критерію ефективності $\{p_1, p_2, \ldots, p_m\}$. Тоді можна визначити нормовані вагові коефіцієнти для кожного критерію ефективності відповідно до формул (1.1) і (1.2) (лабораторна робота №1).

Для прийняття рішень будуємо одну із інтегрованих оцінок за формулами (1.3)-(1.6).

Приклад 2.1.

Нехай нам задано множину альтернатив – x_1, x_2, x_3, x_4, та критеріїв k_1, k_2, k_3, k_4 за наступною таблицею:

	x_1	x_2	x_3	x_4
K_1	10	20	20	20
K_2	0	10	10	20
K_3	15	0	20	15
K_4	25	15	5	5

Точку «задоволення вимог ОПР» експерт задав наступну: T={20; 20; 15; 20}. Вагомість критеріїв експерт оцінив у числах із інтервалу [0,10] відповідно: {8, 10, 9, 8}.

Серед альтернатив x_1, x_2, x_3, x_4 особа, що приймає рішення має обрати одну відносно заданої точки задоволення.

Розв'язання:

1. Нормовані вагові коефіцієнти $\alpha_i, i = 1,2,3,4$ обчислимо за формулою (1.1) і запишемо як множину: {0,23; 0,29; 0,26; 0,23}.

2. Обчислимо матрицю за формулою (2.1) $Z = \{z_{ij}\}$:

$$Z = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0{,}5 & 0{,}5 & 1 \\ 1 & 0 & 0{,}67 & 1 \\ 0{,}67 & 0{,}67 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

3. Вибір найкращої альтернативи здійснимо за середньою згорткою, формула (1.5):

$$M_3(x_1) = 0 * 0{,}23 + 0 * 0{,}29 + 1 * 0{,}26 + 0{,}67 * 0{,}23 = 0{,}41.$$

$$M_3(x_j) = \begin{pmatrix} 0{,}41 \\ 0{,}52 \\ 0{,}54 \\ 0{,}77 \end{pmatrix}.$$

Найкраща альтернатива - x_4.

Завдання студентам

1. Скласти програму підтримку прийняття рішень для вибору найкращого альтернативного рішення по заданій кількості альтернатив та критеріїв. Методи обчислення реалізувати двома вищенаведеними підходами для вибраної власної прикладної задачі. Ваги критеріїв користувач вводить з довільного інтервалу.

2. У програмі передбачити можливість вибору користувачем однієї із згорток для прийняття рішень: песимістичну, обережну, середню або оптимістичну.

3. Порівняти отримані результати по різних згортках та підходах.

4. Оформити звіт про виконану роботу.

Порядок виконання роботи

1. Вивчити теоретичні відомості для вибору найкращого варіанту рішення використовуючи наведені згортки.

2. Написати програму.

3. Зробити звіт.

Зміст звіту

1. Скласти структурну схему програми.
2. Зробити інструкцію роботи програми для користувача.
3. Навести лістинг програми.
4. Результати роботи програми відобразити у скриншотах.
5. Зробити висновки – порівняння різних видів згорток.

Практична робота №2. Програмна реалізація прикладної задачі багатокритеріального вибору альтернати по вибраним методикам

Мета роботи: Ознайомлення студентів з сучасними методами багатокритеріального прийняття рішень.

Завдання студентам

1. Скласти програму підтримку прийняття рішень для вибору найкращого альтернативного рішення для вибраної власної прикладної задачі.

Вибрати метод для реалізації обчислення з списку:

1. Best worst method (BWM)
2. Brown–Gibson model
3. Data envelopment analysis
4. Decision EXpert (DEX)
5. Rough set
6. Dominance-based rough set approach
7. ELECTRE
8. Evaluation Based on Distance from Average Solution (EDAS)
9. Evidential reasoning approach (ER)
10. Goal programming (GP)
11. Grey relational analysis (GRA)
12. Inner product of vectors (IPV)
13. Measuring Attractiveness by a categorical Based Evaluation Technique (MACBETH)
14. Multi-Attribute Global Inference of Quality (MAGIQ)
15. Multi-attribute utility theory (MAUT)
16. Multi-attribute value theory (MAVT)
17. New Approach to Appraisal (NATA)
18. Ordinal Priority Approach (OPA)
19. Potentially All Pairwise RanKings of all possible Alternatives (PAPRIKA)

20. PROMETHEE (Outranking)
21. Stochastic Multicriteria Acceptability Analysis (SMAA)
22. Superiority and inferiority ranking method (SIR method)
23. System Redesigning to Creating Shared Value (SYRCS)[60]
24. Value analysis (VA)
25. Value engineering (VE)
26. Weighted product model (WPM)
27. Weighted sum model (WSM)

2. Зробити доповідь по вибраному методу.
3. Розв’язати вибраним методом задачу, що була реалізована у Лабораторній роботі №1.
4. Оформити звіт про виконану роботу.

Порядок виконання роботи

1. Вивчити теоретичні відомості.
2. Написати програму.
3. Представити результати.
4. Зробити звіт.

Зміст звіту

1. Скласти структурну схему програми.
2. Зробити інструкцію роботи програми для користувача.
3. Навести лістинг програми.
4. Результати роботи програми відобразити у скриншотах.

Практична робота №3. Програмна технологія підтримки прийняття рішень для оцінювання рівня ризику функціонування складних систем

Мета роботи: Ознайомлення студентів з сучасними методами підтримки прийняття рішень на основі оцінки рівня ризику функціонування складних систем.

Теоретичні відомості

Наводиться нечітка модель оцінювання ризику функціонування систем із застосування інтелектуального аналізу даних, що може бути застосована для різних задач, наприклад: оцінювання ризиків безпеки мережевих систем; оцінювання ризиків фінансування проектів; оцінювання ризику системи муніципалітету та інші.

Нехай маємо складну систему функціонування S, що складається з множини об'єктів дослідження (складних систем) $X = \{x_1, x_2, \ldots, x_n\}$. Кожний об'єкт дослідження має свій набір критеріїв оцінювання ризику функціонування об'єкту $K_i = \{K_{i1}; K_{i2}; \ldots; K_{im_i}\}, i = \overline{1, n}$. Оцінювання критеріїв пропонується гібридним чином, на основі досвіду експертів для системи функціонування та інтелектуальним аналізом кількісних даних. Кожен показник системи функціонування оцінюється деяким експертом за допомогою лінгвістичної змінної T, наприклад: високий рівень критерію; рівень критерію вище середнього; середній рівень критерію та інші.

Крім цього, для кожного критерію отримується кількісна оцінка ризику δ з інтервалу [0; 1], наприклад в межах аналізу „Big data", або присвоюється кількісна оцінка ризику експертним чином, наприклад впевненістю міркувань експерта. Вхідні дані, оцінювання ризику функціонування системи наступні: t_{ij} – змінна з терм-множини T у i-му об'єкті дослідження за j-м критерієм; δ_{ij} – кількісна оцінка з інтервалу [0; 1], по i-му об'єкті дослідження та j-му критерію, $i = \overline{1, n}$, j= $\overline{1, m_i}$.

Формально представимо нечітку модель оцінювання ризику функціонування системи у наступному вигляд:

$$\Delta(t;\delta) \to \tau(R(S);Y). \quad (1)$$

Δ – оператор, що ставить у відповідність множину вихідних значень τ, при вхідних змінних $t;\delta$. Вхідними даними моделі є: t – експертний рівень критерію по об'єкту дослідження системи функціонування; δ - кількісна оцінка розглядуваного критерію. На виході моделі оцінювання маємо: $R(S)$ – ризик-орієнтована оцінка функціонування системи; Y – рівень керованості процесами у системі.

На основі нечіткої моделі оцінювання сконструюємо узагальнений покроковий алгоритм.

1 крок. Фазифікація вхідних гібридних даних.

Нехай терм-множину лінгвістичних змінних T представимо на деякому числовому проміжку для розмежування термів $[a_1;a_{k+1}]$, k – кількість лінгвістичних змінних. Значення розбиття проміжків можуть налаштовуватись та змінюватись, у процесі використання реальних даних системи функціонування. Залежність рівня критерію об'єкта дослідження t_{ij} та кількісної оцінки розглядуваного критерію δ_{ij} $(i=\overline{1,n};\mathrm{j}=\overline{1,m_i})$ пропонуємо розглядати за допомогою функцій належності. Це дозволить, адекватно порівнювати дані. Оскільки, кількісні значення δ_{ij} відомо та відомо інтервали числових значень для t_{ij}, тоді для кожного критерію по підсистемам, необхідно виразити залежність з функції належності:

$$\chi_{ij} = \begin{cases} \sqrt{\dfrac{\delta_{ij}}{2}}(b-a)+a, & 0 \le \delta_{ij} \le 0{,}5; \\ b-\sqrt{\dfrac{1-\delta_{ij}}{2}}(b-a), & 0{,}5 < \delta_{ij} \le 1. \end{cases} \quad (2)$$

Оскільки, терми визначені на деякому інтервалі значень, тоді отримані значення χ_{ij} нормуємо:

$$\theta_{ij} = \chi_{ij}/a_{k+1}. \quad (3)$$

Отримане значення θ_{ij}, $(i=\overline{1,n};j=\overline{1,m_i})$ інтерпретуються, як функція розкриття невизначеності нечітких експертних міркувань, щодо рівня критерію

в об'єкті дослідження та кількісної оцінки розглядуваного критерію. Отже, на першому кроці було здійснено фазифікацію вхідних гібридних даних і перейшли від лінгвістичних та кількісних оцінок, до однієї оцінки.

2 крок. Агрегування фазифікованих вхідних гібридних даних в межах складної системи.

На другому кроці виводиться агреговане значення для об'єктів дослідження $x_1; x_2; \ldots; x_n$, за наступною формулою:

$$\varphi_i = \frac{1}{m_i} \sum_{j=1}^{m_i} \theta_{ij}. \tag{4}$$

Де m_i, $i = \overline{1, n}$ кількість критеріїв для об'єкту дослідження x_i. Оцінки $\varphi_i \in [0; 1]$ представляють собою кількісні, нормовані показники, відповідного об'єкту дослідження x_i в системі S. Чим більше значення $\varphi_i \in [0; 1]$, тим гірший рівень керованості відповідного об'єкту дослідження.

3 крок. Врахування важливості об'єктів дослідження.

Нехай для прийняття подальших рішень, щодо оцінювання ризику функціонування системи, існує потреба по кожному об'єкту дослідження задати вагові коефіцієнти $\{w_1, w_2, \ldots, w_n\}$ з інтервалу [1;10]. Якщо експерти не мають у цьому потреби, не зменшуючи загальності, об'єкти дослідження будемо вважати рівноважливими. Оскільки всі обчислення зводимо до однієї шкали вимірювання, тоді визначити нормовані вагові коефіцієнти v_i використовуючи різні підходи.

4 крок. Дефазифікація даних.

Обчислюється агрегована ризик-орієнтована оцінка функціонування системи S. Отримані оцінки $\varphi_i, i = \overline{1, n}$ є нормовані, але необхідно змінити направленість цілі, оскільки чим менше φ_i тим менший ризик, а чим більше v тим важливіший об'єкт дослідження у функціонуванні системи. Для цього скористаємось однією із згорток, змінюючи направленість цілі. Наприклад, ризик-орієнтована оцінка згідно середніх міркування експертів буде мати вигляд:

$$R_3(S) = \sum_{i=1}^{n} v_i(1 - \varphi_i). \quad (5)$$

Оцінки $R(S)$ нормовані, тому ОПР, на основі досвіду та знань у розв'язуваній прикладній задачі може зоставити розмежування між рівнями керованості процесами у системі Y.

Приклад

Розглянемо приклад для визначення рівня керованості процесами у системі деякого авіапідприємства враховуючи ризик-орієнтовані фактори впливу на неї. Наприклад, ризик-орієнтовані фактори впливу керованості процесами системи авіапідприємства, наступна множина $F_R = \{R_1, R_2, \dots, R_{12}\}$:

R_1 – ризик у перервах надання авіаційних послуг;

R_2 – ризики конкуренції;

R_3 – ризики стагнації на ринку авіаційних послуг;

R_4 – ризики стихійних лих;

R_5 – ризики змін регулятора та в законодавстві;

R_6 – ризики політичних та соціальних криз;

R_7 – ризики зміни ціни сировини;

R_8 – ризики технологічних інновацій;

R_9 – ризики кібер-загроз;

R_{10} – ризики тероризму;

R_{11} – ризики забруднення навколишнього середовища;

R_{12} – ризики вибухонебезпеки.

Нехай група експертів, на основі досвіду та знань про систему авіапідприємства, проаналізували та вставили одну лінгвістичну оцінку кожному показнику F_R. Терм-множину пропонуємо наступну $T = \{T_1; T_2; T_3; T_4; T_5\}$, де: T_1 – «незначний ризик»; T_2 – «низький ризик»; T_3 – «середній ризик»; T_4 – «високий ризик»; T_5 – «граничний ризик». Крім цього, до кожної оцінки експерт ставить число «достовірності» $\mu(T)$ своїх міркувань з інтервалу [0; 1]. Зобразимо навчальні тестові вхідні дані та вагові коефіцієнти w (інтервал [1; 10]) на рис. 1.

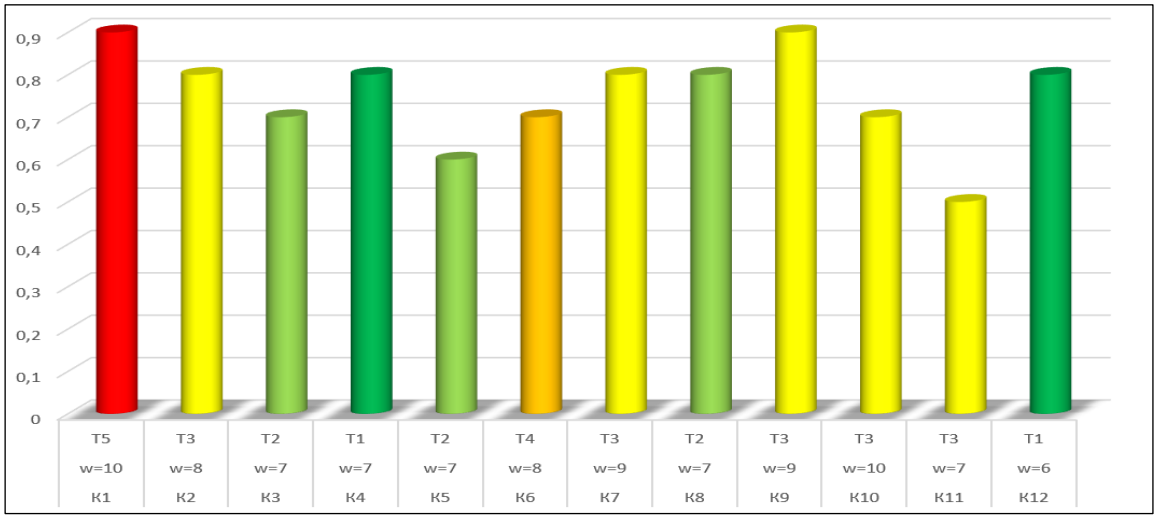

Рис. 1. Візуалізація вхідних даних

1 крок. Фазифікація вхідних гібридних даних.

Перш за все, здійснимо фазифікацію вхідних гібридних даних. Терми визначаємо на відсотковій шкалі, для розмежування термів [0; 100], де T_1 – [0; 20], T_2 – [20; 40], T_3 – [40; 60], T_4 – [60; 80] , T_5 – [80; 100]. Далі вибирається квадратичний S-сплайн функцію належності, та на основі вхідних даних обчислюється χ (за підходом з формули (2)): χ =(32,91; 36,75; 40,83; 36,75; 45,22; 40,83; 36,75; 36,75; 32,91; 40,83; 50; 36,75). Далі за формулою (3) нормуємо отримані значення: θ= (0,33; 0,37; 0,41; 0,37; 0,45; 0,41; 0,37; 0,37; 0,33; 0,41; 0,50; 0,37).

2 крок. Агрегування фазифікованих вхідних гібридних даних в межах складної системи.

Оскільки у досліджуваній системі авіапідприємства ризик-орієнтовані фактори впливу не класифікуємо по групах об’єктів дослідження або підсистемах, вони вже є окремими об’єктами, тому цей крок пропускається.

3 крок. Врахування важливості ризик-орієнтованих факторів впливу.

Нехай фактори впливу розглядаються окремо, як об’єкти дослідження, що мають свою важливість w. Тоді визначимо нормовані вагові коефіцієнти відповідно за: $v_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^{12} w_i}, i = \overline{1,12}$.

v=(0,105; 0,084; 0,074; 0,074; 0,074; 0,084; 0,095; 0,074; 0,095; 0,105; 0,074; 0,063).

4 крок. Дефазифікація даних.

Обчислюється агрегована ризик-орієнтована оцінка функціонування авіапідприємства, за формулою (5): $R_3(S)$ =0,613.

Розмежування між рівнями керованості процесами у системі враховуючи ризик-орієнтовані фактори впливу пропонуємо наступним чином: $R \in (0{,}8;\ 1]$низький; $R \in (0{,}6;\ 0{,}8]$ нижче середнього; $R \in (0{,}4;\ 0{,}6]$ середній; $R \in (0{,}2;\ 0{,}4]$ вище середнього; $R \in [0;\ 0{,}2]$ високий.

Розмежування між рівнями визначаються або експертним чином, або шляхом методів навчання при наявності достовірної, достатньо великої вибірки даних. В результаті на тестовому прикладі можемо зробити висновок, що авіапідприємство має рівень керованості процесами враховуючи ризик-орієнтовані фактори впливу його діяльності – нижче середнього.

Завдання студентам

1. Скласти програму підтримку прийняття рішень для оцінки рівня ризику функціонування складних систем.
2. Оформити звіт про виконану роботу.

Порядок виконання роботи

1. Вивчити теоретичні відомості.
2. Написати програму.
3. Представити результати.
4. Зробити звіт.

Зміст звіту

1. Скласти структурну схему програми.
2. Зробити інструкцію роботи програми для користувача.
3. Навести лістинг програми.
4. Результати роботи програми відобразити у скриншотах.

Практична робота №4. Програмна технологія оцінювання процесу керованості системи у різних режимах функціонування

Мета роботи: Ознайомлення студентів з сучасними методами для оцінювання процесу керованості системи у різних режимах функціонування.

Теоретичні відомості

Вхідні дані, для визначення рівня керованості процесами у складних системах враховуючи різні режими функціонування наступні: t_i – змінна з терм-множини T для i-го критерію; q_i – кількісна оцінка з інтервалу [0; 1], i-го критерію, $i = \overline{1, m}$.

Для цього, кожному вхідному значенню $(t_i; q_i)$ ставиться у відповідність значення функції належності $\mu(t_i)$. Щоб отримати нормовану оцінку вхідних даних побудуємо правила належності.

Нехай терм-множина лінгвістичних змінних T представлена на деякому числовому проміжку, для розмежування термів $[a_0; a_l]$, де $T_1 \in [a_0; a_1]$, $T_2 \in [a_1; a_2]$, ..., $T_l \in [a_{l-1}; a_l]$. Значення розбиття проміжків можуть налаштовуватись та змінюватись, у процесі використання реальних даних складної системи функціонування.

Далі обчислюємо критеріальні оцінки O_i, використовуючи лінгвістичні змінні T, кількісні оцінки q та значення розбиття проміжків $[a_0; a_l]$, наприклад, за допомогою наступної характеристичної функції:

$$O_i = \begin{cases} a_1 \cdot q_i, & \text{якщо} \quad t_i \in T_1; \\ a_2 \cdot q_i, & \text{якщо} \quad t_i \in T_2; \\ \dots & \dots \quad \dots; \\ a_l \cdot q_i, & \text{якщо} \quad t_i \in T_l. \end{cases} \quad i = \overline{1, m}. \tag{2}$$

В залежності від прикладної задачі, не зменшуючи загальності, системний аналітик може використати і інші відомі методи систем нечіткого логічного виведення для агрегування якісних та кількісних даних.

Це дасть можливість об'єднати кількісні оцінки та думки експертів. Далі для порівняння даних необхідно нормувати отримані оцінки. Це зробити пропонуємо за допомогою функцій належності. Від прикладної задачі, оцінюваної складної системи, або підсистеми залежить тип невизначеності, наприклад: приблизно дорівнює, середнє значення, невелике значення, високий рівень, і т.д. Враховуючи тип невизначеності аналітики здійснюють вибір функції належності. Наприклад, такий вибір для невизначеності типу «високий рівень», вид S-подібної функції належності буде мати вигляд:

$$\mu(O_i) = \begin{cases} 0, & O_i \le a_0 \\ 2\left(\frac{O_i - a_0}{a_l - a_0}\right)^2, & a_0 < O_i \le \frac{a_0 + a_l}{2} \\ 1 - 2\left(\frac{a_l - O_i}{a_l - a_0}\right)^2, & \frac{a_0 + a_l}{2} < O_i < a_l \\ 1, & O_i \ge a_l \end{cases}. \quad i = \overline{1, m}. \tag{3}$$

Побудована у такий спосіб функція належності говорить про те, що отримане значення $\mu(O_i) \in [0; 1]$ буде прямувати до 1, у тому випадку, якщо високий рівень *i*-го показника функціонування системи.

Отже, на основі використання нечітких множин, розкривається суб'єктивність експертних думок і здійснюється перехід від нечітких експертних лінгвістичних та кількісних оцінок, до нормованих і порівнюваних.

На другому етапі здійснимо агрегування оцінок показників системи з огляду на міркування ОПР. Нехай ОПР за кожним показником системи може задати вагові коефіцієнти v_i, $i = \overline{1, m}$, з деякого інтервалу [1; 10]. В іншому випадку, критерії можуть бути рівно важливими і відповідно нормовані вагові коефіцієнти визначаються:

$$w_i = \frac{v_i}{\sum_{i=1}^{m} v_i}, i = \overline{1, m}. \tag{4}$$

Далі будується функція належності, як одна із запропонованих згорток, в залежності від міркувань ОПР, щодо розгортання подій:

$$M_1(S) = \frac{1}{\sum_{i=1}^{m} \frac{w_i}{\mu(O_i)}} \text{ – песимістичний сценарій розгортання} \tag{5}$$

подій;

$M_2(S) = \prod_{i=1}^{m}(\mu(O_i))^{w_i}$ – обережний сценарій розгортання (6)

подій;

$M_3(S) = \sum_{i=1}^{m} w_i \cdot \mu(O_i)$ – середній сценарій розгортання (7)

подій;

$M_4(S) = \sqrt{\sum_{i=1}^{m} w_i(\mu(O_i))^2}$ – оптимістичний сценарій (8)

розгортання подій.

Де w_i $(i = \overline{1,m})$ нормовані вагові коефіцієнти для кожного критерію.

Між ними існує наступна субординація: $\mathrm{M}_1(\mathrm{S}) \leq \mathrm{M}_2(\mathrm{S}) \leq \mathrm{M}_3(\mathrm{S}) \leq \mathrm{M}_4(\mathrm{S})$

Далі, спочатку, здійснимо проектування сценарію розгортання подій на «тренд рівня керованості процесами у системі».

Тут потрібно побудувати функцію належності, що утворює наступну залежність: чим більша агрегована оцінка системи, тим вищий рівень керованості процесів у системі. З огляду на це, розглянемо залежність у вигляді S-лінійної функції належності, яку назвемо «тренд рівня керованості процесами у системі»:

$$M_g(S) = \begin{cases} 0, & R_g < a; \\ \dfrac{R_{g-a}}{b-a}, & a \leq R_g \leq b; \\ 1, & R_g > b. \end{cases} \quad (9)$$

Де a, b числові значення.

Так-як, значення відповідної згортки $\mathrm{M_g(S)}$ $(g = \overline{1,4})$ відомі, тоді з формули (9) обчислимо R_g . Отримані значення R_g – це оцінка проекції «тренду рівня керованості процесами у системі» на агреговану оцінку системи функціонування, з огляду на міркування ОПР.

Далі здійснимо оцінювання рівня керованості процесами у різних режимах функціонування системи. Графічно це можемо інтерпретувати у вигляді рис. 1.

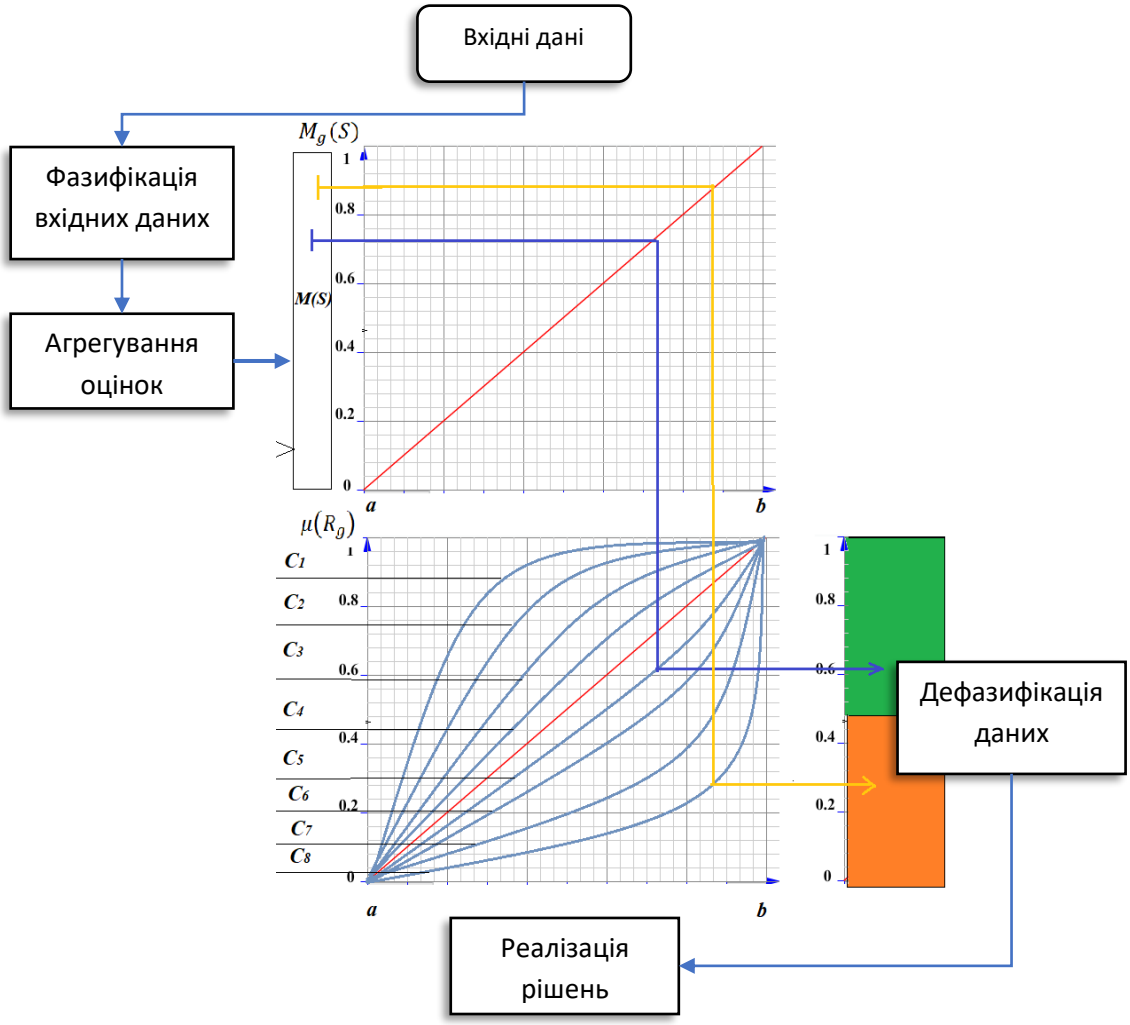

Рис 1: Графічна інтерпретація нечіткої моделі

Нехай маємо режими функціонування системи $C = (C_1, C_2, \ldots, C_8)$. З наростанням надзвичайної ситуації, швидко змінюються величини, що впливають на стійкість функціонування будь-якої системи, а отже і на зниження рівня керованості процесами у системі. Для цього введемо поняття, деяких апріорно заданих, допустимих значень – «поріг можливості функціонування системи».

Для інтерпретації залежності агрегованої оцінки та рівня керованості процесами в системі відносно режимів функціонування системи, пропонується наступна функція:

$$\mu_C(R_g) = 1 - \begin{cases} 0, & R_g < a; \\ \left(\frac{R_g - a}{b - a}\right)^k, & a \le R_g \le b; \\ 1, & R_g > b. \end{cases} \quad (10)$$

Де $к$ – поріг можливості функціонування системи. Значення даного порогу змінюється в залежності від режимів, в якому ОПР потрібно приймати рішення. Наприклад, експериментально поставимо:

k= 2 для штатного режиму C_1;

k= $\frac{7}{4}$ для позаштатної ситуації C_2;

k= $\frac{3}{2}$ для критичної ситуації C_3;

k= $\frac{5}{4}$ для надзвичайної ситуації C_4;

k= $\frac{3}{4}$ для аварійної ситуації C_5;

k= $\frac{1}{2}$ для аварії C_6;

k= $\frac{1}{4}$ для катастрофічної ситуації C_7;

k= $\frac{1}{8}$ для катастрофи C_8.

Тоді за формулою (10) отримаємо оцінку керованості процесами у складних системах враховуючи різні режими функціонування $\mu_{C_1}(R_g)$,$\mu_{C_2}(R_g)$,...,$\mu_{C_8}(R_g)$, $g = \overline{1,4}$.

Отже, отримані значення – це оцінки керованості процесами у складних системах за g-м міркуванням ОПР щодо сценарію розгортання подій у відповідному режимі функціонування системи.

На останньому етапі здійснюємо дефазифікацію даних. На основі отриманої оцінки керованості процесами у складних системах, враховуючи режим функціонування, робимо висновки для подальшого вибору та реалізації рішень. Наприклад, можемо визначити рівень безпечного стану функціонування системи, для недопущення негативних наслідків чи впевненості досягнення цілей системою. Для цього ОПР ставить деякий поріг $\alpha \in (0; 1)$. Наприклад:

$\mu_C(R_g) \in [0; \alpha)$ – не безпечний стан функціонування системи та низький рівень досягнення цілей системою у відповідному режимі функціонування системи C та відносно сценарію розгортання подій g;

$\mu_C(R_g) \in [\alpha; 1]$ – безпечний стан функціонування системи та високий рівень досягнення цілей системою у відповідному режимі функціонування системи C та відносно сценарію розгортання подій g.

Приклад

Розглянемо приклад розробленої нечіткої моделі визначення рівня керованості процесами у інформаційних системах менеджменту аеропорту, при загрозах безпеки даних, враховуючи різні режими функціонування. Розглянемо шість показників активів діяльності аеропорту:

K_1 – інтелектуальні системи спостереження;

K_2 – метеорологічні інформаційні системи;

K_3 – інформаційні системи управління виїздом;

K_4 – система моніторингу злітно-посадкової смуги;

K_5 – програмне забезпечення;

K_6 – система відображення інформації про польоти.

Група експертів з безпеки, на основі досвіду та знань про об'єкт дослідження, проаналізували та вставили одну лінгвістичну оцінку кожному показнику K. Терм-множину пропонуємо наступну $T = \{T_1; T_2; T_3; T_4; T_5\}$, де: T_1 – «низький рівень захисту»; T_2 – «рівень захисту нижче середнього»; T_3 – «середній рівень захисту»; T_4 – «рівень захисту вище середнього»; T_5 – «високий рівень захисту». Крім цього, кожен актив має кількісний рівень q, з інтервалу [0; 1], захищеності системи, щодо загроз безпеки даних отриману за допомогою моделювання нечітких знань. Зобразимо навчальні тестові вхідні дані та вагові коефіцієнти (інтервал [1; 10]) на рис. 2.

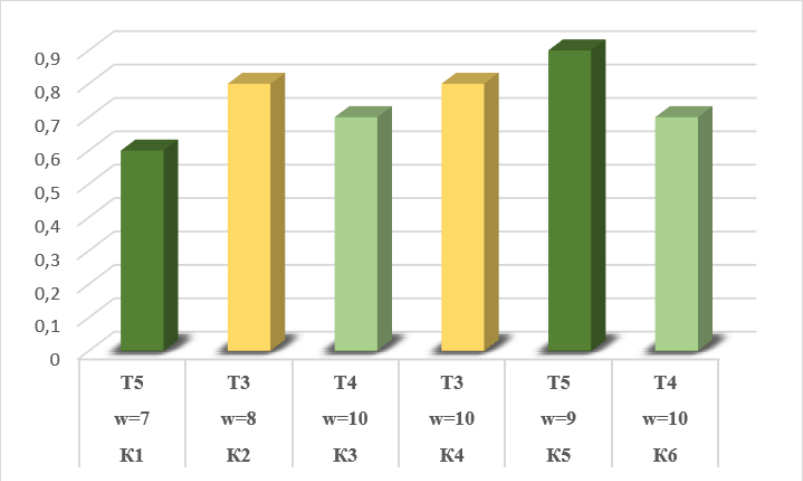

Рис. 2: Візуалізація вхідних даних

Здійснимо оцінювання рівня керованості процесами у системах менеджменту аеропорту згідно наведеної вище нечіткої моделі.

На першому етапі здійснимо фазифікацію вхідних даних з використанням нечітких множин. Оскільки показники характеризують рівень захищеності системи, тоді терм-множину лінгвістичних змінних T представлено на відсотковому числовому проміжку, для розмежування термів $[0; 100]$, де $T_1 \in [0; 20]$, $T_2 \in (20; 40]$, $T_3 \in (40; 60]$, $T_4 \in (60; 80]$, $T_5 \in (80; 100]$. Обчислимо критеріальні оцінки за формулою (2): *O=(60; 48; 56; 48; 90; 56)*. Так, як чим вища оцінки тим вищий рівень захищеності системи, тоді введемо в розгляд S-подібну функцію належності та обчислимо значення за формулою (3): $\mu(O)$*=(0,68; 0,47; 0,61; 0,46; 0,98; 0,61)*.

Далі обчислюємо нормовані вагові коефіцієнти за формулою (6): *w=(0,13; 0,148; 0,185; 0,185; 0,167; 0,185)*.

Нехай ОПР оцінює середній сценарій розгортання подій, тоді обчислюємо згортку активів діяльності аеропорту за формулою (7): $M_3(S)$=0,632.

На наступному етапі обчислимо оцінку проекції «тренду рівня керованості процесами у системі» на агреговану оцінку функціонування системи, за формулою (9), покладаючи *a=0, b=100*: $R_3 = 63{,}204$.

Обчислимо оцінку рівня керованості процесами у інформаційних системах менеджменту аеропорту, при загрозах безпеки даних, за формулою (10) для

трьох режимів: для штатного режиму (k= 2) – $\mu_{C_1}(R_3)$ =0,6; для критичної ситуації (k= $\frac{3}{2}$) – $\mu_{C_3}(R_3)$ =0,49; для аварійної ситуації (k= $\frac{3}{4}$) – $\mu_{C_5}(R_3)$ =0,29.

На основі отриманих оцінок робимо наступні висновки. При порозі $\alpha = 0{,}5$ у критичній та аварійній ситуаціях не безпечний стан функціонування системи та низький рівень досягнення цілей системою, а у штатному режимі інформаційна система менеджменту аеропорту, при загрозах безпеки даних, має безпечний стан.

Завдання студентам

1. Скласти програму підтримку прийняття рішень для оцінки рівня ризику функціонування складних систем.
2. Оформити звіт про виконану роботу.

Порядок виконання роботи

1. Вивчити теоретичні відомості.
2. Написати програму.
3. Представити результати.
4. Зробити звіт.

Зміст звіту

1. Скласти структурну схему програми.
2. Зробити інструкцію роботи програми для користувача.
3. Навести лістинг програми.
4. Результати роботи програми відобразити у скриншотах.

Перелік питань на підсумковий контроль

1. Основні поняття теорії прийняття рішень.
2. Основні поняття інтелектуальних систем.
3. Що собою представляють системи, засновані на знаннях.
4. Основні поняття експертних систем.
5. Властивості експертних систем.
6. Класифікація експертних систем.
7. Фахівці з розробки та експлуатації експертної системи.
8. Етапи методології розробки експертних систем.
9. Види модифікації експертних системи.
10. Режими роботи експертної системи.
11. Переваги і недоліки експертних систем.
12. Поняття складних систем. Типи складних систем.
13. Багатокритеріальні задачі прийняття рішень.
14. Критерії та їх характеристики.
15. Постановка задачі багатокритеріального вибору.
16. Критеріальний простір.
17. Нормалізація критеріїв ефективності.
18. Основні поняття альтернатив.
19. Методи пошуку і класифікація альтернатив.
20. Визначення і основні характеристики нечітких множин.
21. Інтелектуальний аналіз знань.
22. Виведення кількісних оцінок за допомогою введення рівня міркування експерта.
23. Виведення кількісних оцінок за допомогою операції фазифікації даних.
24. Концептуальна модель відображення нечітких знань.
25. Трикутні функції належності.
26. Z-подібні функції належності.
27. S-подібні функції належності.

28. П-подібні функції належності.
29. Операції над нечіткими множинами.
30. Бази знань.
31. Класифікація факторів впливу на рівень керованості процесами для різних складних систем.
32. Фактори внутрішніх та зовнішніх впливів.
33. Ризик-орієнтовані фактори впливу.
34. Впливи людських факторів.
35. Фактори режимів функціонування системи.
36. Метод багатокритеріального вибору VIKOR.
37. Метод багатокритеріального вибору TOPSIS.
38. Формальна постановка класу задач та вхідних даних для оцінювання рівня ризику
39. функціонування складних систем.
40. Формалізація вхідних даних, що використовуються для оцінювання ризиків.
41. Дворівнева нечітка математична модель встановлення ризику функціонування системи.
42. Нечітка модель оцінювання ризику функціонування систем із застосування інтелектуального аналізу даних.
43. Експертна модель оцінювання ризиків функціонування системи з врахуванням наслідків
44. реалізації різних загроз на систему та оцінювання фінансових збитків.
45. Основні поняття суб’єктів управління у складній системі.
46. Системна теоретико-множинна модель задачі оцінювання компетенцій експертів складної
47. системи враховуючи вплив людських факторів.
48. Гібридна нечітка модель оцінюванні спеціаліста.

Література та джерела

1. Харченко В. П., Шмельова Т. Ф., Сікірда Ю. В. Прийняття рішень в соціотехнічних системах. Київ : НАУ, 2016. 309 с.
2. Гнатієнко Г. М., Снитюк В. Є. Експертні технології прийняття рішень. Київ : ТОВ «Маклаут», 2008. 444 с.
3. Волошин О. Ф., Мащенко С. О. Моделі та методи прийняття рішень: навчальний посібник. Київ : Видавничополігр. центр „Київ. ун-т”, 2010. 336 с.
4. Зайченко Ю. П. Теорія прийняття рішень: підручник. Київ : НТУУ«КПІ», 2014. 412 с.
5. Субботін С. О. Подання й обробка знань у системах штучного інтелекту та підтримки прийняття рішень : навч. посіб. Запоріжжя: ЗНТУ, 2008. 341 с.
6. Олійник А. О., Субботін С. О., Олійник О. О. Інтелектуальний аналіз даних : навчальний посібник. Запоріжжя : ЗНТУ, 2011. 271 с.
7. Снитюк В. Є. Прогнозування. Моделі. Методи. Алгоритми: навч. посіб. К.: Маклаут, 2008. 364 с.
8. Зайченко Ю.П. Нечіткі моделі і методи в інтелектуальних системах: навчальний посібник. Київ: Слово, 2008. 344 с.
9. Polishchuk V. Conceptual Model of Presentation of Fuzzy Knowledge / V. Polishchuk, M. Kelemen, I. Włoch, A. Polishchuk, M. Sharkadi, Yu. Mlavets // Proceedings of II International Scientific Symposium “Intelligent Solutions” (IntSol - 2021), X International School-Seminar "Decision Making Theory" (IntSol-2021) (Kyiv-Uzhhorod, September 28-30, 2021). – CEUR Workshop Proceedings, Vol.3018, 2021 – P.1-12. doi: http://ceur-ws.org/Vol-3018/Paper_1.pdf
10. Gavurova B.; Kelemen M.; Polishchuk V. Expert model of risk assessment for the selected components of smart city concept: From safe time to pandemics as COVID-19. Socio-Economic Planning Sciences, 2022, 101253. https://doi.org/10.1016/j.seps.2022.101253.
11. Kelemen, M.; Gavurova, B.; Polishchuk, V. A Complex Hybrid Model for Evaluating Projects to Improve the Sustainability and Health of Regions and

Cities. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2022**, *19*, 8217. https://doi.org/10.3390/ijerph19138217

12. Kelemen, M.; Polishchuk, V.; Gavurová, B.; Andoga, R.; Matisková, D. The Expert Model for Safety Risks Assessment of Aviation Environmental Projects' Implementation Within the Investment Phase of the Project. IREASE Vol 13, No 6 (2020). – P. 198-207. doi: https://doi.org/10.15866/irease.v13i6.18268

13. Polishchuk V. Methodology for determining the level of process control in complex systems taking into account risk-oriented factors from safe time to pandemics/ V. Polishchuk, M. Kelemen, M. Kelemen jr. // Proceedings of The Fourth International Workshop on Computer Modeling and Intelligent Systems (CMIS-2021) (Zaporizhzhia, 27 April 2021). – CEUR Workshop Proceedings, Vol. 2864, 2021 – P. 419-433 doi: http://ceur-ws.org/Vol-2864/paper37.pdf

14. Kelemen, M.; Polishchuk, V.; Gavurová, B.; Rozenberg, R.; Bartok, J.; Gaál, L.; Gera, M.; Kelemen, M., Jr. Model of Evaluation and Selection of Expert Group Members for Smart Cities, Green Transportation and Mobility: From Safe Times to Pandemic Times. Mathematics 2021, 9, 1287. doi: https://doi.org/10.3390/math9111287