

МОДЕЛЬ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОГО ВИБОРУ ВАРІАНТА РЕАГУВАННЯ НА НАДЗВИЧАЙНІ СИТУАЦІЇ

Пронюк Г.В., Хондак І.І.

Харківський національний університет радіоелектроніки Україна,
61166, Харків, пр. Науки 14

E-mail: ganna.proniuk@nure.ua, inna.hondak@nure.ua

Анотація: У роботі розглянуто основні напрями застосування технологій штучного інтелекту в галузі цивільної безпеки, зокрема для систем підтримки прийняття рішень під час реагування на надзвичайні ситуації. Запропоновано багатокритеріальну модель вибору оптимального варіанта реагування на основі адитивної зваженої суми, що враховує сукупність критеріїв ефективності, часу, ресурсного забезпечення та ризику.

Ключові слова: штучний інтелект, цивільна безпека, система підтримки прийняття рішень, надзвичайні ситуації.

DECISION SUPPORT MODEL FOR MULTI-CRITERIA SELECTION OF AN EMERGENCY RESPONSE OPTION

H. Proniuk, I. Khondak

Kharkiv National University of Radio Electronics
Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauky av., 14

E-mail: ganna.proniuk@nure.ua, inna.hondak@nure.ua

Annotation: The paper examines the main areas of application of artificial intelligence technologies in civil protection, with particular emphasis on decision-support systems for emergency response. A multi-criteria decision-making model based on the weighted additive sum method is proposed. The model considers a set of key criteria, including operational effectiveness, response time, resource availability, and risk level.

Keywords: artificial intelligence, civil protection, decision support system, emergencies.

Сучасні надзвичайні ситуації (НС) техногенного та природного характеру, зокрема великі пожежі в природних екосистемах, техногенні аварії та наслідки бойових дій, характеризуються стрімкою динамікою розвитку, багатофакторністю та обмеженим часом для прийняття рішень. Таким чином, керівник ліквідації НС змушений одночасно опрацьовувати значні обсяги інформації (дані метеорологічних спостережень, показники засобів дистанційного зондування, відомості про наявність сил особового складу і засобів, характеристики об'єкта та навколишньої забудови тощо) в умовах дефіциту часу. Це зумовлює зростання інтересу до застосування технологій штучного інтелекту (ШІ) як інструменту підтримки прийняття управлінських рішень у сфері цивільного захисту.

Мета роботи полягає у визначенні основних напрямів та можливостей використання систем штучного інтелекту для підвищення ефективності й обґрунтованості рішень, що приймаються під час ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.

Аналіз наукових джерел і практичного досвіду дає змогу виокремити кілька ключових напрямів застосування ШІ в системі цивільного захисту.

1. *Прогнозування розвитку та поширення пожежі.* Моделі машинного навчання (зокрема на основі рекурентних та згорткових нейронних мереж, а також фізично-інформованих моделей) дають змогу з урахуванням метеорологічних умов, рельєфу місцевості, вологості та типу горючих матеріалів прогнозувати напрямок і швидкість поширення фронту пожежі на кілька годин наперед. Це дозволяє завчасно визначати пріоритетні напрямки зосередження сил і засобів, планувати рубежі локалізації та шляхи евакуації населення.

2. *Комп'ютерний зір та розпізнавання образів.* Системи на базі згорткових нейронних мереж, інтегровані з відеокамерами, безпілотними літальними апаратами та супутниковими знімками, забезпечують раннє виявлення осередків загоряння, автоматичне визначення площі пожежі, ідентифікацію задимлення, а також розпізнавання постраждалих і перешкод у зоні НС. Використання тепловізійних камер у комбінації з алгоритмами ШІ підвищує ефективність пошуково-рятувальних робіт в умовах обмеженої видимості та в нічний час.

3. *Системи підтримки прийняття рішень (СППР).* Інтелектуальні СППР інтегрують дані з різних джерел у єдину аналітичну платформу та формують для керівника ліквідації НС альтернативні варіанти дій із прогнозованою оцінкою їхньої ефективності. Такі системи здатні враховувати наявність резервів особового складу й техніки, час прибуття підрозділів, ризики для рятувальників і динамічно коригувати рекомендації в міру надходження нових даних.

4. *Оптимізація розподілу сил і засобів.* Алгоритми оптимізації та методи дослідження операцій, підсилені машинним навчанням, застосовуються для розв'язання задач маршрутизації пожежних автомобілів, розподілу особового складу між кількома осередками НС і планування логістики постачання ресурсів (води, піни, палива) з урахуванням дорожньої обстановки та пріоритетності об'єктів.

5. *Робототехнічні комплекси та автономні системи.* Наземні та повітряні робототехнічні платформи з елементами ШІ використовуються для розвідки в зонах, небезпечних для людини (задимлені приміщення, зони хімічного чи радіаційного зараження, ділянки з ризиком обвалення), а також для автономного гасіння окремих осередків пожежі.

6. *Цифрові двійники та імітаційне моделювання.* Побудова цифрових двійників населених пунктів, лісових масивів і потенційно небезпечних об'єктів у поєднанні з ШІ дає змогу завчасно відпрацьовувати сценарії розвитку НС, тестувати ефективність різних варіантів реагування та проводити навчання особового складу в реалістичному віртуальному середовищі.

Розглянемо спрощену математичну модель, яка може бути покладена в основу відповідного програмного модуля СППР (рис.1), а саме багатокритеріальну модель вибору варіанта реагування.

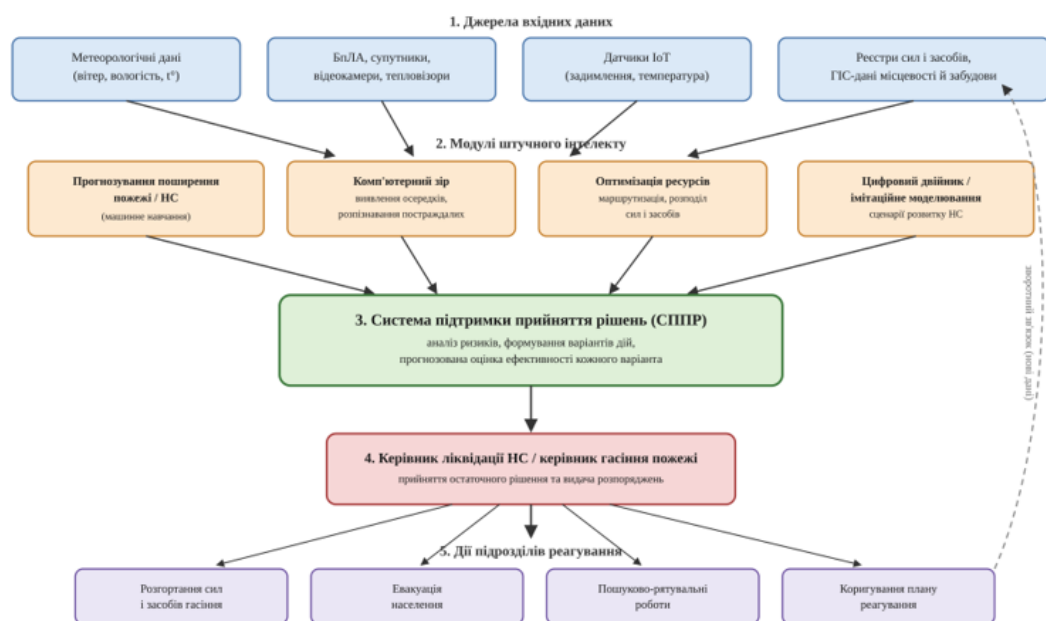


Рисунок 1 – Структурна схема інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень під час гасіння пожеж та ліквідації НС

Для порівняння альтернативних варіантів дій, сформованих СППР (наприклад, різних маршрутів розгортання сил і засобів), застосовується адитивна модель зваженої суми:

$$S_j = \sum_{i=1}^n w_i x_{ij} \quad (1)$$

де S_j – інтегральна оцінка j -го варіанта реагування; n – кількість критеріїв оцінювання; w_i – вага i -го критерію; x_{ij} – нормалізована оцінка j -го варіанта за i -тим критерієм у діапазоні $[0; 1]$.

Було обрано адитивну модель зваженої суми саме через необхідність оперативного розрахунку в режимі реального часу та інтерпретованість результатів, також дана модель забезпечує мінімальні обчислювальні витрати.

Вагові коефіцієнти w_i можуть визначатися методом аналізу ієрархій (АНР), методом парних порівнянь або на основі статистичних даних, при цьому $\sum_{i=1}^n w_i = 1$.

Перед агрегуванням критерії нормалізуються, що усуває вплив різних одиниць вимірювання та забезпечує їх порівнюваність. Можна використовувати для цього класичну лінійну мін-макс нормалізацію, причому для критеріїв-«витрат» (час, кількість ресурсів, ризик) використовується нормалізація виду

$$x_{ij} = \frac{x_i^{\max} - x_{ij}}{x_i^{\max} - x_i^{\min}},$$

а для критеріїв-«вигід» (ефективність покриття):

$$x_{ij} = \frac{x_{ij} - x_i^{\min}}{x_i^{\max} - x_i^{\min}}.$$

Якщо всі альтернативи мають однакове значення критерію, нормалізоване значення приймається рівним 0.5.

Оптимальним визнається варіант з максимальним значенням S_j .

Розглянемо три альтернативні варіанти реагування (1, 2, 3), сформовані СППР для умовної пожежі, за чотирма критеріями з вагами, визначеними експертним шляхом ($w = 0,35; 0,20; 0,25; 0,20$). Результати розрахунків представлені у табл.1.

Таблиця 1 – Результати розрахунків інтегральної оцінки варіантів реагування

Критерій	Вага w_i	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3
Час реагування, хв (min)	0,35	12	18	15
Потреба в ресурсах, од. техніки (min)	0,20	6	4	5
Ризик для особового складу, бали (min)	0,25	4	3	6
Ефективність покриття, % (max)	0,20	85	78	90
Інтегральна оцінка S_j		0,63	0,45	0,48

Після нормалізації значень за наведеними вище формулами та обчислення зваженої суми (1) найвищу інтегральну оцінку отримує варіант 1 ($S_j \approx 0,63$) – за рахунок найменшого часу реагування та прийняттого рівня ризику, попри дещо більшу потребу в ресурсах. Саме цей варіант СППР буде рекомендувати керівнику ліквідації НС як пріоритетний. Кодекс цивільного захисту встановлює, що остаточне рішення приймається саме людиною-керівником з урахуванням додаткових обставин, які не були формалізовані у моделі.

Попри значний потенціал, застосування ШІ в оперативній діяльності органів і підрозділів цивільного захисту супроводжується низкою проблем: недостатня якість і повнота вихідних даних для навчання моделей; необхідність забезпечення високої надійності та пояснюваності

рішень системи, оскільки помилка алгоритму в умовах реальної НС може мати критичні наслідки; складність інтеграції нових інтелектуальних систем із наявною матеріально-технічною базою та інформаційною інфраструктурою; потреба у фаховій підготовці особового складу до роботи з такими системами, а також питання кібербезпеки та захисту критичної інформаційної інфраструктури.

ВИСНОВКИ. Штучний інтелект є перспективним інструментом підвищення ефективності управлінських рішень під час гасіння пожеж і ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій завдяки можливостям прогнозування розвитку подій, автоматизованого аналізу даних дистанційного зондування, оптимізації розподілу ресурсів та підтримки прийняття рішень у реальному часі. Водночас ефективне впровадження таких технологій потребує комплексного підходу, що охоплює формування якісних баз даних, розроблення нормативно-правового забезпечення використання ШІ в системі цивільного захисту, підготовку фахівців та поетапну апробацію інтелектуальних систем в умовах, наближених до реальних, перш ніж їх повноцінно застосовувати в оперативній діяльності.

ЛІТЕРАТУРА

1. Артемчук В. О., Попов О. О. Інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень у сфері цивільного захисту: аналітичний огляд. Проблеми надзвичайних ситуацій. 2023. № 1. С. 12-24.
2. Kolomiiets A., Kustov M. Machine learning approaches for wildfire spread prediction: a review. Fire Safety Journal. 2022. Vol. 130. P. 103-115.
3. Кодекс цивільного захисту України: Закон України від 02.10.2012 № 5403-VI. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17> (дата звернення: 09.07.2026).
4. Nevliudov, I., Yevsieiev, V., & Sotnik, S. (2026). PREDICTIVE ANALYTICS AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN EMERGENCY WARNING SYSTEMS. Collection of scientific papers «SCIENTIA», (August 7, 2026; Marseille, France), 108-111.
5. Yevsieiev V., Sezonova I., Artem Bronnikov. Synergy of Humans and Artificial Intelligence in the Management of Civil Protection Forces in Accordance with the Industry 5.0 Concept // Oxford 2026: Science and Education Today : proceedings of the International scientific and practical conference (July 17-19, 2026). - Oxford, United Kingdom : 2026. - Pp. 57-60. <https://doi.org/10.64828/conf-140-2026>
6. Yevsieiev V., Sezonova I., Demska N. Digital Twins and Cyber-Physical Systems as the Foundation for the Transformation of Civil Defense in the Context of Industry 5.0 // Paris Science and Education Forum : proceedings of the International scientific and practical conference (July 10-12, 2026). – Paris, France : naukainfo.com, 2026. - Pp. 12-14. <https://doi.org/10.64828/conf-139-2026>
7. Yevsieiev V., Stytsenko T. Intelligent Situational Awareness Systems for Civil Safety Based on Industry 5.0 Technologies // In VII Correspondence International Scientific and Practical Conference Science in Motion: Classic and Modern Tools and Methods In Scientific Investigations held on July 24th, 2026. P.181-184. DOI : <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.24.07.2026>.
8. Nevliudov I. Sh., Yevsieiev V., Sotnik S. Implementing Industry 5.0 Technologies in Civil Safety Systems for Intelligent Emergency Management // In Proceedings of the XII International Scientific and Theoretical Conference, July 17, 2026. San Francisco, USA: International Center of Scientific Research. -281. P. 85-88. <https://doi.org/10.36074/scientia-17.07.2026>
9. Attar, H., Abu-Jassar, A., Hafez, M., Al-Sharo, Y. M., Yevsieiev, V., & Lyashenko, V. (2025, December). Model of Spatial Localization and Identification Objects in the Working Area Collaborative Robot. In 2025 Asian Conference on Communication and Networks (ASIANComNet) (pp. 1-6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ASIANComNet68615.2025.11579708>