

**МЕТОД МІРКУВАНЬ НА ПРЕЦЕДЕНТАХ ДЛЯ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В ГУМАНІТАРНОМУ РЕАГУВАННІ**

---

Розглянуто особливості прийняття рішень в гуманітарному реагуванні. Визначено функції та структуру системи підтримки прийняття рішень в гуманітарному реагуванні, що базується на попередньо накопиченому досвіді прийняття рішень в даній предметній області. Як основу для представлення знань використано модифікований метод міркувань на прецедентах, що дозволяє адаптувати попередні рішення до поточної ситуації. Експериментальна перевірка отриманих результатів показала високий рівень ефективності використання запропонованого методу.

**1. Вступ**

За два роки військових дій гуманітарна ситуація в Україні різко погіршується. За даними Плану гуманітарних потреб та реагування на 2024 рік [1], допомоги потребують 14,6 млн. населення країни. За цей час накопичений певний досвід надання допомоги, вироблені типові сценарії гуманітарного реагування та критерії оцінки їхньої якості, внесені відповідні зміни до законодавства України. Постає питання можливості використання цього досвіду для подальшого прийняття рішень в гуманітарному реагуванні.

Складність автоматизації процесів прийняття рішень в гуманітарному реагуванні пов'язана з мінливістю становища в зоні бойових дій, низькою прогнозованістю перебігу будь-

яких надзвичайних ситуацій, невизначеністю первісних цілей та задач, обмеженнями в часі, ресурсах та можливостях доставлення допомоги, необхідністю координування дій суб'єктів надання допомоги тощо. Ця предметна область є мало дослідженою, увага в основному приділяється вирішенню окремих питань, зокрема логістичних та управління роботою волонтерських хабів, практично немає робіт, присвячених комплексному підходу до обробки інформації та накопичення знань в сфері гуманітарного реагування. Рішенням цієї проблеми може бути створення системи підтримки прийняття рішень (СППР), в основі якої лежить база знань, яка формалізує накопичений досвід для подальшого використання в прийнятті рішень.

## **2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми дослідження**

За останні два десятиліття різко збільшилась кількість досліджень, присвячених прийняттю рішень в умовах надзвичайних ситуацій, що пов'язано з розростанням географії збройних конфліктів, природних та техногенних катастроф, а також з необхідністю вирішення проблеми інтеграції та забезпечення потреб біженців. В [2] на основі аналізу сучасних підходів до проведення миротворчих місій зроблено висновок, що необхідний перехід від несистематичної допомоги до «формування загального програмного середовища миротворчої інженерії», яке буде комплексно вирішувати проблеми, пов'язані з війнами, природними та техногенними катастрофами. Програми гуманітарного реагування є невід'ємною частиною миротворчої інженерії, тому вони вимагають поглибленіших досліджень.

Складність та динамічність процесів предметної області, неможливість побудови моделей логічного висновку на основі обмеженої інформації визначає використання моделей представлення знань, що здатні навчатися та адаптуватися при мінімальних початкових даних. Ефективним підходом до вирішення подібних задач є Case-Base Reasoning (міркування на прецедентах, CBR-метод) [3]. В наукових дослідженнях розглядаються модифікації цього підходу для певних предметних областей, в тому числі пов'язаних з попередженням та реагуванням на наслідки різноманітних природних та техногенних катастроф.

В [4] для попередження природних катастроф використовується модифікація CBR, що враховує просторові чинники. Для визначення локальної та глобальної подібності використовується метод найближчого сусіда. Ризик катаклізмів в [5] визначається за допомогою CBR-методу на основі гібридного сценарію, що поєднує онтологічну модель контролю несправностей з міркуванням на прецедентах. В [6] розглядається система готовності до подолання гідрологічних катастроф. Пропонується чотирьохетапний метод, що містить фільтрацію прецеденту, дедукцію, копіювання та адаптацію.

В [7] аналізуються проблеми реагування на масштабні катастрофи за допомогою гібридної онтологічної моделі. Інтеграція міркувань на прецедентах та виведення на основі правил дозволяє оцінити кількості ресурсів, які будуть розгорнуті в разі виникнення надзвичайної ситуації. В [8] пропонується для упорядкування прецедентів в базі використовувати градієнтний метод кластерного аналізу, що прискорює пошук подібних прецедентів. В [9] CBR-модифікація використовується для оцінки ризиків катастроф. На відміну від традиційного CBR, у якому враховується лише подібність інформації, запропонований гібридний метод дозволяє уникнути пропуску важливої корельованої інформації, роблячи висновки на основі даних з багатьох джерел інформації. Врахувати фактор часу дозволяє використання темпоральних прецедентів [10, 11], але процедури вилучення та адаптації для таких прецедентів є складними та малодослідженими.

В [12] для формального опису ситуації використали гібридний підхід аргументації

«зверху вниз» і «знизу вгору» з CBR-методом. Показано, що виконання процесів ідентифікації ситуації та її аналізу дозволяють усвідомити стан знань щодо цієї ситуації на основі немонотонної логіки. Іншим напрямком є представлення слабоструктурованих знань нечіткою логікою [13, 14]: функції належності оцінок за критеріями дозволяють врахувати фактор невизначеності.

Однак вибір моделей та методів, що дозволять періодично накопичувати існуючий досвід саме при прийнятті рішень в гуманітарному реагуванні, залишається недослідженим. Тому проблему даного дослідження слід сформулювати як проблему ефективного накопичення знань в даній предметній області з урахуванням попереднього досвіду реагування на гуманітарні кризи.

### **3. Мета і задачі дослідження**

Метою даного дослідження є адаптація знання-орієнтованої моделі міркувань на прецедентах для підвищення ефективності прийняття рішень при гуманітарному реагуванні. Застосування CBR-методу дозволить спростити процедуру накопичення знань за рахунок адаптації та навчання в реальному часі. Для досягнення поставленої мети слід вирішити такі задачі:

- визначити структуру та основні функції СППР для процесів гуманітарного реагування;
- удосконалити CBR-метод з урахуванням особливостей процесів гуманітарного реагування, зокрема складності структури рішень, що приймаються;
- провести експериментальне дослідження роботи удосконаленого методу на початковому наборі даних.

### **4. Визначення структури та функцій системи підтримки прийняття рішень в гуманітарному реагуванні**

СППР в гуманітарному реагуванні повинна оперативно обробляти інформацію різних типів з різних джерел за допомогою адекватних моделей даних та надавати особам, що приймають рішення, вичерпну інформацію про поточну критичну ситуацію, а також прогнозні моделі щодо подальшого розвитку надзвичайної ситуації з оцінкою майбутніх потреб в гуманітарному реагуванні.

СППР повинна виконувати такі задачі:

- оперативне отримання інформації від різноманітних джерел;
- попередній аналіз даних, очищення та агрегування;
- взаємодія з геоінформаційними системами, відомчими та іншими базами даних та розподіленими інформаційними системами;
- візуалізація даних, у тому числі просторових;
- інтелектуальний аналіз даних, побудова прогнозів та залежностей, у тому числі в умовах невизначеності, коли інформації про ситуацію недостатньо або її неможливо отримати;
- зберігання попереднього досвіду прийняття рішень в області гуманітарного реагування у вигляді прецедентів;
- оцінка якості прийнятих рішень.

Структура СППР для гуманітарного реагування представлена на рис. 1.

Особливістю наведеної на рис. 1 структури є модуль міркувань на прецедентах, що імітує людські міркування та заснований на ефективному використанні існуючого досвіду. Модуль реалізує такі функції:

- формування моделей прецеденту;
- початкове заповнення бібліотеки прецедентів (БП);

- формування моделі поточної ситуації;
- вибір множини прецедентів, що найбільш відповідає поточній ситуації;

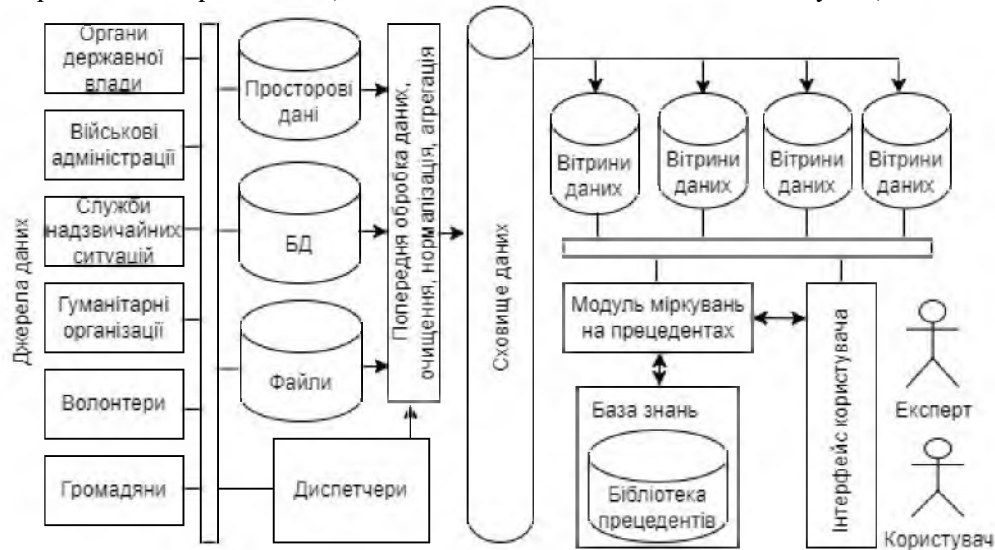


Рис. 1. Структура СППР процесів гуманітарного реагування

- адаптація отриманих рішень до поточної ситуації;
- перевірка та зберігання отриманого рішення.

Розглянемо особливості міркувань на прецедентах. Традиційний CBR-метод [3] дозволяє представити знання про предметну область у вигляді деякого опису ситуації і відповідного їй рішення:

$$case = \langle situation, solution, result \rangle, \quad (1)$$

де *situation* – ситуація, що описує даний прецедент; *solution* – рішення; *result* – результат застосування рішення.

Міркування на основі прецедентів є циклічним процесом, що містить рішення проблеми, запам'ятовування рішення в формалізованому вигляді, вирішення нової проблеми тощо. В загальному вигляді CBR-цикл містить чотири етапи:

- пошук та відбір найподібнішого поточній ситуації прецеденту;
- повторне використання відібраного прецеденту;
- перегляд та адаптація відібраного прецеденту для вирішення поточної проблеми;
- збереження отриманого досвіду.

Головною перевагою використання CBR-методу можна вважати відсутність складних етапів отримання знань, таких як формалізація та узагальнення знань експерта і верифікація системи на коректність та повноту. З іншого боку, практичне використання цього методу ускладнюється тим, що не розроблено механізми, які дозволяли б враховувати структуру прийнятих рішень та критерії вибору декількох рішень, що є близькими до поточної ситуації.

Традиційно найвразливішим є етап адаптації прецеденту, особливо якщо в предметній області не виконується принцип регулярності. В такому разі найближчий за певною метрикою

прецедент не буде містити прийнятного рішення.

## 5. Метод міркувань на прецедентах для підтримки прийняття рішень в гуманітарному реагуванні

### 5.1. Розробка модифікованого методу міркувань на прецедентах

Для адаптації міркувань на прецедентах до особливостей процесів гуманітарного реагування пропонується використовувати модифікований метод прецедентів. Знання про предметну область (1) представимо у вигляді прецеденту:

$$case = \langle S, R, count \rangle, \quad (2)$$

де  $S$  – ситуація,  $S \in U^S$  – множині можливих ситуацій;  $R$  – впорядкована множина концептів рішень,  $R \subset U^R$  – підмножина множини концептів рішень;  $count$  – кількість вдалих використань прецеденту.

В свою чергу, кожна ситуація  $S$  характеризується набором параметрів  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , що приймають значення з діапазонів  $x_1 \in X_1, x_2 \in X_2, \dots, x_n \in X_n$ , де  $X_1, X_2, \dots, X_n$  – діапазони значень відповідного параметра, а  $n$  – кількість параметрів прецеденту. Наприклад, при прийнятті рішень в сфері забезпечення населення водою параметрами може бути кількість населення в зоні ураження, наявність централізованого водопостачання, якість водопровідної води, наявність відкритих джерел води та їхня якість, тощо.

Кожному параметру ситуації  $x_1, x_2, \dots, x_n$  ставляться у відповідність вагові коефіцієнти  $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n, \varphi_i \in [0,1], i = \overline{1, n}$ , що задаються експертом відповідно до специфіки кожного значення.

Рішення  $R$ , що міститься в прецеденті, в свою чергу, містить набір кроків  $r_1, r_2, \dots, r_b, r_i \in R, i = \overline{1, b}$ , де  $b$  – кількість кроків в рішенні  $r$ . В свою чергу, кожен крок містить в собі пару

$$r_i = \langle concept_i, num_i \rangle, \quad (3)$$

де  $concept_i$  – концепт,  $concept_i \in C$  – множині концептів предметної області;  $num_i$  – кількісна характеристика  $concept_i$ ,  $num_i \in \mathfrak{R}_i$  – множині допустимих значень відповідного концепту.

Наприклад, концептом може бути організація підвезення питної води в цистернах, тоді  $num_i$  – кількість необхідних цистерн. Або у випадках забруднення води може здійснюватися закупівля хімічних реагентів для очисних споруд, в такому разі кількісна характеристика визначає кількість реагентів, які необхідно закупити.

Для вилучення прецедентів розглянемо метод найближчого сусіда [3] з урахуванням специфіки процесів гуманітарного реагування. Для цього введемо додатково величину  $Q$  – порогове значення ступеню відмінності поточної ситуації та прецеденту. В результаті відбору

знаходиться множина прецедентів, ступень відмінності яких менше або дорівнює пороговому значенню. Це дозволяє надати експерту інформацію про деяку множину прецедентів, кожен з яких є близьким до поточної ситуації.

Вхідними даними є множина параметрів, що характеризує поточну ситуацію  $cur$ :  $x_1^{cur}, x_2^{cur}, \dots, x_n^{cur}$ ,  $P$  – непушта множина з БП розмірністю  $m$ ,  $p_k \in P$ ,  $k = \overline{1, m}$ . Вихідними даними є множина  $W$ , для всіх елементів якої виконується нерівність  $d(p_k, cur) \leq Q$ , де  $d(p_k, cur)$  – відстань між прецедентом та поточною ситуацією. Тоді модифікований метод міркувань на прецедентах містить такі кроки:

Крок 1. Задається вихідна множина  $W = \emptyset$ ,  $id = 1$ , де  $id$  – номер прецеденту з БП.

Крок 2. Якщо  $id \leq m$ , обирається наступний прецедент з  $P$  та здійснюється перехід до кроку 3. Інакше – всі прецеденти з бази розглянуті, здійснюється перехід до кроку 5.

Крок 3. Розраховується відстань між обраним прецедентом та поточною ситуацією за Мангеттенською метрикою ( $\beta = 1$ ):

$$d(p_k, cur) = \frac{\left\{ \sum_{i=1}^n \varphi_i |x_i^{p_k} - x_i^{cur}|^\beta \right\}^{1/\beta}}{\sum_{i=1}^n \varphi_i}. \quad (4)$$

Крок 4. Якщо  $d(p_k, cur) \leq Q$ , прецедент  $p_k$  включається до множини  $W$ . Виконується операція  $id = id + 1$ , здійснюється перехід до кроку 2.

Крок 5. Якщо  $W = \emptyset$ , то експертом приймається рішення або збільшити  $Q$  та перейти до кроку 1, або здійснити перехід до кроку 10.

Крок 6. Проводиться ранжування множини  $W$  за зменшенням значення  $d(p_k, cur)$ . Якщо значення відстані співпадають, то другим параметром ранжування є кількість вдалих використань  $count$ .

Крок 7. Якщо прийнято рішення про збереження прецеденту з мінімальною відстанню, то здійснюється перехід до кроку 10.

Крок 8. Для адаптації обирається два прецеденти  $p_1$  та  $p_2$ , для яких відстань (4) є мінімальною. Виконується об'єднання рішень  $r_{p_1} \cup r_{p_2}$  за таким правилом: якщо  $concept_{i_{p_1}} = concept_{i_{p_2}}$ , то значення концепту рішення визначається за правилом обчислення середнього арифметичного кількісних характеристик концепту.

Крок 9. Зберігається новий прецедент.

Крок 10. Кінець виконання методу.

Результатом використання модифікованого CBR-методу є прецедент, що містить адаптоване до поточної ситуації рішення.

## 5.2. Експериментальне дослідження результатів модифікації базового методу міркувань на прецедентах

На основі модифікованого CBR-методу було розроблено прототип модуля міркувань на

прецедентах, інтерфейс якого представлено на рис. 2. Дані для проведення навчання, пов'язані з забезпеченням населення питною та технічною водою в умовах надзвичайних ситуацій, були отримані з [1] та інших відкритих джерел.



Рис. 2. Приклад використання прототипу модуля міркувань на прецедентах

Як початковий набір даних було створено п'ятдесят прецедентів. Кожен прецедент містив набір параметрів, що його характеризує, та відповідні кроки рішень. Для проведення навчання на прецедентах початкове наповнення БП складало п'ятнадцять прецедентів. В процесі навчання набір параметрів кожного наступного прецеденту розглядався як нова ситуація, для якої слід знайти рішення. Отримане в результаті адаптації рішення порівнювалось з рішенням нового прецеденту для оцінки якості класифікації, після чого новий прецедент поміщався в БП.

На рис. 3 наведено графік залежності якості класифікації від кількості прецедентів в БП, що відображає чисельні результати експерименту.

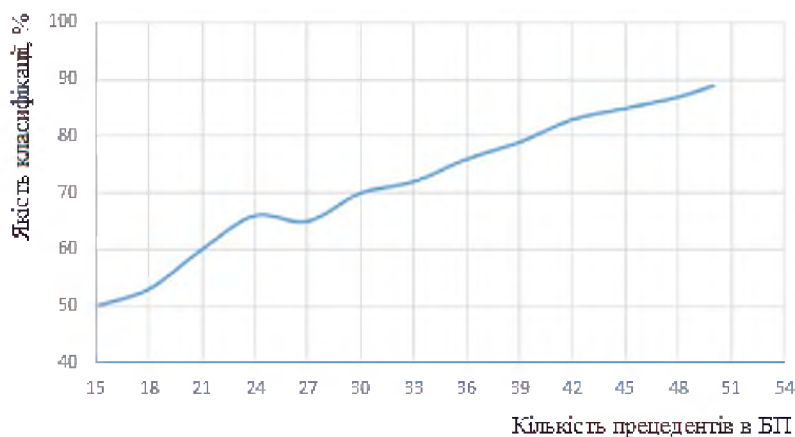


Рис. 3. Графік залежності якості класифікації від кількості прецедентів в БП

## 6. Обговорення результатів дослідження

СППР для гуманітарного реагування містить як складову модуль міркувань на прецедентах, який на основі інформації, отриманої з вітрин даних (рис. 1), формує прецеденти минулих ситуацій і зберігає їх у БП. Для вилучення та адаптації прецедентів з БП використовується модифікований СВР-метод, що має такі особливості:

– параметричне представлення прецеденту (2) окрім набору параметрів і рішення містить частоту використання прецедентів, що дозволить у разі отримання однакових відстаней вилучати прецеденти, що мали більше вдалих застосувань;

– розширення представлення рішення прецеденту (3) за рахунок розділення на концепти (кроки) та надання кожному концепту додаткових характеристик дозволить адаптувати прецеденти, для яких методом найближчого сусіда отримано відстані в заданих межах, шляхом здійснення процедури об'єднання відповідних концептів.

Як видно з рис. 3, на початку експерименту, коли БП містила п'ятнадцять прецедентів, якість класифікації нових прецедентів складала приблизно 50 %. Але при збільшенні прецедентів якість класифікації повільно зростає до 89 %, коли число прецедентів в БП становить п'ятдесят випадків. Таким чином, можна вважати, що метод міркувань на прецедентах є достатньо ефективним рішенням у випадках, коли немає змоги зібрати багато прикладів вирішення подібної проблеми у минулому. Побудована СППР на основі модуля міркувань на прецедентах дозволить в режимі навчання накопичувати знання та адаптувати їх для вирішення подібних ситуацій у майбутньому.

З метою підвищення ефективності використання модифікованого методу міркувань на прецедентах в подальшому планується розширення параметричного представлення прецеденту онтологічною складовою, що може бути використано для прийняття рішень на стратегічному рівні. Крім того, введення часових параметрів в представлення прецеденту дозволить використовувати міркування на прецедентах з урахуванням розвитку поточної ситуації у часі.

## 7. Висновки

У ході дослідження було розроблено структуру СППР для гуманітарного реагування, що відповідає особливостям прийняття рішень в даній предметній області. Для підвищення якості прийняття рішень використано модифікований метод прецедентів, який дозволяє представляти рішення для кожного прецеденту у вигляді послідовності кроків, кожен з яких має відповідну характеристику, та в подальшому використовувати об'єднання цих кроків в процесі адаптації.

Проведене експериментальне дослідження показало, що використання модифікованого методу міркувань на прецедентах дозволить структурувати знання, пов'язані з гуманітарним реагуванням, та в подальшому при виникненні подібних ситуацій ідентифікувати їх і повторно використовувати навіть при невеликому обсягу БП.

### Перелік посилань:

1. План гуманітарних потреб і реагування. Україна. Цикл гуманітарних програм. 2024 рік. URL: <https://www.unhcr.org/ua/wp-content/uploads/sites/38/2024/01/Ukraine-HNRP-2024-Humanitarian-Needs-and-Response-Plan-EN-20240110.pdf> (дата звернення: 12.01.2024).
2. Lepskiy M., Lepska N. The War in Ukraine and its Challenge to NATO: Peacekeeping to Peace Engineering. *American Behavioral Scientist*. 2023. № 67.3. P. 402–425. <https://doi.org/10.1177/00027642221144833>.
3. Watson I.D., Marir F. Case-based reasoning: A review. *The Knowledge Engineering Review*. 1994. № 4 (9). P. 355-381. <https://doi.org/10.1017/S0269888900007098>.

4. Zheng Z., Jianhua C. An improved spatial case-based reasoning considering multiple spatial drivers of geographic events and its application in landslide susceptibility mapping. *Catena*. 2023. № 223. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.106940>.
5. Yu F., Fan B., Qin C., Yao C. A scenario-driven fault-control decision support model for disaster preparedness using case-based reasoning. *Natural Hazards Review*. 2023. Vol. 24, No. 41. <https://doi.org/10.1061/NHREFO.NHENG-1722>.
6. Zhu M., Chen R., Chen S., Zhong S., Lin T., Huang Q. Ontology-supported case-based reasoning approach for double scenario model construction in international disaster medical relief action. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2018. Vol. 842. P. 239-250. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-98776-7\\_26](https://doi.org/10.1007/978-3-319-98776-7_26).
7. Mehla S., Jain S. An ontology supported hybrid approach for recommendation in emergency situations. *Annals of Telecommunications*. 2020. Vol. 75, No. 7-8. P. 421-435. <https://doi.org/10.1007/s12243-020-00786-z>.
8. Воркут Т. А., Луцкай Ю. В., Харута В. С. Концептуальна модель прецедентного формування портфеля постачальників логістичних послуг в проєктах логістичного аутсорсингу. *World science*. 2021. № 5 (66). С. 21-29. [https://doi.org/10.31435/rsglobal\\_ws/30052021/7586](https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/30052021/7586).
9. Jiang X., Wang S., Wang J., Lyu S., Skitmore M. A decision method for construction safety risk management based on ontology and improved cbr: Example of a subway project. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020. Vol. 17, No 111. <https://doi.org/10.3390/ijerph17113928>.
10. Чалий С. Ф., Прибыльнова І. Б. Ситуаційний підхід до представлення темпоральних знань прецедентів. *Вісник НТУ «ХПИ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології*. 2016. № 45. С. 70–73. <https://doi.org/10.17586/0021-3454-2018-61-11-956-962>.
11. Dyomina V., Bilova T., Pobizhenko I., Chala O., Domina T. Representation of Knowledge by Temporal Cases in Humanitarian Response. *Computational Linguistics and Intelligent Systems: Proceedings of the 7th International Conference, Volume III: Intelligent Systems Workshop, Kharkiv, Ukraine, April 20–21, 2023*. P. 126–136. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-3403/paper10.pdf> (дата звернення: 12.01.2024).
12. Jain S., Patel A. Situation-Aware Decision-Support During Man-Made Emergencies. *Lecture Notes in Electrical Engineering*. 2020. Vol. 605. P. 532-542. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-30577-2\\_47](https://doi.org/10.1007/978-3-030-30577-2_47).
13. Волошин О. Ф., Маляр М. М., Поліщук В. В., Шаркаді М. М. Інформаційне моделювання нечітких знань. *Радіоелектроніка, інформатика, управління*. 2018. № 4. С. 84–95. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2018-4-8>.
14. Білова Т. Г., Дьоміна В. М., Мар'їн С. О., Побіженко І. О. Використання нечіткої логіки для представлення знань темпоральними прецедентами в умовах невизначеності. *Системи обробки інформації*. 2023. № 1(172). С. 7-12. <https://doi.org/10.30748/soi.2023.172.01>

Надійшла до редколегії 01.03.2024 р.

**Білова Тетяна Георгіївна**, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри ІУС ХНУРЕ, м. Харків, Україна, e-mail: [tetiana.bilova@nure.ua](mailto:tetiana.bilova@nure.ua), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1085-7361>.

**Дьоміна Вікторія Михайлівна**, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних технологій, кібернетики та захисту інформації ДБТУ, м. Харків, Україна, e-mail: [vvdomina17@gmail.com](mailto:vvdomina17@gmail.com), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6467-5021>.

**Побіженко Ірина Олександрівна**, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри ІІ ХНУРЕ, доцент кафедри цифрових комунікацій та інформаційних технологій ХДАК, м. Харків, Україна, e-mail: [irina\\_pob@ukr.net](mailto:irina_pob@ukr.net), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0723-1878>.

**Остапенко Олена Олексіївна**, здобувач вищої освіти, група УПТТМ-23-1, факультет комп'ютерних наук, ХНУРЕ, м. Харків, Україна, e-mail: [olena.ostapenko@nure.ua](mailto:olena.ostapenko@nure.ua), ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-4146-4669>.