

УДК УДК 519.86

DOI [https://doi.org/10.24144/2616-7700.2020.1\(36\).92-104](https://doi.org/10.24144/2616-7700.2020.1(36).92-104)**В. В. Поліщук<sup>1</sup>, М. М. Маляр<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ДВНЗ «Ужгородський національний університет», Ужгород,  
доцент кафедри програмного забезпечення систем,  
кандидат технічних наук  
[volodymyr.polishchuk@uzhnu.edu.ua](mailto:volodymyr.polishchuk@uzhnu.edu.ua)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4586-1333>

<sup>2</sup> ДВНЗ «Ужгородський національний університет», Ужгород,  
професор кафедри кібернетики і прикладної математики,  
доктор технічних наук  
[mykola.malyar@uzhnu.edu.ua](mailto:mykola.malyar@uzhnu.edu.ua)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2544-1959>

## МОДЕЛЮВАННЯ ОЦІНКИ РІВНЯ РИЗИКУ ФУНКЦІОНУВАННЯ СОЦІО-ЕКОНОМІЧНИХ СИСТЕМ

Проведено дослідження актуальної задачі розроблення технології оцінювання рівня функціонування системи для підтримки прийняття рішень від штатного режиму до катастрофи.

У дослідженні вперше представлено вхідні дані оцінювання функціонування системи гібридним чином, на основі досвіду, знань та міркувань експертів, а також інтелектуальним аналізом даних. Продемонстровано структурну схему оцінювання рівня функціонування системи для підтримки прийняття рішень.

Вперше запропоновано нечітку математичну модель оцінювання рівня функціонування системи для підтримки прийняття рішень, згідно покрокового алгоритму, що базується на експертних гібридних даних, з використанням лінгвістичних та кількісних змінних. При цьому, здійснюється агрегування критеріальних оцінок системи функціонування з огляду на міркування особи, що приймає рішення (песимістичний/обережний/середній/оптимістичний сценарії розгортання подій). Згідно порогу можливості функціонування системи відбувається оцінювання ризиків для якості прийняття рішень у різних режимах. В результаті оцінювання системи у різних режимах функціонування, отримуємо кількісну оцінку ризику функціонування системи відносно сценарію розгортання подій, лінгвістичний рівень функціонування системи та рівень прийнятності ризику функціонування системи. Це все дозволяє розкривати невизначеності експертних міркувань та отриманих даних, обґрунтовуючи ступінь прийняття рішення та виводити адекватні висновки, враховуючи режим функціонування системи.

У рамках розробленого дослідження сформульовано логічне висловлювання правила належності лінгвістичних оцінок, матрицю та базу знань визначення прийнятності рівня ризику функціонування системи.

Достовірність отриманих результатів забезпечується коректним використанням інтелектуального аналізу знань, системного підходу, теорії нечітких множин та нечіткої логіки, що підтверджується результатами досліджень. Проведене дослідження буде корисним інструментом для підтримки прийняття рішень, щодо створення та менеджменту рішень у різних режимах функціонування системи.

**Ключові слова:** нечіткі знання, режими функціонування системи, COVID-19, рівень ризику, прийняття рішень, інтелектуальний аналіз.

**1. Вступ.** Сьогодні існує велика кількість методів, моделей та засобів для аналізу великих даних, видобування з них знань, прогнозування майбутнього і т.д. Суспільство, поступово переходить від інформаційних технологій до інтелектуального аналізу знань. Все частіше з'являються системи підтримки прийняття

рішень засновані на інтелектуальному аналізу даних. Але більшість з них розроблені для прийняття рішень у безпечному режимі функціонування систем. Для умов, коли система швидко змінює режими від безпечної роботи, надзвичайної ситуації до катастрофи, більшість моделей підтримки прийняття рішень не здатні адекватно оцінювати ситуацію. Доказом цього є робота муніципалітету, регіону, держави в умовах, наприклад, пандемії коронавірусної інфекції (COVID-19). Все частіше спостерігаємо ситуацію, коли влада всього світу приймає рішення для забезпечення життя та здоров'я громадян, що мають хаотичний, подекуди хибні характеристики, хоча спираються на відому статистику та теорію системного аналізу. Це стосується превентивних заходів запобігання поширенню вірусу COVID-19, а також заходів після пандемічного періоду для виводу країн з карантину. Про це свідчить різна послідовність кроків та етапів виводу з карантину у різних країнах, навіть статистично схожих. Однозначно, такі рішення мають прийматись системно, враховуючи кожен елемент функціонування системи.

Кожен муніципалітет, регіон та країна, як окремі соціо-економічні системи мають свою специфіку функціонування. І прийняття загальних рішень, навіть у межах держави призводить до неоптимального результату. Заходи для забезпечення безпеки громадян, що добре працюють у великих містах не оправдовуються для малих міст, або навпаки. А переймання досвіду від інших міст чи держав, без системної імплементації, знову ж таки не дасть результату. Для прийняття тих чи інших рішень, необхідно адекватно оцінити систему функціонування, наприклад міста, враховуючи наявні кількісні показники та міркування експертів щодо їх об'єктивності.

У штатному режимі функціонування системи є необхідність оцінити рівень функціонування системи, для підтримки прийняття рішень з превентивних заходів та попередження позаштатного режиму. Коли оцінюємо рівень функціонування системи у позаштатному режимі, наприклад, пандемії COVID-19, тоді на основі такої оцінки повинен бути прийнятий ефективний сценарій (рішення) спрямований на повернення системи у штатний режим функціонування. І в одному, та в іншому випадку – одна ціль: прийняти оптимальний (ефективний) сценарій для забезпечення високого рівня функціонування системи та недопущення нижчого, існуючого, режиму функціонування, або повернення у штатний режим.

В той момент, коли система переходить із безпечного режиму функціонування до катастрофи, ситуація швидко змінюється, а вхідні дані, що впливають на прийняття рішень менш якісніші і приймають все більше нечіткий характер. На прийняття рішення значну роль відіграють наступні фактори: вхідні дані; особа, що приймає рішення (ОПР); режим системи у якій приймається рішення; ризику, що супроводжують те чи інше рішення та впливають на сценарій. Всі ці фактори взаємозалежні та позначаються на якість прийняття рішення. Будь-яка надзвичайна подія (наприклад, пандемія COVID-19) або катастрофа є кінцевим результатом послідовного переходу штатного режиму функціонування системи, відповідно в надзвичайну або катастрофічну ситуацію [1].

Проблему сьогоденних інтелектуальних систем, в умовах пандемії COVID-19, вбачаємо у підході опрацювання даних. Правильне рішення не можна прийняти, коли отримані кількісні дані нечіткі, або зовсім не відповідають дійсності.

Прогнозування ситуації, навіть на дуже швидких та адекватних алгоритмах (нейро-нечітких мереж, кореляційному аналізі, добування знань та машинне навчання), за режиму функціонування системи в позаштатному режимі, не будуть давати адекватних результатів. Крім цього, не завжди такі інтелектуальні системи враховують в опрацюванні вхідних даних думки, досвід та знання експертів, що можуть об'єктивно оцінити ситуацію. Часто за все, на кінцевому етапі відбувається врахування думок експертів для прийняття рішень.

В такому випадку, для адекватного оцінювання функціонування системи та в подальшому якісного прийняття рішення, необхідно наступне:

- 1) розкривати нечіткість у кількісних вхідних даних для прийняття рішень;
- 2) для вхідних показників оцінювання враховувати міркування, досвід та знання експертів, що покращать якість вхідних даних для подальшого обчислення;
- 3) дати можливість особі, що приймає рішення отримувати оцінки відносно сценарію розгортання подій;
- 4) проводити оцінювання враховуючи режим функціонування системи: від безпечного режиму до катастрофи;
- 5) враховувати ризики прийнятого рішення.

З огляду, на викладене вище, постає актуальна задача розробки технології оцінювання функціонування системи (об'єкту досліджень) стосовно її рівня ризику, для підтримки прийняття якісного рішення від штатного режиму до катастрофи.

**2. Огляд літератури.** Оцінка ризику менеджменту будь-якої соціо-економічної системи залежить від поглядів керівництва на поняття небезпеки, його схильності до ризику, емоційного стану та ін. Вибір варіанту поведінки – це результат взаємодії зовнішніх факторів, особливостей та думок ОПР. Цей вибір має передумову в системі особистісних якостей ОПР, до яких належать його світогляд, досвід, знання, а також особливості внутрішньої системи морального і соціального контролю, зокрема і правосвідомості [2]. Тому при розгляді альтернативних варіантів менеджменту рішень, у будь-якій системі функціонування, необхідно розглядати, як мінімум оптимістичний, обережний, середній та песимістичний сценарії розгортання подій. Отже, суб'єктивною причиною існування ризику є прийняття рішення ОПР. Крім цього, існують деякі обставини, що під час системи функціонування приводять до нестандартних, ризикових ситуацій [1].

Ризик – категорія соціальна, оскільки він виникає в процесі осмисленого прийняття рішення, що притаманне тільки людині. Ризик прямо залежить від невизначеності, а тому для зменшення ризику необхідно мінімізувати невизначеності. Для цього, у нашому дослідженні використовуємо теорію нечітких множин та нечіткої логіки. Неодноразово науково доведено [3], що дана теорія може адекватно розкривати невизначеність даних та знань, і найкраще підходить для підтримки прийняття рішень в умовах ризику.

В період отримання та обробки інтелектуальних знань, постає задача формалізації думок експертів щодо об'єкту дослідження. Відсутні універсальні способи перетворення дослідних людських експертних знань у базу знань систем нечіткого виведення. Системи нечіткого виведення можуть використовувати людські експертні знання та виконувати нечітке виведення для отримання вихідної оцінки [4-5].

Крім цього, у нашому дослідженні використовуються експертні відомості, що відображають змістовні особливості досліджуваних систем функціонування і задаються на природній мові. Опис у такому випадку носить нечіткий характер, а для відображення знань про об'єкт дослідження та для зменшення ризику доцільно використовувати теорію нечітких множин [6-7]. Для грамотного оцінювання ризику, необхідно навчитися науково моделювати інформаційну невизначеність, проводячи формально описані межі між достовірними знаннями, знаннями з певним рівнем достовірності та тим чого не знаємо [8]. Для цього з метою моделювання невизначеності у роботі застосовується нечітко-множинні описи та нечіткі логічні виводи [3]. Наприклад, у роботах [9-10] розглянуті загальні ідеї та переваги, на яких базуються сучасні погляди щодо використання нечіткої логіки в системах підтримки прийняття рішень. У працях [11-12] представлено використання нечіткої логіки в різних сферах застосування, що дає змогу визначення оптимальних параметрів за умов невизначеності вхідних даних. У роботі [13] чітко окреслено і введено основи видобутку даних та у роботі [14] розглядаються питання видобуток даних з точки зору статистики. А у роботах [1, 15] науково обґрунтовано переваги дослідження складних об'єктів функціонування в різних режимах та системного аналізу.

Актуальність даного дослідження доводиться значними світовими дослідженнями, науковими публікаціями та його необхідністю в умовах пандемії COVID-19. Наведене вище, аргументує та підтверджує актуальність нашого дослідження із застосування інтелектуального аналізу, системного підходу, опрацювання нечітких даних та застосування нечіткого виведення для розроблення технології оцінювання рівня функціонування системи для підтримки прийняття рішень від штатного режиму до катастрофи.

**3. Матеріали та методи.** Розглянемо для оцінювання деяку систему функціонування  $S$ . На її основі потрібно оцінити рівень функціонування системи для якісного прийняття рішень в залежності від режимів  $C$ : штатний режим, позаштатна ситуація, критична ситуація, надзвичайна ситуація (пандемія COVID-19) [16-17], аварійна ситуація, аварія, катастрофічна ситуація, катастрофа.

Нехай маємо множину критеріїв, згідно яких будемо оцінювати систему функціонування  $S: K = (K_1, K_2, \dots, K_m)$ . Пропонується оцінювання показників гібридним чином, на основі досвіду експертів для системи функціонування та методами інтелектуального аналізу кількісних даних.

Кожен показник системи функціонування оцінюється деяким експертом за допомогою лінгвістичної змінної. Терм-множину лінгвістичних змінних представимо, як рівень ситуації в системі функціонування описану критерієм  $K$ . Пропонується наступна терм-множина  $T = \{T_1; T_2; T_3; T_4; T_5\}$ , де:  $T_1$  – «низький рівень»;  $T_2$  – «рівень нижче середнього»;  $T_3$  – «середній рівень»;  $T_4$  – «рівень вище середнього»;  $T_5$  – «високий рівень».

З іншого боку, для кожного критерію отримуємо кількісну оцінку, в межах аналізу „Big data“. В залежності від типу даних, їх структури, періодичності отримання, суб'єктивізму отримання та інших характеристик, досліджується та будується функція належності [18] окремо для кожного критерію. Це дозволить порівнювати отримані оцінки, шляхом переведення у нормовану шкалу, розкрити нечіткість та невизначеність отриманих даних, що підвищить якість прийняття рішень, зроблених з використанням інтелектуального аналізу таких даних. В результаті, для кожного критерію отримаємо кількісну оцінку ситуації  $q$  з інтервалу  $[0; 1]$ , для прийняття рішень.

Вхідні дані, оцінювання рівня функціонування системи для підтримки прийняття рішень наступні:  $t_i$  – змінна з терм-множини  $T$  для  $i$ -го критерію;  $q_i$  – кількісна оцінка з інтервалу  $[0; 1]$ ,  $i$ -го критерію,  $i = \overline{1, m}$ .

Формально представимо нечітку модель оцінювання рівня функціонування системи для підтримки прийняття рішень відносно режимів:

$$A(t; q; M; C) \rightarrow R(\mu; L; Y), \quad (1)$$

$A$  – оператор, що ставить у відповідність множину вихідних значень  $R$ , при вхідних змінних  $t; q; M; C$ . Вхідними даними моделі є:  $t$  – експертний показник рівня ситуацій в системі функціонування;  $q$  – кількісна оцінка ситуації;  $M$  – врахування міркування ОПР щодо сценарію розгортання подій;  $C$  – режим функціонування системи. На виході моделі оцінювання маємо:  $\mu$  – оцінка ризику для якості прийняття рішень ОПР;  $L$  – лінгвістичне трактування рівня функціонування системи для підтримки прийняття рішень;  $Y$  – прийнятний рівень ризику функціонування системи  $Y = Z(L, M, C)$ .

Рівень функціонування системи – тривалість періоду функціонування систем у деякому режимі  $C$ , упродовж якого оцінка ризику та рівень функціонування системи внаслідок можливого впливу факторів ризику не перевищують апріорно заданий поріг можливості функціонування системи [1].

Модель отримання прийнятного рівня функціонування системи представимо наступним чином. Оскільки ризик, у загальному випадку, може бути прийнятний або неприйнятний, тоді вихідні дані будуть формулювати логічне висловлювання в залежності від рівня функціонування системи  $Y = \{\text{прийнятний; неприйнятний}\}$ .

Нехай в моделі представлено лінгвістичне трактування п'яти рівнів функціонування системи  $L = \{vls; ls; as; hs; vhs\}$ , де:  $vls$  – дуже низький рівень функціонування системи;  $ls$  – низький рівень функціонування системи;  $as$  – середній рівень функціонування системи;  $hs$  – високий рівень функціонування системи;  $vhs$  – дуже високий рівень функціонування системи.

Пропонується, на основі міркування ОПР, можливість отримувати оцінки відносно чотирьох сценаріїв розгортання подій  $M = \{M_1; M_2; M_3; M_4\}$ , де:  $M_1$  – песимістичний сценарій розгортання подій;  $M_2$  – обережний сценарій розгортання подій;  $M_3$  – середній сценарій розгортання подій;  $M_4$  – оптимістичний сценарій розгортання подій.

Припустимо, що існує вісім станів функціонування системи  $C = (C_1, C_2, \dots, C_8)$ , де:  $C_1$  – штатний режим,  $C_2$  – позаштатна ситуація,  $C_3$  – критична ситуація,  $C_4$  – надзвичайна ситуація,  $C_5$  – аварійна ситуація,  $C_6$  – аварія,  $C_7$  – катастрофічна ситуація,  $C_8$  – катастрофа.

Тоді аналізується об'єкт із трьома входами та одним виходом:

$$Y = Z(L, M, C), \quad (2)$$

де  $Y$  – прийнятний рівень ризику функціонування системи,  $L, M, C$  – вхідні лінгвістичні оцінки.  $Z$  – оператор, що ставить у відповідність вихідну змінну  $Y$ , при вхідних змінних  $L, M, C$  (правило логічного виводу).

Пропонується побудова матриці знань наступним чином. Матриця знань [9] прийнятного рівня функціонування системи – це матриця розмірності  $160 \times 4$  ( $160 = 5 * 4 * 8$ ), де кожний рядок є певною комбінацією значень вхідних змінних, для якої, ОПР вказує одне із можливих значень вихідної змінної. Матриця знань визначає систему логічних висловлювань – “Якщо, Тоді, Інакше”, які пов'язують значення вхідних змінних  $L, M, C$  з одним із можливих значень рівнем ризику функціонування системи  $Y = \{\text{прийнятний}; \text{неприйнятний}\}$ .

Далі експерт, чи група експертів, для кожного рівня прийнятного ризику функціонування системи  $Y$  будує правила належності вхідних лінгвістичних оцінок:

**ЯКЩО** у штатному режимі ( $C_1$ ) оцінюваний рівень функціонування системи не нижче середнього ( $as$ ) для всіх ( $M_1, M_2, M_3, M_4$ ) міркувань ОПР;

**АБО** у позаштатній ситуації ( $C_2$ ) оцінюваний рівень функціонування системи не нижче високого ( $hs$ ) для ( $M_4$ ) міркувань ОПР, а для інших ( $M_1, M_2, M_3$ ) міркувань ОПР не нижче середнього ( $as$ );

**АБО** у критичній ситуації ( $C_3$ ) оцінюваний рівень функціонування системи не нижче високого ( $hs$ ) для ( $M_3, M_4$ ) міркувань ОПР, а для інших ( $M_1, M_2$ ) міркувань ОПР не нижче середнього ( $as$ );

**АБО** у надзвичайній ситуації ( $C_4$ ) оцінюваний рівень функціонування системи не нижче високого ( $hs$ ) для ( $M_2, M_3, M_4$ ) міркувань ОПР, а для ( $M_1$ ) міркувань ОПР не нижче середнього ( $as$ );

**АБО** у аварійній ситуації ( $C_5$ ) оцінюваний рівень функціонування системи не нижче високого ( $hs$ ) для всіх ( $M_1, M_2, M_3, M_4$ ) міркувань ОПР;

**АБО** у аварії ( $C_6$ ) оцінюваний рівень функціонування системи не нижче дуже високого ( $vhs$ ) для ( $M_4$ ) міркувань ОПР, а для інших ( $M_1, M_2, M_3$ ) міркувань ОПР не нижче високого ( $hs$ );

**АБО** у катастрофічній ситуації ( $C_7$ ) оцінюваний рівень функціонування системи не нижче дуже високого ( $vhs$ ) для ( $M_3, M_4$ ) міркувань ОПР, а для інших ( $M_1, M_2$ ) міркувань ОПР не нижче високого ( $hs$ );

**АБО** у катастрофі ( $C_8$ ) оцінюваний рівень функціонування системи не нижче дуже високого ( $vhs$ ) для ( $M_2, M_3, M_4$ ) міркувань ОПР, а для ( $M_1$ ) міркувань ОПР не нижче високого ( $hs$ );

**ТОДІ** рівень ризику функціонування системи  $Y = \{\text{прийнятний}\}$ ;

**ІНАКШЕ** рівень ризику функціонування системи  $Y = \{\text{неприйнятний}\}$ .

База знань визначення прийнятності рівня ризику функціонування системи зображена на рис.1.

<i>vhs</i>	1	1	1	1
<i>hs</i>	1	1	1	1
<i>as</i>	1	1	1	1
<i>ls</i>	0	0	0	0
<i>vls</i>	0	0	0	0
C <sub>1</sub>	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>4</sub>

<i>vhs</i>	1	1	1	1
<i>hs</i>	1	1	1	1
<i>as</i>	1	1	1	0
<i>ls</i>	0	0	0	0
<i>vls</i>	0	0	0	0
C <sub>2</sub>	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>4</sub>

<i>vhs</i>	1	1	1	1
<i>hs</i>	1	1	1	1
<i>as</i>	1	1	0	0
<i>ls</i>	0	0	0	0
<i>vls</i>	0	0	0	0
C <sub>3</sub>	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>4</sub>

<i>vhs</i>	1	1	1	1
<i>hs</i>	1	1	1	1
<i>as</i>	1	0	0	0
<i>ls</i>	0	0	0	0
<i>vls</i>	0	0	0	0
C <sub>4</sub>	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>4</sub>

  

<i>vhs</i>	1	1	1	1
<i>hs</i>	1	1	1	1
<i>as</i>	0	0	0	0
<i>ls</i>	0	0	0	0
<i>vls</i>	0	0	0	0
C <sub>5</sub>	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>4</sub>

<i>vhs</i>	1	1	1	1
<i>hs</i>	1	1	1	0
<i>as</i>	0	0	0	0
<i>ls</i>	0	0	0	0
<i>vls</i>	0	0	0	0
C <sub>6</sub>	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>4</sub>

<i>vhs</i>	1	1	1	1
<i>hs</i>	1	1	0	0
<i>as</i>	0	0	0	0
<i>ls</i>	0	0	0	0
<i>vls</i>	0	0	0	0
C <sub>7</sub>	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>4</sub>

<i>vhs</i>	1	1	1	1
<i>hs</i>	1	0	0	0
<i>as</i>	0	0	0	0
<i>ls</i>	0	0	0	0
<i>vls</i>	0	0	0	0
C <sub>8</sub>	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>4</sub>

Рис. 1. База знань визначення прийнятності рівня ризику функціонування системи (позначення: 1 – прийнятний, 0 - неприйнятний).

Розв'язок даної задачі можемо наглядно продемонструвати у вигляді структурної схеми оцінювання рівня функціонування системи для підтримки прийняття рішень у різних режимах функціонування (рис. 2.).



Рис. 2. Структурна схема оцінювання рівня функціонування системи для підтримки прийняття рішень.

Опишемо нечітку математичну модель розв'язання задачі, згідно наступного алгоритму.

**1 крок.** Фазифікація вхідних гібридних даних системи функціонування.

На першому кроці виконається операція фазифікації вхідних гібридних даних. Для цього кожному вхідному значенню ( $t_i; q_i$ ) ставиться у відповідність значення функції належності  $\mu(t_i)$ . Необхідно побудувати правила належності, щоб отримати нормовану оцінку вхідних даних.

Нехай терм-множина лінгвістичних змінних  $T = \{T_1; T_2; T_3; T_4; T_5\}$  представлена на деякому числовому проміжку, для розмежування термів  $[a_1; a_6]$ , де  $T_1 \in [a_1; a_2], T_2 \in [a_2; a_3], T_3 \in [a_3; a_4], T_4 \in [a_4; a_5], T_5 \in [a_5; a_6]$ . Значення розбит-

тя проміжків можуть налаштуватися та змінюватись, у процесі використання реальних даних системи функціонування.

Обчислюються критеріальні оцінки  $O_i$ , використовуючи лінгвістичні змінні  $T$ , кількісні оцінки  $q$  та значення розбиття проміжків  $[a_1; a_6]$ , за допомогою наступної характеристичної функції:

$$O_i = \begin{cases} a_2 \cdot q_i, & \text{якщо } t_i \in T_1; \\ a_3 \cdot q_i, & \text{якщо } t_i \in T_2; \\ a_4 \cdot q_i, & \text{якщо } t_i \in T_3; \\ a_5 \cdot q_i, & \text{якщо } t_i \in T_4; \\ a_6 \cdot q_i, & \text{якщо } t_i \in T_5. \end{cases} \quad i = \overline{1, m}. \quad (3)$$

Це дасть можливість об'єднати кількісні оцінки та думки експертів. В результаті, отримується об'єктивна оцінка щодо функціонування системи, а це призведе до підвищення ступеня якості прийняття рішень.

Для порівняння даних необхідно нормувати отримані оцінки [6]. Не зменшуючи загальності, представимо правило належності за допомогою S-подібної функції належності, або іншої подібного типу [11]:

$$\mu(O_i) = \begin{cases} 0, & O_i \leq a_1 \\ 2 \left( \frac{O_i - a_1}{a_6 - a_1} \right)^2, & a_1 < O_i \leq \frac{a_1 + a_6}{2} \\ 1 - 2 \left( \frac{a_6 - O_i}{a_6 - a_1} \right)^2, & \frac{a_1 + a_6}{2} < O_i < a_6 \\ 1, & O_i \geq a_6 \end{cases} \quad i = \overline{1, m}. \quad (4)$$

Побудована у такий спосіб функція належності говорить про те, що отримане значення  $\mu(O_i)$  буде прямувати до 1, у тому випадку, якщо високий рівень функціонування системи і кількісна оцінка ситуації буде прямувати до 1.

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

**2 крок.** Агрегування оцінки системи функціонування з огляду на міркування ОПР.

Нехай ОПР за кожним критерієм системи функціонування 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 [6]:

$$w_i = \frac{v_i}{\sum_{i=1}^m v_i}, \quad i = \overline{1, m}. \quad (5)$$

Далі будується функція належності, як одна із запропонованих згорток [3], в залежності від психосоматичного настрою ОПР, щодо розгортання подій:

$$M_1(S) = \frac{1}{\sum_{i=1}^m \frac{w_i}{\mu(O_i)}} - \text{песимістичний сценарій розгортання подій}; \quad (6)$$

$$M_2(S) = \prod_{i=1}^m (\mu(O_i))^{w_i} - \text{обережний сценарій розгортання подій}; \quad (7)$$



$$M_3(S) = \sum_{i=1}^m w_i \cdot \mu(O_i) - \text{середній сценарій розгортання подій}; \quad (8)$$

$$M_4(S) = \sqrt{\sum_{i=1}^m w_i (\mu(O_i))^2} - \text{оптимістичний сценарій розгортання подій}. \quad (9)$$

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

Між ними існує наступна субординація [3]:  $M_1(S) \leq M_2(S) \leq M_3(S) \leq M_4(S)$ .

**3 крок.** Проектування сценарію розгортання подій на «тренд ризику».

На цьому кроці потрібно побудувати функцію належності, що утворює наступну залежність: чим більша агрегована оцінка системи функціонування, тим менший ризик. З огляду на це, розглянемо залежність у вигляді лінійної Z-подібної функції належності [7], яку назовемо «тренд ризику»:

$$M_g(S) = \begin{cases} 1, & R_g < a; \\ \frac{b-R_g}{b-a}, & a \leq R_g \leq b; \\ 0, & R_g > b, \end{cases} \quad (10)$$

де  $a, b$  числові значення. Оскільки оцінюємо ризик, тоді природньо розглядати ризик у відсотковій шкалі:  $a=0, b=100$ . Наприклад, коли йде мова про ризик у 100 % асоціативно розуміється максимально критичний ризик. Так-як, значення функції належності  $M_g(S)$  ( $g = \overline{1, 4}$ ) відомі та ризик розглядаємо у відсотковій шкалі, тоді виразимо  $R_g$ , з формули (10):

$$R_g = 100(1 - M_g(S)), \quad g = \overline{1, 4}. \quad (11)$$

Отримані значення  $R_g$  – це оцінка проєкції «тренду ризику» на агреговану оцінку системи функціонування щодо підтримки прийняття якісного рішення, з огляду на міркування ОПР.

**4 крок.** Оцінювання ризику у різних режимах функціонування системи.

Нехай маємо режими функціонування системи  $C = (C_1, C_2, \dots, C_8)$ . З наростанням надзвичайної ситуації, швидко змінюються величини, що впливають на стійкість функціонування будь-якої системи. Це однозначно впливає на збільшення ризику прийняття рішень. Для цього введемо поняття деяких апріорно заданих допустимих значень – «поріг можливості функціонування системи».

Для того, щоб адекватно інтерпретувати залежність ризику для якості прийняття рішень відносно режимів функціонування системи, пропонується наступна функція:

$$\mu(R_g) = 1 - \begin{cases} 0, & R_g < 0; \\ \left(\frac{R_g}{100}\right)^k, & 0 \leq R_g \leq 100; \\ 1, & R_g > 100, \end{cases} \quad (12)$$

де  $k$  – поріг можливості функціонування системи. Значення даного порогу змінюється в залежності від режимів, в якому ОПР потрібно приймати рішення. Експериментально поставимо:  $k = \frac{11}{9}$  для штатного режиму  $C_1$ ;  $k = \frac{7}{9}$  для позаштатної ситуації  $C_2$ ;  $k = \frac{2}{3}$  для критичної ситуації  $C_3$ ;  $k = \frac{5}{9}$  для надзвичайної ситуації  $C_4$ ;  $k = \frac{4}{9}$  для аварійної ситуації  $C_5$ ;  $k = \frac{1}{3}$  для аварії  $C_6$ ;

$k = \frac{2}{9}$  для катастрофічної ситуації  $C_7$ ;  $k = \frac{1}{9}$  для катастрофи  $C_8$ . Тоді за формулою (12) отримуємо оцінку ризику у різних режимах функціонування системи  $\mu_{C_1}(R_g), \mu_{C_2}(R_g), \dots, \mu_{C_8}(R_g)$ ,  $g = \overline{1, 4}$ .

Отже, отримані значення – це оцінки ризику функціонування системи для якості прийняття рішень за  $g$ -м міркуванням ОПР щодо сценарію розгортання подій у відповідному режимі функціонування системи.

**5 крок.** Визначення рівня функціонування системи та дефазифікація даних для отримання прийнятного рівня ризику.

За отриманими значеннями оцінки ризику  $\mu_C(R_g)$ ,  $g = \overline{1, 4}$  представимо лінгвістичне трактування рівня функціонування системи, з множини  $L$  для підтримки прийняття якісного рішення:  $\mu_C(R_g) \in [0; 0, 2)$  – *vls*: дуже низький рівень функціонування системи;  $\mu_C(R_g) \in [0, 2; 0, 4)$  – *ls*: низький рівень функціонування системи;  $\mu_C(R_g) \in [0, 4; 0, 6)$  – *as*: середній рівень функціонування системи;  $\mu_C(R_g) \in [0, 6; 0, 8)$  – *hs*: високий рівень функціонування системи;  $\mu_C(R_g) \in [0, 8; 1]$  – *vhs*: дуже високий рівень функціонування системи.

Рівень функціонування системи отримується на основі оцінки ризику, тому це можемо розглядати, як розмір збитків від небажаних наслідків впливу будь-яких факторів та менеджменту прийняття рішень у процесі функціонування системи.

Дефазифікацію даних здійснимо на основі представленого правила належності та матриці знань прийнятного рівня ризику функціонування системи. В результаті отримуємо  $Y$  – рівень прийнятності ризику функціонування системи.

В процесі оцінювання системи  $S$  у режимах функціонування  $C = (C_1, C_2, \dots, C_8)$  отримуємо:  $\mu_C(R_g)$  – оцінки ризику функціонування системи відносно сценарію розгортання подій у різних режимах  $C$ ;  $L$  – рівень ризику функціонування системи;  $Y$  – рівень прийнятності ризику функціонування системи.

**4. Обговорення.** Для отримання максимально-корисної інформації з оцінювання, необхідно створити інтелектуальну систему обробки даних, побудов функцій належності щодо змісту, окремо для кожного критерію. Таким чином, для якісного порівняння даних, розмежування термів необхідно проводити для кожного показника окремо, оскільки різні показники несуть у собі свій числовий зміст. Крім цього, не можна використовувати якусь абсолютну оцінку, що є абстрактним поняттям оскільки це не дасть ніякого практичного результату.

Якщо система  $S$  складається із множини підсистем  $S_1, S_2, \dots, S_n$  тоді оцінюємо кожну підсистему окремо, а для агрегування результуючих даних можемо скористатись одним із методів [6, 12]. Для визначення компетентної групи експертів для якісного оцінювання вхідних даних можна використати підходи описані в [19-20]. Для якісного отримання вхідних кількісних оцінок та інтелектуального аналізу даних (знань) з використанням теорії нечітких множин, функцій належності та системного підходу можна використати моделі описані в [6-7].

**5. Висновки та перспективи подальших досліджень.** Проведено дослідження актуальної задачі розроблення технології оцінювання рівня функціонування системи для підтримки прийняття рішень від штатного режиму до катастрофи.

Раціональність отриманих оцінок ризику, рівня функціонування системи та рівня прийнятності ризику, для якості прийняття рішень у різних режимах функціонування, доводить переваги розробленої моделі. Достовірність отриманих результатів забезпечується коректним використанням інтелектуального аналізу знань, системного підходу, теорії нечітких множин та нечіткої логіки, що підтверджується результатами досліджень.

Подальше дослідження проблематики вбачаємо: у розроблені інформаційних моделей представлення нечітких знань із застосування апарату нечітких множин та функцій належності для запропонованих прикладних задач. Проведене дослідження буде корисним інструментом для підтримки прийняття рішень, щодо створення та менеджменту рішень у різних режимах функціонування системи.

### Список використаної літератури

1. Згуровский М.З., Панкратова Н.Д. Основы системного анализа. К.: Видавнича група ВНУ, 2007. 544 с.
2. Кудрявцев В.Н. Право и поведение. Москва: Юридическая литература, 1978. 191 с.
3. Зайченко Ю.П. Нечіткі моделі і методи в інтелектуальних системах: навчальний посібник. Київ: Слово, 2008. 344 с.
4. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. Москва: Мир, 1976. 167 с.
5. Ротштейн О.П. Інтелектуальні технології ідентифікації: нечіткі множини, генетичні алгоритми, нейронні мережі. Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця. 1999. 320 с.
6. Волошин О.Ф., Маляр М.М., Поліщук В.В., Шаркаді М.М. Інформаційне моделювання нечітких знань. *Радіоелектроніка, інформатика, управління*. 2018. 2018/4. С. 84-95. DOI 10.15588/1607-3274-2018-4-8
7. Polishchuk V., Voloshyn O., Malyar M., Sharkadi M. *Fuzzy mathematical modeling financial risks: IEEE Second International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP)*, 21-25 August 2018. Lviv, 2018. pp. 65-69. DOI: 10.1109/DSMP.2018.8478604
8. Polishchuk V., Kelemen M., Kozuba J. Technology improving safety of crowdfunding platforms functioning in the context of the protection of the start-up investors in the financial and transport sectors. *KONBIN*. 2019, 49, pp. 313–330. DOI: doi.org/10.2478/jok-2019-0016
9. Снитюк В.Е. Эволюционные технологии принятия решений в условиях неопределенности. К: «МПІ Леся», 2015. 347 с.
10. Kuts A.M. Method of presentation of expert information by means of fuzzy logic and obtaining the group assessment of expert opinions. *Technol. Audit Prod. Reserv.* 2015. 2. pp. 17–21.
11. Polishchuk V., Kelemen M., Gavurová B., Varotsos C., Andoga R., Gera M., Christodoulakis J., Soušek R., Kozuba J., Hospodka J., Blišťan P., Szabo Jr. S. A Fuzzy Model of Risk Assessment for Environmental Start-up Projects in the Air Transport Sector. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2019. 16. 3573. <https://doi.org/10.3390/ijerph16193573>
12. Kelemen M., Polishchuk V., Gavurová B., Szabo S., Rozenberg R., Gera M., Kozuba J., Hospodka J., Andoga R., Divoková A., Blišťan P. Fuzzy Model for Quantitative Assessment of Environmental Start-up Projects in Air Transport. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2019. 16. 3585. <https://doi.org/10.3390/ijerph16193585>
13. Tan P.-N., Steinbach M., Kumar V. Introduction to Data Mining. New York: Addison-Wesley, Upper Saddle River, 2005. 365 p.
14. Gaber M. M. Scientific Data Mining and Knowledge Discovery – Principles and Foundations. New York: Springer, 2010. 400 p. DOI: 10.1007/978-3-642-02788-8.
15. Згуровський М.З. Сценарний аналіз як системна методологія передбачення. *Системні дослідження та інформаційні технології*. 2002. № 1. С. 7–38.

16. World Economic Forum. (2020). COVID-19. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.weforum.org/agenda/archive/covid-19>.
17. Dhiman Nitesh, Sharma M. Fuzzy Logic Inference System for Identification and Prevention of Coronavirus (COVID-19). *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)*. 2020. 9. pp. 2278-3075. DOI: 10.35940/ijitee.F4642.049620.
18. Zgurovsky M., Zaychenko Yu. Big Data: Conceptual Analysis and Applications. New York: Springer, 2020.
19. Kelemen M., Jevčák J., Andoga R. *Security Management Education and Training of Critical Infrastructure Sectors' Experts: the 13th International Scientific Conference Proceedings New Trends in Aviation Development*. 2018. pp. 68-71.
20. Kelemen M., Polishchuk V. *Information Model of Evaluation and Output Rating of Start-up Projects Development Teams: Proceedings of the Second International Workshop on CMIS-2019, CEUR Workshop Proceedings, Vol. 2353, 2019*. pp. 674-688.

**Polishchuk V. V., Malyar M. M.** Modeling of risk level of the socio-economic systems functioning.

The research of the actual task of developing the technology of assessing the level of functioning of the system to support decision making from the regular mode to the disaster.

For the first time, the study presents inputs for assessing the functioning of the system in a hybrid manner, based on the experience, knowledge and expertise of experts, as well as data mining. A block diagram of the assessment of the level of functioning of the system to support decision making is demonstrated.

For the first time, a fuzzy mathematical model for evaluating the level of functioning of a system to support decision-making is proposed, according to a step-by-step algorithm based on expert hybrid data, using linguistic and quantitative variables. In doing so, the criterion estimates of the functioning system are aggregated based on the decision maker's judgment (pessimistic / cautious / average / optimistic scenarios). According to the threshold of possibility of functioning of system there is a risk assessment for quality of decision-making in different modes. As a result of evaluating the system in different modes of operation, we obtain a quantitative assessment of the risk of system functioning relative to the scenario of the event deployment, the linguistic level of system functioning and the level of risk acceptance of the system functioning. All this allows to reveal uncertainties of expert opinions and data obtained, substantiate the degree of decision-making and draw adequate conclusions, taking into account the mode of operation of the system.

Within the framework of the developed research, a logical statement of the rule of belonging of linguistic assessments, matrix and knowledge base of determining the acceptability of the level of risk of functioning of the system is formulated.

The validity of the obtained results is ensured by the correct use of intellectual knowledge analysis, systematic approach, fuzzy set theory and fuzzy logic, which is confirmed by the research results. The research conducted will be a useful tool to support decision-making, to create and manage decisions in different modes of system operation.

**Keywords:** fuzzy knowledge, operating modes of the system, COVID-19, risk level, decision making, intellectual analysis.

## References

1. Zhurovskyy, M.Z., & Pankratova, N.D. (2007). *Osnovy systemnoho analizu*. Kiev: Vydavnycha hrupa VNV. [in Ukrainian].
2. Kudryavtsev, V.N. (1978). *Pravo i povedeniye*. Moskva: Yuridicheskaya literatura. [in Russia].
3. Zaychenko, YU.P. (2008) *Nechetkiye modeli i metody v intellektualnykh sistemakh: ucheb. posobiye*. Kiev: Slovo. [in Ukrainian].
4. Zade, L. (1976). *Ponyatiye lingvisticheskoy peremennoy i yego primeneniye k prinyatiyu priblizhennykh resheniy*. Moscow: Mir. [in Russia].
5. Rotshteyn, O.P. (1999). *Intelektualni tekhnolohiyi identyfikatsiyi: nechitki mnozhyny, henetychni alhorytmy, neyronni merezhi*. Vinnytsya: UNIVERSUM. [in Ukrainian].
6. Polishchuk, V.V., Malyar M.M., Voloshyn O.F. & Sharkadi M.M. (2018). *Informatsiyne*

- modelyuvannya nechitkykh znan. *Radio Electronics, Computer Science, Control*. 2018/4.84-95. DOI:10.15588/1607-3274-2018-4-8 [in Ukrainian].
7. Polishchuk, V., Voloshyn, O., Malyar, M., & Sharkadi, M. (2018). *Fuzzy mathematical modeling financial risks*: IEEE Second International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP), 21-25 August 2018. (pp. 65-69). Lviv. DOI: 10.1109/DSMP.2018.8478604 [in English].
  8. Polishchuk, V., Kelemen, M., & Kozuba J. (2019). Technology improving safety of crowdfunding platforms functioning in the context of the protection of the start-up investors in the financial and transport sectors. *KONBIN*. 49 313–330. DOI: doi.org/10.2478/jok-2019-0016 [in English].
  9. Snityuk, V.Ye. (2015). Evolyutsionnyye tekhnologii prinyatiya resheniy v usloviyakh neopredelennosti. *Kiev: MP Lesya*. [in Russian].
  10. Kuts, A.M. (2015). Method of presentation of expert information by means of fuzzy logic and obtaining the group assessment of expert opinions. *Technol. Audit Prod. Reserv.* 2. 17–21. [in English].
  11. Polishchuk, V., Kelemen, M., Gavurová, B., Varotsos, C., Andoga, R., Gera, M., Christodoulakis, J., Soušek, R., Kozuba, J., Hospodka, J., Blišťan, P., & Szabo, Jr. S. (2019). A Fuzzy Model of Risk Assessment for Environmental Start-up Projects in the Air Transport Sector. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 16. 3573. <https://doi.org/10.3390/ijerph16193573> [in English].
  12. Kelemen, M., Polishchuk, V., Gavurová, B., Szabo, S., Rozenberg, R., Gera, M., Kozuba, J., Hospodka, J., Andoga, R., Divoková, A., & Blišťan, P. (2019). Fuzzy Model for Quantitative Assessment of Environmental Start-up Projects in Air Transport. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 16. 3585. <https://doi.org/10.3390/ijerph16193585> [in English].
  13. Tan, P.-N., Steinbach, M., & Kumar, V. (2005). Introduction to Data Mining. *New York: Addison-Wesley, Upper Saddle River*. [in English].
  14. Gaber, M.M. (2010). Scientific Data Mining and Knowledge Discovery – Principles and Foundations. *New York: Springer*. DOI: 10.1007/978-3-642-02788-8.
  15. Zhurovsky, M.Z. (2002). Stsenarnyy analiz yak systemna metodolohiya peredbachennya. *Systemni doslidzhennya ta informatsiyni tekhnolohiyi*. № 1. 7-38. [in Ukrainian].
  16. World Economic Forum. (2020). COVID-19. Retrieved from: <https://www.weforum.org/agenda/archive/covid-19>.
  17. Dhiman Nitesh, & Sharma, M. (2020). Fuzzy Logic Inference System for Identification and Prevention of Coronavirus (COVID-19). *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)*. 9. 2278-3075. DOI: 10.35940/ijitee.F4642.049620. [in English].
  18. Zgurovsky, M., & Zaychenko Yu. (2020). Big Data: Conceptual Analysis and Applications. *New York: Springer*. [in English].
  19. Kelemen, M., Jevčák, J., & Andoga, R. (2018). *Security Management Education and Training of Critical Infrastructure Sectors' Experts*: the 13th International Scientific Conference Proceedings New Trends in Aviation Development. (pp. 68-71). [in English].
  20. Kelemen, M., & Polishchuk, V. (2019). *Information Model of Evaluation and Output Rating of Start-up Projects Development Teams*: Proceedings of the Second International Workshop on CMIS-2019, CEUR Workshop Proceedings, Vol. 2353, (pp. 674-688). [in English].

Одержано 17.04.2020