

УДК 614.841

ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ

Даник Ю. О.¹, Кіріченко Д. О.²

¹Національний університет цивільного захисту України

²Одеська державна академія будівництва та архітектури

Анотація: У статті особлива увага звертається на катастрофи, спричинені ракетними обстрілами, техногенними аваріями та природними пожежами, які мають значні людські та матеріальні втрати. Виявлено основні фактори виникнення масштабних пожеж, значних матеріальних збитків та екологічних наслідків, визначені людські та матеріальні збитки. Також проаналізовано залучення сил та засобів ДСНС України для ліквідації пожеж і надзвичайних ситуацій.

Пропонуються нові підходи до забезпечення пожежної безпеки, зокрема через використання сучасних технологій, таких як штучний інтелект (ШІ). ШІ має значний потенціал для поліпшення кожного етапу роботи з пожежами: від прогнозування та раннього виявлення до управління ресурсами та відновлення територій після надзвичайних ситуацій. Використання ШІ дозволяє скоротити час реакції, підвищити точність аналізу ризиків та оптимізувати управління евакуацією. Завдяки інтеграції цих технологій можливе створення більш безпечних і стійких систем, які сприяють мінімізації збитків та підвищенню надійності реагування на пожежі.

В роботі проведений аналіз вітчизняних та зарубіжних досліджень, який підтверджує ефективність застосування технологій штучного інтелекту для моніторингу, аналізу та прогнозування надзвичайних ситуацій. Зокрема, такі технології, як цифрові двійники, алгоритми машинного навчання дозволяють оперативно реагувати на пожежі, покращувати управління рятувальними операціями та мінімізувати ризики для населення.

Програмні комплекси з використанням штучного інтелекту надають можливості для прогнозування ризиків пожеж, швидкого виявлення займання, оптимізації ресурсів під час гасіння та планування заходів контролю. Також вони забезпечують аналіз наслідків пожеж та сприяють розробці стратегій для запобігання майбутнім загрозам. Їхнє використання охоплює всі етапи роботи з пожежами, від протипожежних заходів до відновлення територій. Інтеграції подібних систем у вітчизняну практику для підвищення рівня пожежної безпеки. Оцінено потенціал інтеграції подібних систем у вітчизняну практику з метою підвищення рівня пожежної безпеки. Інтеграція ШІ дозволяє оперативно обробляти великі обсяги даних, забезпечуючи точність та ефективність аналізу, що є критично важливим для своєчасного реагування на надзвичайні ситуації.

Ключові слова: пожежа, надзвичайна ситуація, програмні комплекси, штучний інтелект, пожежна безпека.

APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE SYSTEMS TO SOLVING FIRE SAFETY PROBLEMS

Yu. Danyk¹, D. Kirichenko²

¹National University of Civil Defence of Ukraine

²Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract: The popularity of translucent materials in construction, especially in high-rise buildings, creates challenges for improving approaches to fire safety. Translucent designs have a limited. During a fire, they can quickly heat up, crack or even collapse, which helps the fire to spread to other parts of the building and increases the speed of fire spread.



Practical methods and methods of limiting the spread of fire on building facades are considered in the work, including the use of fire eaves, protective screens made of fire-resistant material, limiting the area of the window opening, as well as the use of water irrigation. Water irrigation is an effective method of extinguishing fire and cooling facade elements, but its parameters, such as working pressure, water flow, location, etc., require careful research to achieve maximum efficiency.

The purpose of this work is to use the PyroSim software complex to investigate the effectiveness of sprinklers for the protection of transparent structures on the facade of high-rise buildings and to determine their main parameters.

With the help of PyroSim, a detailed three-dimensional model was created, which takes into account the complex geometric shapes of the building and the impact of fire protection systems, taking into account the features of translucent facades. In the course of research, structural elements that can affect the spread of fire and smoke are also taken into account, namely the characteristics of materials, fire load, installation of window openings. PyroSim, simulating the spread of a fire, made it possible to take into account heat and smoke flows, convective effects occurring during a fire, as well as the interaction of sprinklers with the heat load.

The results of such modeling can be used to optimize the design of fire protection systems and ensure the compliance of building regulations with fire safety issues. In particular, modeling allows you to determine the most effective ways to place sprinklers, taking into account the specific conditions and structural features of the building. Thanks to this, it is possible not only to increase the level of protection of buildings against fires, but also to minimize the costs of installing and maintaining fire systems.

Keywords: fire, simulation, destruction, sprinkler, PyroSim.

1 ВСТУП

Зростання кількості та інтенсивності пожеж у світі, викликане змінами клімату, створює нові виклики у сфері пожежної безпеки. Яскравим прикладом прояву небезпеки є лісові пожежі в Луганській області (Україна, Луганська область, рис. 1). У вересні 2020 року на Луганщині лісові пожежі охопили кілька районів. Унаслідок цієї екологічної катастрофи загинули 5 осіб, 109 отримали поранення, а понад 3000 мешканців були евакуйовані. Загальні матеріальні збитки оцінили у понад 12 мільйонів гривень. За інформацією Кабінету Міністрів України, загальна площа пожежі більше 20 тисяч гектарів [1].



Рис.1. Пожежі в Луганській області, 2020 рік, Україна

Було виявлено кілька причин виникнення та поширення пожеж:

- порушення правил протипожежної безпеки у лісових масивах;
- можливі навмисні підпали (підозрюється людський фактор);
- несприятливі погодні умови, зокрема сильний вітер до 25 м/с та висока температура;
- недостатня кількість ресурсів для оперативного реагування на надзвичайну ситуацію.

Це привело до виникнення масштабних пожеж на Луганщині, які швидко поширювалися через погоду та завдали значної шкоди природі, спричинивши людські жертви та значні матеріальні збитки.

Також, виникали лісові пожежі в Чорнобильській зоні відчуження (Україна, Київська область, рис. 2). Пожежі в зоні відчуження охопили понад 11 500 гектарів, знищивши лісові масиви, покинуті населені пункти та інфраструктуру. До гасіння було залучено понад 200 чоловік та 64 одиниць техніки [2].



Рис.2. Пожежі в Чорнобильській зоні, 2020 рік, Україна

Було виявлено кілька причин виникнення та поширення пожеж:

- за даними Національної поліції України, пожежі були спричинені умисним підпалом сухої рослинності в окремих районах, що стало основною причиною виникнення пожежі;
- суха погода та сильний вітер сприяли швидкому поширенню вогню;
- велика площа зони відчуження та важкодоступність окремих ділянок ускладнили своєчасне виявлення та ліквідацію пожеж на ранніх стадіях.

В Каліфорнії (США, Каліфорнія, рис. 3) було зафіксовано понад 8 600 пожеж, які охопили територію площею близько 1,7 мільйона гектарів. Унаслідок катастрофи загинуло щонайменше 31 особа, понад 100 000 мешканців були змушені евакуюватися, та знищено понад 10 000 будівель, включаючи житлові будинки та інфраструктуру [3].



Рис.3. Лісові пожежі в Каліфорнії, 2020 рік, США

Було виявлено чотири причин виникнення та поширення пожеж:

- аномальна спека та посуха, що створили сприятливі умови для розповсюдження вогню;
- близько 12 000 ударів блискавки за короткий період, що спричинили численні загоряння;
- недбалість або навмисні дії людей, які призвели до виникнення осередків вогню;
- недостатня готовність систем раннього виявлення пожеж до таких пожеж.

Влітку 2021 року сталися масштабні лісові пожежі в Каліфорнії (США, штат Каліфорнія, рис. 4). Пожежі охопили величезні території, знищивши понад 470 тисяч гектарів лісу, сотні будинків та інфраструктуру. Унаслідок катастрофи загинули кілька

людей, десятки отримали поранення, а тисячі мешканців були змушені евакуюватися [4].



Рис. 4. Лісові пожежі в Каліфорнії, 2021 рік, США

Було виявлено кілька основних причин виникнення пожеж:

- тривала посуха та аномальна спека, що створили сприятливі умови для займання;
- сильний вітер, який сприяв швидкому поширенню вогню;
- неналежний стан лісів, включаючи велику кількість сухої;
- збільшення кількості людських факторів, таких як необережне поводження з вогнем.

Підрив Каховської ГЕС (Україна, Херсонська область, м. Нова Каховка, рис. 5) Це трапилося 6 червня 2023 року, коли російські війська здійснили підрив греблі Каховської гідроелектростанції. Внаслідок цього сталося затоплення значної частини Херсонської області, зокрема населених пунктів, сільськогосподарських угідь та природних об'єктів. Станом на червень 2023 року було підтверджено загибель 21 особи. Кількість зниклих безвісти залишається невідомою. Близько 17 тисяч осіб з підконтрольних територій України було евакуйовано [5].



Рис. 5. Наслідки підриву Каховської ГЕС, червень 2023 року, Україна

Причиною руйнування стало замінування та підрив греблі російськими окупаційними військами, які контролювали об'єкт на той момент. Це призвело до підняття рівня води до критичних значень та знищення інфраструктури в багатьох населених пунктах, загибелі людей та руйнування екосистеми та забруднення ґрунтів.

Лісові пожежі в Австралії (штати Новий Південний Уельс, Вікторія та Західна Австралія, рис. 6). У січні 2024 року вогонь охопив значні території. Унаслідок пожеж загинули щонайменше 33 людини, було знищено понад 2500 будинків, а мільйони

диких тварин, зокрема коали та кенгуру, загинули через поширення вогню. Також пожежа знищивши понад 6 мільйонів гектарів лісів та чагарників [6].



Рис. 6. Наслідки лісових пожеж в Австралії, січень 2024 рік

Було виявлено такі причини пожеж:

- високі температури у штатах, понад 45°C;
- тривала посуха, яка зробила рослинність легкозаймистою;
- пориви вітру, що сприяло швидкому поширенню вогню;
- недбале поводження із відкритим вогнем.

Традиційні методи боротьби з пожежами виявляються дедалі менш ефективними в умовах змін клімату, зокрема через збільшення масштабів та швидкості їх поширення. Це створює необхідність у розробці нових підходів до забезпечення пожежної безпеки, зокрема через використання сучасних технологій, таких як штучний інтелект (ШІ).

Таким чином, актуальною науково-практичною задачею дослідження є проведення аналізу програмних комплексів, які застосовують ШІ, для вирішення задач у сфері пожежної безпеки з метою прогнозування, моніторингу та управління процесами гасіння пожеж.

2 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Штучний інтелект (ШІ) та технології на його основі стали одним з найбільш перспективних напрямків у забезпеченні пожежної безпеки, зокрема у сфері проектування, моніторингу та прогнозування надзвичайних ситуацій. За останнє десятиліття дослідники відзначають значний прогрес у розробці інтелектуальних систем, які сприяють зниженню ризиків виникнення пожеж та підвищенню ефективності реагування на них.

Однією з ключових ініціатив у цьому напрямку є впровадження алгоритмів штучного інтелекту для проектування пожежної безпеки будівель. У роботі [7] запропоновано дорожню карту застосування ШІ для підвищення структурної стійкості будівель, а також впроваджено три концепції: проектування пожежної безпеки з використанням ШІ, цифрові двійники для моніторингу в реальному часі та суперреальне прогнозування (SuRF) еволюції пожеж. Подібні ідеї розвиваються і в роботі [8], де детально описано інтеграцію ШІ в інженерію пожежної безпеки будівель. Ця концепція відображена на рис. 7, який демонструє еволюцію ролі ШІ у забезпеченні пожежної безпеки майбутніх міст. Такий підхід дозволяє ефективніше підготуватися до надзвичайних ситуацій, мінімізувати збитки та прискорити процес відновлення.

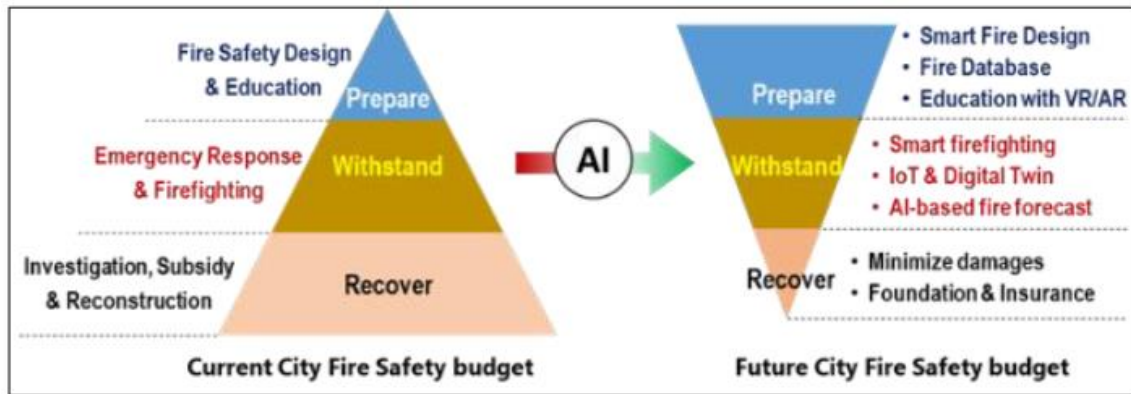


Рис. 7. Роль штучного інтелекту у формуванні пожежної безпеки майбутнього міста

Подібні дослідження підтверджують ефективність цифрових технологій і глибинного навчання. Наприклад, розробка програмного забезпечення IFETool [9] продемонструвала можливість швидкого та точного аналізу параметрів пожежі в складних архітектурних структурах, таких як атріуми. IFETool є інтелектуальним інструментом, що дозволяє моделювати розвиток пожежі, прогнозувати температурні показники, концентрацію шкідливих речовин та видимість диму. Візуалізація інтерфейсу та функціональних можливостей цього інструменту представлена на рис. 8. Завдяки створенню великої числової бази даних пожеж та тренуванню глибинних нейронних мереж, IFETool досягає точності 97% у прогнозуванні основних параметрів пожежі. Це, у свою чергу, дозволяє інженерам значно скоротити час на проєктування безпечних об'єктів, зберігаючи високу якість аналізу.



Рис. 8. Інтерфейс інтелектуального інструменту пожежогасіння IFETool

Особливу увагу привертає метод проєктування пожежної безпеки на основі продуктивності (PBD), який значно вдосконалено завдяки застосуванню ШІ. У

дослідженні [10] було запропоновано інтелектуальну структуру для прогнозування руху диму та доступного безпечного часу евакуації (ASET) в умовах атріуму. Використання транспонованої згорткової нейронної мережі (TCNN) дозволяє зменшити витрати часу та ресурсів на проведення CFD-розрахунків, зберігаючи при цьому точність результатів. Це підтверджує доцільність інтеграції ШІ у сучасне проєктування для підвищення ефективності та надійності систем пожежної безпеки.

У сфері реагування на пожежі значну роль відіграють системи, що забезпечують моніторинг у реальному часі. У роботі [11] описана система цифрового вогню AID-Fire, яка поєднує сенсори Інтернету речей (збір і передача даних), хмарне зберігання даних та алгоритми Conv-LSTM для аналізу просторово-часових характеристик пожежі. Система успішно продемонстрована в реальних умовах, забезпечуючи високу швидкість і точність виявлення пожеж із затримкою менше ніж одна секунда. Візуальна схема архітектури системи AID-Fire (рис. 9) демонструє роботу сенсорів для збору даних, передачу інформації через провідну та бездротову мережі на хмарний сервер, де штучний інтелект аналізує дані та візуалізує результати на інтерфейсі користувача для оперативного моніторингу та реагування на пожежі. Цей підхід дозволяє оперативно реагувати на розвиток надзвичайних ситуацій та ефективно управляти процесом евакуації та рятувальних операцій.

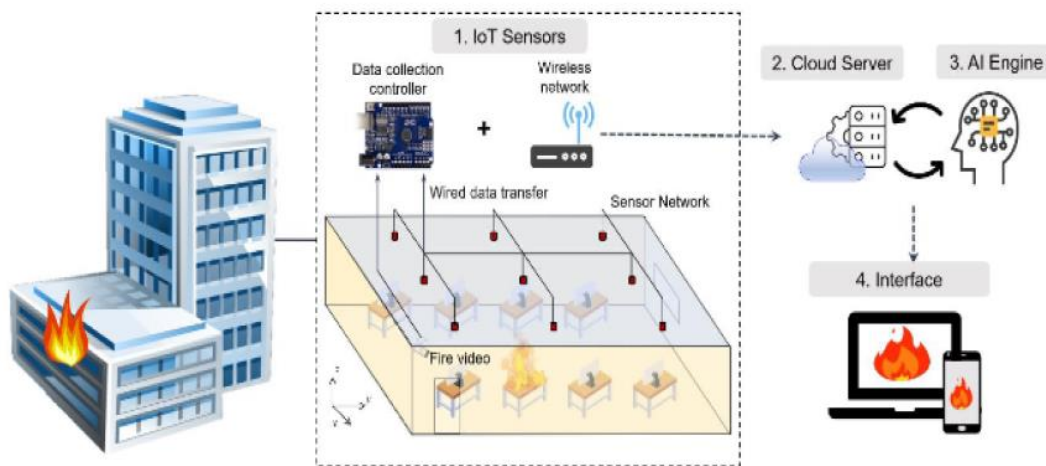


Рис. 9. Архітектура системи штучного інтелекту для цифрового виявлення пожежі (AID-Fire)

Подальші дослідження демонструють перспективи використання ШІ для покращення дій під час пожежного реагування. У роботі [12] запропоновано модель на основі детектора об'єктів YOLOv4 для реального часу, яка дозволяє покращити командування та облік персоналу на місці пожежі. Детектор досягає точності понад 90% при підрахунку кількості пожежних автомобілів і рятувальників за допомогою зображень від камер у пожежних автомобілях, машинах швидкої допомоги чи дронах. Рис. 10 ілюструє ключові етапи оперативного керування рятувальними операціями. Це дослідження демонструє можливість застосування технологій ШІ для оперативного керування рятувальними операціями та підвищення відповідальності персоналу під час надзвичайних ситуацій.

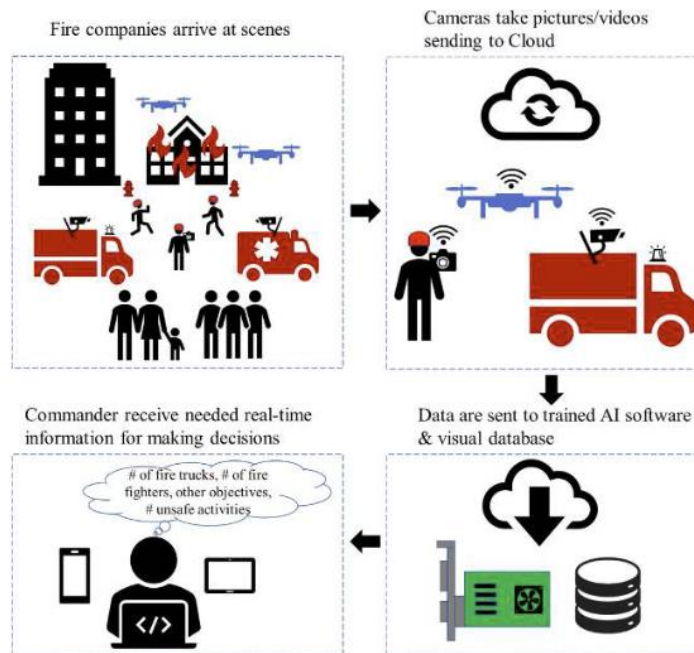


Рис. 10. Процедура управління пожежною безпекою з використанням штучного інтелекту

Ще одне дослідження демонструє схожу перспективу використання інтелектуальних систем для моніторингу пожеж тільки в тунелях. У роботі [13] запропоновано інтелектуальну систему пожежогасіння на основі цифрового двійника, яка включає чотири основні компоненти: сенсорну мережу, сервер даних, штучний інтелект для обробки інформації та інтерфейс користувача для візуалізації результатів. На рис. 11 представлено архітектуру системи, де сенсорна мережа збирає дані про температуру, видимість і рівень CO у реальному часі, а сервер передає ці дані для обробки ШІ. Штучний інтелект аналізує отриману інформацію, визначаючи місце та розмір пожежі з точністю 98%. Дані візуалізуються на користувацькому інтерфейсі для координації евакуації та рятувальних операцій із затримкою лише 1 секунду.

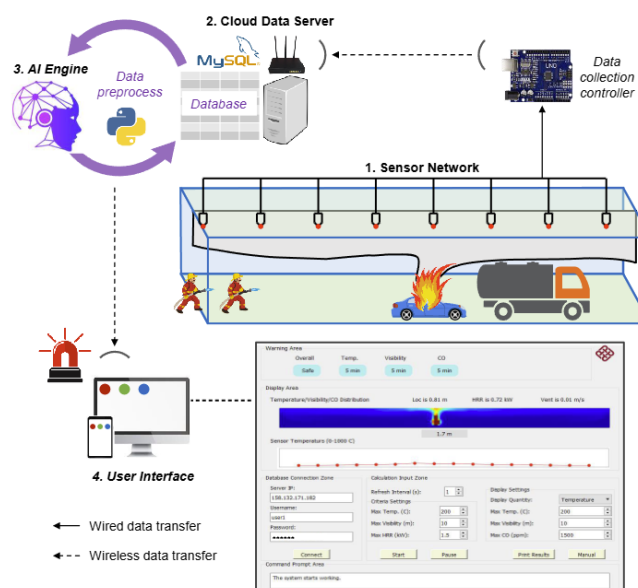


Рис. 11. Архітектура інтелектуальної системи пожежогасіння на основі цифрового двійника для моніторингу пожеж у тунелях

Останніми десятиліттями зріс попит на висотні будівлі для задоволення потреб сучасної урбанізації. Однак будівельні виклики та велике пожежне навантаження призвели до частих пожеж, які спричинили значні втрати людських життів і майна. Як зазначають у [14], важливо зрозуміти фізику поширення вогню та диму у висотних будівлях і впроваджувати заходи, що дозволять запобігати пожежам у майбутньому. Особливу увагу автори приділяють фасадам, аналізуючи їхню роль у розвитку пожеж. Важливу частину їхнього дослідження займає використання технологій ШІ та глибокого навчання для моделювання сценаріїв пожежі, а також для раннього попередження та оцінки ризиків. Архітекторам і інженерам це дозволяє створювати ефективніші системи пожежної безпеки, що відповідають цілям сталого розвитку. На рис. 12 представлено архітектуру системи моделювання пожеж за допомогою глибокого навчання, яка дозволяє аналізувати поведінку пожеж у висотних будівлях.

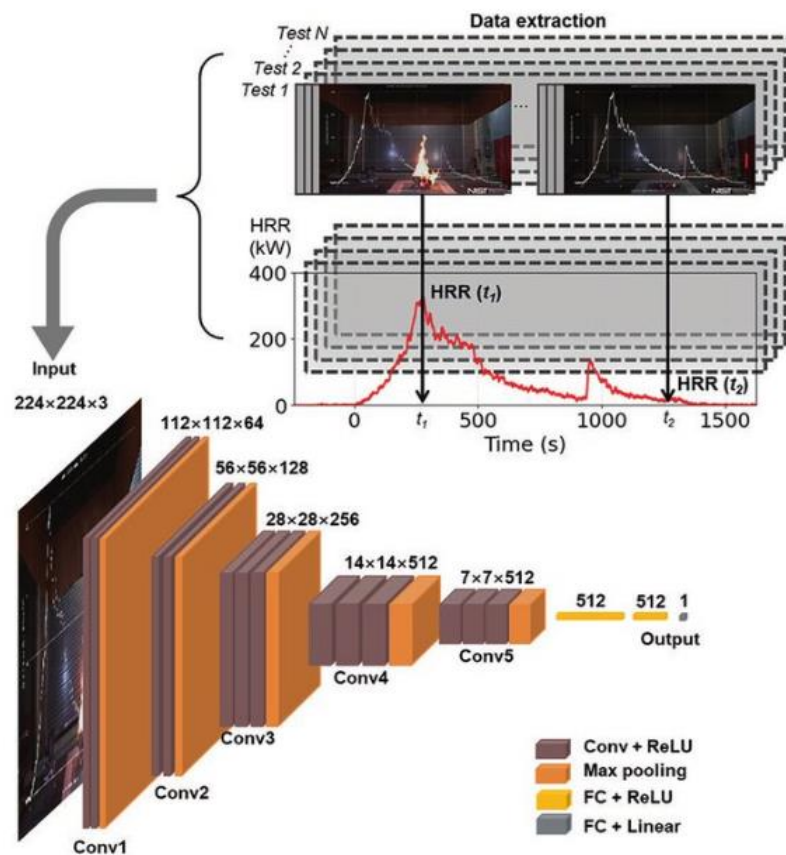


Рис. 12. Архітектура системи моделювання пожеж у висотних будівлях із використанням глибокого навчання

Оцінка політики управління пожежною безпекою в умовах розумних міст є важливим елементом забезпечення сталого розвитку. Як зазначають у [15], інтеграція великих даних (ВД) та штучного інтелекту (ШІ) дозволяє не лише зменшити кількість пожеж, але й підвищити ефективність гасіння, зменшити матеріальні збитки та кількість жертв. У дослідженні, проведеному в місті Наньчан, нова політика управління пожежною безпекою на основі великих даних показала збільшення ефективності гасіння пожеж на 9,07%. Основні етапи пожежно-рятувального процесу в контексті використання великих даних представлені на рис. 13.

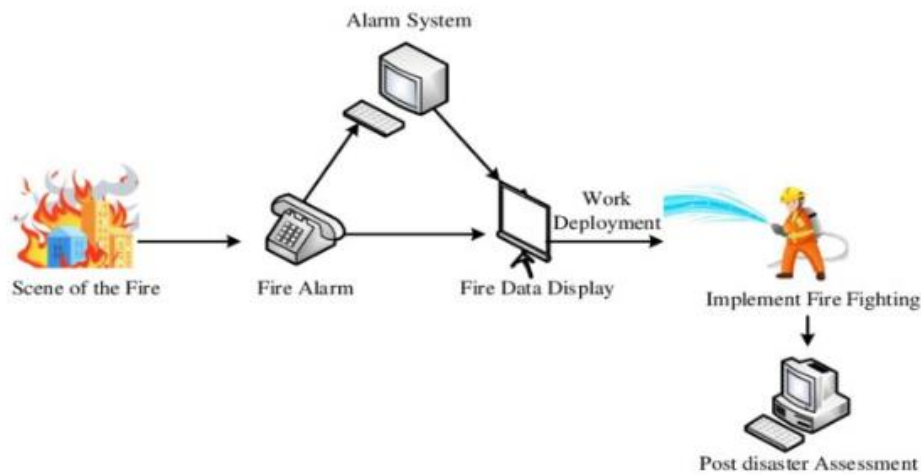


Рис. 13. Пожежно-рятувальний процес у використанні великих даних (BD)

Також, дослідження вказують, що штучний інтелект (ШІ) демонструє значний потенціал у сфері пожежної безпеки завдяки інтеграції передових технологій, таких як глибинне навчання, цифрові двійники, IoT та прогнозування на основі великих даних. Проведені дослідження підтверджують ефективність ШІ у вдосконаленні проєктування пожежної безпеки, моніторингу в реальному часі та прогнозуванні надзвичайних ситуацій.

За результатами аналізу наукових джерел виявлено, що ШІ має значний потенціал для поліпшення кожного етапу роботи з пожежами: від прогнозування та раннього виявлення до управління ресурсами та відновлення територій після надзвичайних ситуацій. Інтеграція ШІ дозволяє оперативно обробляти великі обсяги даних, забезпечуючи точність та ефективність аналізу, що є критично важливим для своєчасного реагування на надзвичайні ситуації.

Використання ШІ дозволить скоротити час реакції, підвищити точність аналізу ризиків та оптимізувати управління евакуацією. Завдяки інтеграції цих технологій можливе створення більш безпечних і стійких систем, які сприяють мінімізації збитків та підвищенню надійності реагування на пожежі.

3 ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Мета дослідження – дослідити ефективність інтеграції штучного інтелекту в програмні комплекси для покращення процесів прогнозування, виявлення, моніторингу та управління пожежами, зокрема для забезпечення необхідного рівня пожежної безпеки та реагування на надзвичайні ситуації.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні наукові завдання:

1. Проаналізувати наукові джерела щодо підходів забезпечення пожежної безпеки шляхом впровадження технологій на основі штучного інтелекту (ШІ) для вдосконалення проєктування пожежної безпеки, моніторингу в реальному часі та прогнозуванні надзвичайних ситуацій.

2. Оцінити можливості програмних комплексів на основі ШІ для оптимізації ресурсів під час гасіння пожеж, планування заходів контролю та зменшення ризиків для населення і майна, а також їх вплив на відновлення територій після надзвичайних ситуацій та відповідно оцінити потенціал інтеграції подібних систем у вітчизняну практику для підвищення рівня пожежної безпеки.

4 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

IFETool – це передове програмне забезпечення, розроблене для аналізу та оптимізації пожежної безпеки в будівлях. Цей інструмент базується на штучному інтелекті з точністю прогнозу моделі 97%, що робить час обчислення набагато коротшим, ніж у традиційних методах.

IFETool створили вчені Яньфу Цзена, Сяоніна Чжана, Лінг-чу Су, Сіцян Ву та Хуан Сіняна. Він спрямований на вирішення деяких основних обмежень існуючих методологій аналізу пожежної безпеки. Основна мета розробки цього інструменту – забезпечити швидке, економічне та точне моделювання сценаріїв пожежі. Це дозволить інженерам і архітекторам приймати обґрунтовані рішення щодо пожежної стратегії, використовуючи базу даних моделювання CFD, особливо щодо складних геометрій будівель.

Програмний комплекс IFETool об'єднує кілька основних функцій, спрямованих на забезпечення безпеки в умовах пожежі. Інструмент дає змогу прогнозувати поширення диму разом із температурою та концентрацією CO, враховуючи геометрію будівлі та можливі сценарії розвитку подій. Він також використовується для розрахунку доступного безпечного часу виходу у порівнянні з необхідним безпечним часом виходу для прийняття рішення про потреби зміни конструкції або зміни стратегії пожежі (рис. 14).

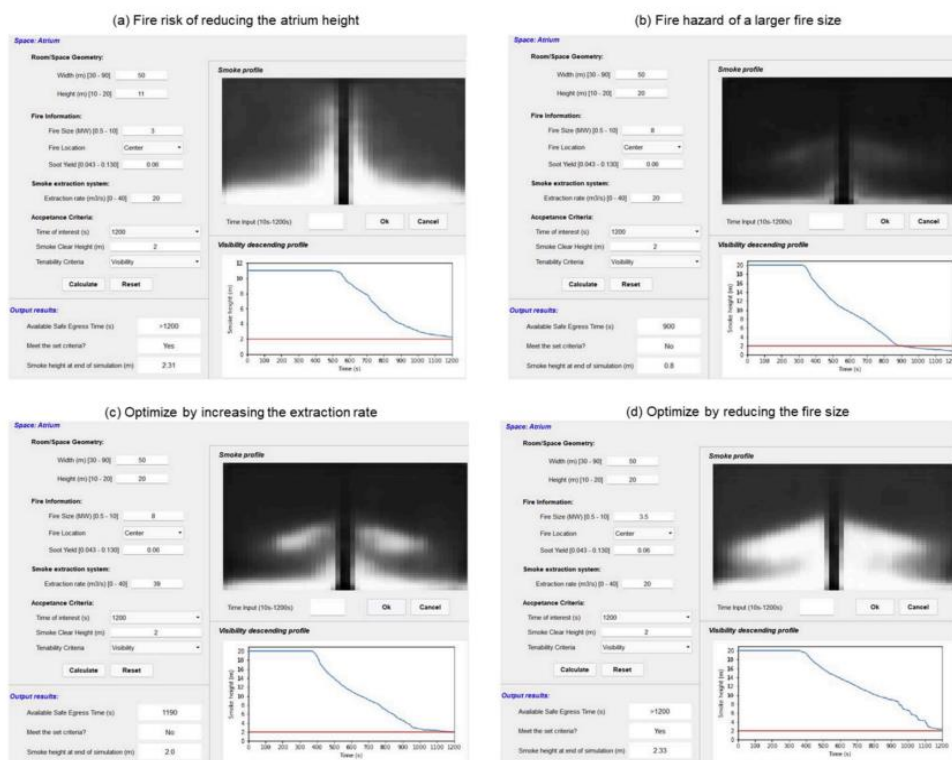


Рис. 14. Оцінка пожежної безпеки атриуму за допомогою IFETool, (а) зменшення висоти атриуму, (б) збільшення розміру пожежі, (с) оптимізація конструкції шляхом збільшення швидкості димовидалення та (д) зменшення розміру пожежі

Інструмент може враховувати зменшення висоти атриуму, збільшення розміру пожежі, а також оптимізацію системи димовидалення або зміну розміру пожежного навантаження.

IFETool активно застосовується для вирішення складних завдань. Наприклад, при розгляді варіантів зміни висоти атриуму для збільшення корисної площі будівлі,

інструмент надає рекомендації щодо необхідної швидкості димовидалення. У випадку змін у пожежному навантаженні система дозволяє швидко оцінити відповідність існуючих систем безпеки новим умовам.

IFETool демонструє високу ефективність у вирішенні задач, пов'язаних із забезпеченням пожежної безпеки. Завдяки використанню сучасних алгоритмів штучного інтелекту, цей інструмент значно спрощує процес прийняття рішень, забезпечуючи високу точність і швидкість розрахунків. Майбутні оновлення програмного комплексу спрямовані на розширення можливостей для аналізу нових типів будівель і сценаріїв.

FireAI – це програмний комплекс, розроблений компанією Robotto, який використовує штучний інтелект для автоматизації обробки даних та створення карт, що значно спрощує процеси, пов'язані з гасінням лісових пожеж. Система інтегрується з платформою Nova Maps, забезпечуючи користувачам зручний інтерфейс для створення детальних та інформативних карт без необхідності залучення фахівців з геоінформаційних систем (ГІС) [16].

Однією з ключових функцій FireAI є модуль Hotspots (Гарячі точки), який використовує передові алгоритми штучного інтелекту для автоматичного та точного виявлення гарячих точок на інфрачервоних зображеннях. Ця інформація допомагає планувати стратегію боротьби з вогнем, відстежувати його поширення та визначати зони підвищеного ризику. На рис. 16 зображено карту проекту FireAI, до якої були додані знімки з дрону, оброблені програмним забезпеченням із застосуванням штучного інтелекту. ШІ автоматично виявив гарячі точки осередків пожежі, які позначені на карті червоними точками, що дозволяє оперативно аналізувати ситуацію та реагувати на загрози.

Доповнюючи модуль Hotspots, функція Fire Perimeter (Периметр пожежі) надає інструменти для створення аналітичних даних щодо розширення пожежі. Використовуючи передові полігональні інструменти, система дозволяє визначати межі пожежі та аналізувати її динаміку, що є критично важливим для ефективного реагування та прийняття рішень.

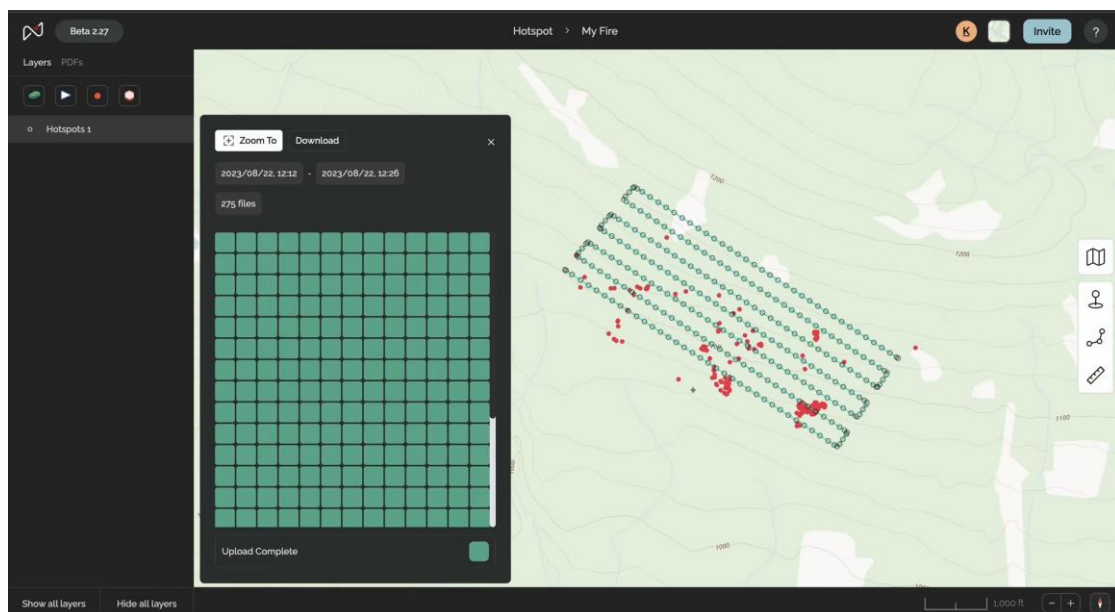


Рис. 16. Карта з гарячими точками осередків пожежі, виявленими за допомогою ШІ проекту FireAI

Для покращення візуалізації та передачі критичної інформації FireAI пропонує Wildfire Icon Pack (Набір ікон для лісових пожеж) – бібліотеку спеціалізованих ікон, які

можна додавати на карту. Це забезпечує чітке та інформативне позначення важливих об'єктів та явищ, сприяючи кращій комунікації між учасниками операцій з гасіння пожеж.

Nova Maps – це інтуїтивно зрозуміле програмне забезпечення для створення карт, яке спрощує процес обробки даних, отриманих з дронів. Воно дозволяє легко створювати ортомозаїки, накладати відео та обробляти теплові зображення, забезпечуючи користувачів точними та детальними картами для прийняття обґрунтованих рішень.

FireAI сумісний з різноманітними платформами та пристроями, що робить його універсальним інструментом для пожежних служб у всьому світі. Завдяки простоті використання та автоматизації складних процесів, FireAI дозволяє зосередитися на головному – ефективному та безпечному гасінні пожеж, мінімізуючи ризики для життя людей та збереження навколишнього середовища.

FireAI є цікавим інструментом, який використовує штучний інтелект для автоматизації процесів виявлення та моніторингу лісових пожеж. Його функціональні можливості, такі як автоматичне виявлення гарячих точок, визначення периметру пожежі та використання спеціалізованих ікон для картографування, значно підвищують ефективність та безпеку операцій з гасіння пожеж. Інтеграція з платформою Nova Maps забезпечує зручний та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс для користувачів, що робить FireAI зручним інструментом для пожежних служб у всьому світі.

Проект **OVERWATCH** розробляє новий набір алгоритмів машинного навчання для картографування повеней, пожеж та пошкоджених територій. Ці алгоритми призначені для використання як даних супутників Copernicus Sentinel, так і даних, отриманих за допомогою дронів. Різноманітність та експертиза команди проекту сприяють розробці та навчанню цих моделей [17].

Зокрема, для супутника Sentinel-2 планується застосування технік суперроздільної здатності, які будуть навчені на 10-метрових (видимий та ближній інфрачервоний діапазони) та 20-метрових (red edge, SWIR діапазони) даних, щоб покращити просторову роздільну здатність вихідних даних до 5 метрів. Це дозволить оцінити ефективність такого підходу для створення більш точних карт. Навчені алгоритми будуть оцінені та валідовані на реальних випадках, зокрема повенях та пожежах, що відбуватимуться протягом тривалості проекту, а їхні операційні можливості будуть перевірені за допомогою дронів.

Переваги використання ШІ в проекті **OVERWATCH**:

- здатність обробляти великі обсяги даних у короткий час;
- може працювати 24/7;
- навчені моделі значно зменшують кількість помилок та підвищують точність і прецизійність.

Прикладом застосування цих технологій є напівавтоматичне виділення згорілих територій в Іспанії, що демонструє ефективність розроблених алгоритмів у реальних умовах.

Штучний інтелект, розроблений у рамках проекту **OVERWATCH**, пропонує інструменти для швидкого та точного картографування стихійних лих, таких як повені та пожежі. Використання передових алгоритмів машинного навчання та інтеграція даних з різних джерел, включаючи супутники та дрони, забезпечує ефективне управління кризовими ситуаціями та мінімізацію їхніх наслідків для суспільства та навколишнього середовища.

ALERTCalifornia – це програма, заснована в Університеті Каліфорнії в Сан-Дієго, яка використовує передові технології для моніторингу та реагування на природні лиха, зокрема лісові пожежі. Одним із ключових компонентів цієї програми є мережа з понад 1 080 високоточних панорамних камер, розташованих по всій Каліфорнії, що

забезпечують цілодобовий моніторинг із використанням інфрачервоної нічної візії. Ці камери здатні виконувати 360-градусні оберти приблизно кожні дві хвилини та охоплювати до 60 миль удень і 120 миль уночі за ясної погоди [18].

У співпраці з Департаментом лісового господарства та протипожежного захисту Каліфорнії (CAL FIRE) та партнером Digital Path, ALERTCalifornia розробила інструмент на основі штучного інтелекту для виявлення пожеж. Цей ШІ аналізує дані з мережі камер, виявляючи аномалії, що можуть свідчити про початок пожежі. При виявленні потенційного займання система надсилає сповіщення пожежникам із зазначенням рівня впевненості та приблизного місця інциденту. Після підтвердження, рятувальники можуть швидко реагувати на пожежу на ранній стадії, що дозволяє стримувати її поширення. На рис. 17 зображено карту мережі камер ALERTCalifornia, яка покриває територію штатів Каліфорнія та сусідніх регіонів. У правій частині показано реальні зображення з камер у режимі реального часу, що використовуються для моніторингу та виявлення пожеж.

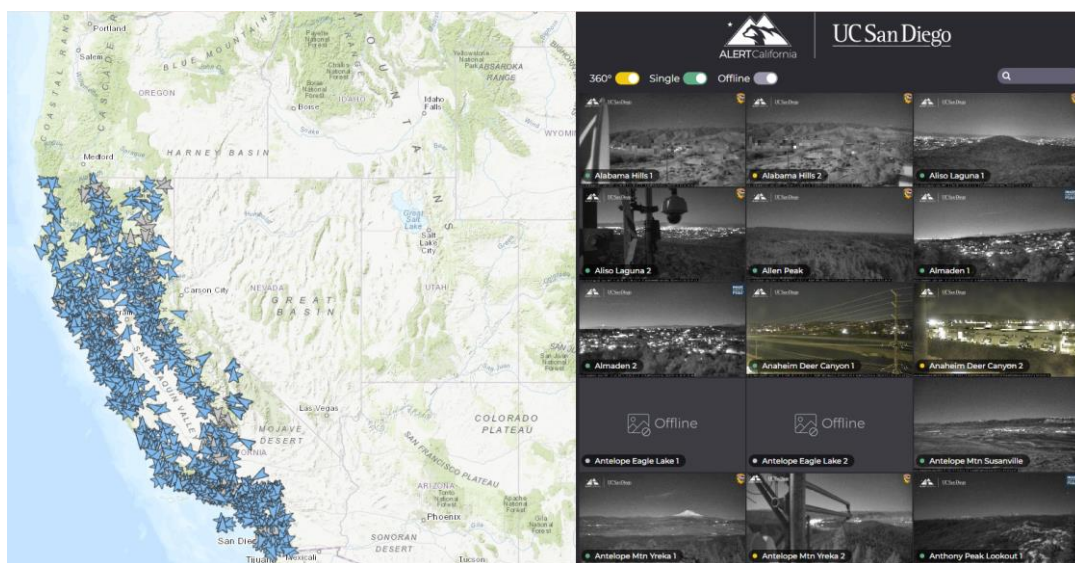


Рис. 17. Мережа камер ALERTCalifornia

Ця технологія особливо ефективна у віддалених районах і в нічний час, коли традиційні методи виявлення можуть бути менш надійними. У вересні 2023 року ШІ виявив займання поблизу Грасс-Веллі о 5:19 ранку, тоді як перший дзвінок на номер 911 надійшов лише о 6:01 ранку. Завдяки ранньому виявленню та швидкому реагуванню пожежу вдалося обмежити площею менше чверті акра.

Впровадження ШІ в рамках проєкту ALERTCalifornia значно підвищує ефективність боротьби з лісовими пожежами, зменшуючи час реагування та покращуючи ситуаційну обізнаність. Ця технологія отримала визнання, зокрема була названа одним із найкращих винаходів 2023 року за версією журналу TIME.

Штучний інтелект, інтегрований у проєкт ALERTCalifornia, демонструє значний потенціал у ранньому виявленні та реагуванні на лісові пожежі. Поєднання мережі високоточних камер із передовими алгоритмами машинного навчання забезпечує швидке виявлення аномалій, що сприяє ефективному стримуванню пожеж на ранніх стадіях та мінімізації їхнього впливу на довкілля та суспільство.

5 ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Функціональні можливості штучного інтелекту у системі Wildfire Analyst, розробленій компанією Technosylva, демонструють інноваційний підхід до

прогнозування поширення лісових пожеж, аналізу ризиків та підтримки оперативного реагування. Ця система поєднує сучасні алгоритми з мобільними та хмарними технологіями, забезпечуючи всебічний аналіз у реальному часі [19].

Wildfire Analyst є інструментом, який дозволяє прогнозувати поширення пожеж, аналізувати ризики та розробляти сценарії "що, якщо". Система інтегрується з прогнозами погоди, забезпечуючи актуальні дані щодо ризиків пожеж та потенційних наслідків. Як зазначають автори дослідження Монедеро С., Рамірес Х. та Карділ А., мобільний додаток "Кишеньковий аналітик лісових пожеж" дозволяє прогнозувати поведінку вогню безпосередньо з місця події, надаючи пожежникам ключову інформацію для оперативного прийняття рішень [20].

FireRisk – компонент, який забезпечує щоденні прогнози ризику лісових пожеж, враховуючи погодні умови та вологість палива. Ці дані оновлюються кожні 1–3 години, що дозволяє своєчасно виявляти зони підвищеної небезпеки.

FireSim надає можливості прогнозування поширення активних пожеж у режимі реального часу, а також аналізу сценаріїв "що, якщо". Це сприяє не лише оперативному реагуванню, але й стратегічному плануванню для зменшення впливу пожеж.

FireSight дозволяє оцінити ризики для інфраструктури та потенційні способи їх зменшення шляхом зміцнення об'єктів. Цей підхід забезпечує довгострокове планування для підвищення стійкості до лісових пожеж.

На рис. 18 зображено приклад використання даних із Wildfire Analyst для прогнозування поширення пожежі та поведінки на лінії пожежі. Карта демонструє зони поширення вогню, точки займання, межі пожежі та оцінки ризиків. Ці дані є ключовими для прийняття рішень у польових умовах.

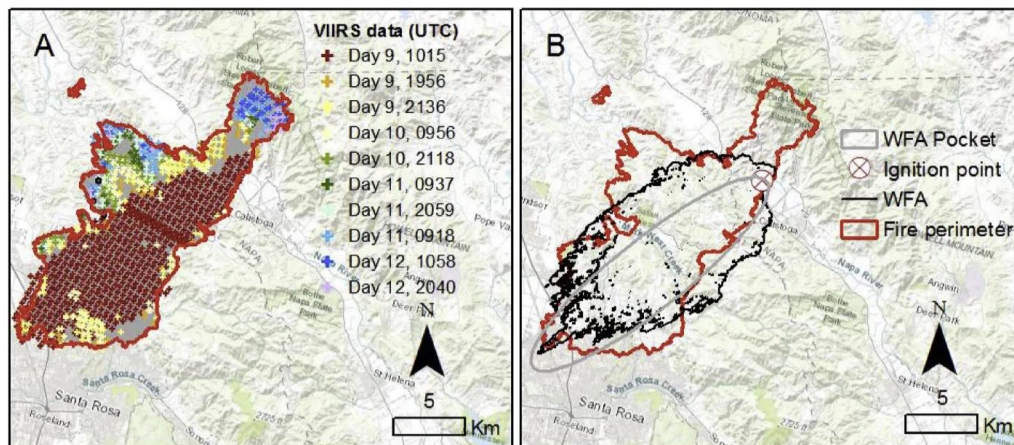


Рис. 18. Прогнозування поширення пожежі та поведінки на лінії пожежі

Інтеграція з реальними даними про погоду, вологість палива та інші фактори робить Wildfire Analyst потужним інструментом для організацій, що займаються управлінням ризиками лісових пожеж. Завдяки використанню штучного інтелекту, система щодня виконує мільйони симуляцій, що сприяє підвищенню точності прогнозів.

Wildfire Analyst стає невід'ємною частиною сучасного управління ризиками пожеж, забезпечуючи ефективне реагування та підтримку прийняття рішень для пожежників, інфраструктурних компаній та інших зацікавлених сторін.

Рано AI – це система, що використовує штучний інтелект для автоматичного виявлення, підтвердження та класифікації лісових пожеж у режимі реального часу. Система складається з мережі Rano Stations, розташованих на високих точках, які

безперервно сканують ландшафт за допомогою 360-градусних ультрависокоякісних камер. Ці станції здатні виявляти ознаки пожежної активності в радіусі до 10 миль [21].

Алгоритми глибокого навчання та комп'ютерного зору, інтегровані в Rapo AI, автоматично аналізують отримані зображення для виявлення потенційних загроз (рис. 19). У разі виявлення можливого займання система надсилає сповіщення професіоналам з моніторингу пожеж, надаючи інтелектуально центровані зображення з покращеним зумом, що прискорює підтвердження події та визначення точного місця пожежі.



Рис. 19. Виявлення штучного інтелекту Rapo

Після підтвердження пожежі Rapo AI допомагає швидко поширювати інформацію серед розширеної команди в режимі реального часу. Вбудовані інструменти для сповіщень та мобільних повідомлень забезпечують першим реагувальникам доступ до актуальних зображень та ключової інформації про місцезнаходження та рух пожежі, що дозволяє реагувати на події з більшою точністю та контролем.

Використання Rapo AI сприяє швидшому виявленню та реагуванню на лісові пожежі, що допомагає зменшити їхній вплив на життя людей, майно та довкілля. Інтеграція сучасних технологій ШІ з високоточними камерами та платформою для управління інформацією підвищує ефективність боротьби з лісовими пожежами.

Система Rapo AI демонструє ефективність використання штучного інтелекту для раннього виявлення та моніторингу лісових пожеж. Поєднання мережі високоточних камер, алгоритмів глибокого навчання та інтегрованої платформи для підтвердження та поширення інформації сприяє швидкому реагуванню на пожежі та мінімізації їхніх наслідків.

OroraTech – це платформа, яка використовує супутникові дані для вирішення проблеми моніторингу та управління лісовими пожежами. Основою системи є інтеграція даних із понад 20 супутникових джерел, включаючи дані NASA, NOAA, ESA та приватних компаній. Ця інформація аналізується алгоритмами ШІ для забезпечення точного та своєчасного виявлення пожеж [22].

Система включає кілька основних компонентів.

Перший компонент, оцінка ризику, передбачає прогнозування можливості виникнення пожеж на основі погодних умов, вологості рослинності та інших екологічних факторів. Цей підхід дозволяє визначити потенційно небезпечні території та вжити превентивних заходів.

Другий компонент, раннє виявлення, реалізується завдяки аналізу супутникових зображень у режимі реального часу. Алгоритми машинного навчання автоматично

виявляють аномалії, пов'язані з можливим займанням. У разі виявлення потенційної загрози система генерує сповіщення для відповідних служб, забезпечуючи швидке реагування.

Третій компонент, моніторинг у реальному часі, дозволяє стежити за розвитком пожежі на основі постійних оновлень. Система забезпечує кілька оновлень на годину, що дозволяє координувати дії рятувальних служб у динамічному середовищі.

Останнім компонентом є аналіз збитків, який допомагає оцінити площу згорілих територій та масштаби пошкоджень. Ці дані використовуються для планування заходів з відновлення лісових екосистем та інфраструктури.

Інтеграція цих компонентів забезпечує ефективну систему управління лісовими пожежами, яка використовується у багатьох регіонах світу. Застосування штучного інтелекту дозволяє значно скоротити час реагування на лісові пожежі, зменшуючи їхній вплив на навколишнє середовище та суспільство.

Система OgoTech застосовує космічні технології у поєднанні з алгоритмами штучного інтелекту для боротьби з лісовими пожежами. Інтеграція супутникових даних та передових методів аналізу дозволяє ефективно прогнозувати, виявляти та моніторити пожежі, а також оцінювати їхні наслідки. Такий підхід сприяє не лише покращенню управління кризовими ситуаціями, але й захисту екосистем та життя людей.

6 ВИСНОВКИ

1. Статистика пожеж та надзвичайних ситуацій свідчить про зростання кількості та масштабності пожеж та надзвичайних ситуацій у світі та в Україні. Основними причинами залишаються порушення техніки безпеки, техногенні фактори та вплив людського фактору. Особливу увагу привертають катастрофи, спричинені ракетними обстрілами, техногенними аваріями та природними пожежами, які мають значні людські та матеріальні втрати. За результатами аналізу наукових джерел виявлено, що ШІ має значний потенціал для поліпшення кожного етапу роботи з пожежами: від прогнозування та раннього виявлення до управління ресурсами та відновлення територій після надзвичайних ситуацій. Інтеграція ШІ дозволяє оперативно обробляти великі обсяги даних, забезпечуючи точність та ефективність аналізу, що є критично важливим для своєчасного реагування на надзвичайні ситуації.

2. Вітчизняні та зарубіжні дослідження підтверджують ефективність застосування технологій штучного інтелекту для моніторингу, аналізу та прогнозування надзвичайних ситуацій. Зокрема, такі технології, як цифрові двійники, алгоритми машинного навчання дозволяють оперативно реагувати на пожежі, покращувати управління рятувальними операціями та мінімізувати ризики для населення та майна.

3. Програмні комплекси штучного інтелекту надають можливості для прогнозування ризиків пожеж, швидкого виявлення займання, оптимізації ресурсів під час гасіння та планування заходів контролю. Також вони забезпечують аналіз наслідків пожеж та сприяють розробці стратегій для запобігання майбутнім загрозам. Їхнє використання охоплює всі етапи роботи з пожежами, від протипожежних заходів до відновлення територій. Інтеграції подібних систем у вітчизняну практику для підвищення рівня пожежної безпеки. Оцінено потенціал інтеграції подібних систем у вітчизняну практику з метою підвищення рівня пожежної безпеки.

7 ЕТИЧНІ ДЕКЛАРАЦІЇ

Автори статті не мають відповідних фінансових чи нефінансових інтересів, які слід розкривати.

Література

1. Кабінет Міністрів України. “Оперативна інформація щодо ліквідації надзвичайної ситуації, пов’язаної з лісовими пожежами на території Луганської області станом на 7:00 6 жовтня”. Урядовий портал. 2024. URL: <https://www.kmu.gov.ua/news/operativna-informaciya-shchodo-likvidaciyi-nadzvichajnoyi-situaciyi-povyazanoyi-z-lisovimi-pozhezhami-na-teritoriyi-luganskoyi-oblasti-stanom-na-700-6-zhovtnya>.
2. Головне управління ДСНС України у Луганській області. “Рятувальники ліквідували наслідки надзвичайної ситуації в Луганській області”. Facebook. 2024. URL: <https://www.facebook.com/lugdSNS/posts/pfbid0RriAPizz7syWT3GWCMIY83jkVZuKgCzudADKZWh5h2HivjK1xzMUq86g9jUPk8Nyl>.
3. California Department of Forestry and Fire Protection (CAL FIRE). “2020 Incidents” // CAL FIRE. 2020. URL: <https://www.fire.ca.gov/incidents/2020/>.
4. Dixie Fire. Вікіпедія. 2024. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Dixie_Fire.
5. Підрив Каховської ГЕС. Вікіпедія. 2024. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%96%D0%B4%D1%80%D0%B8%D0%B2_%D0%9A%D0%B0%D1%85%D0%BE%D0%B2%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%BE%D1%97_%D0%93%D0%95%D0%A1 (дата звернення: 26.11.2024).
6. Лісові пожежі в Австралії. Вікіпедія. 2024. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D1%96%D1%81%D0%BE%D0%B2%D1%96_%D0%BF%D0%BE%D0%B6%D0%B5%D0%B6%D1%96_%D0%B2_%D0%90%D0%B2%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BB%D1%96%D1%97 (дата звернення: 26.11.2024).
7. Huang, X., Wu, X., Usmani, A. (2022). Perspectives of Using Artificial Intelligence in Building Fire Safety. In: Naser, M., Corbett, G. (eds) Handbook of Cognitive and Autonomous Systems for Fire Resilient Infrastructures. Chapter 6, Springer, https://doi.org/10.1007/978-3-030-98685-8_6
8. Parekh R. “Applications of Artificial Intelligence in Enhancing Building Fire Safety” // International Journal of Science and Research Archive. 2024. 13(1) p. 1117–1132. DOI: 10.30574/ijrsra.2024.13.1.1781. URL: <https://doi.org/10.30574/ijrsra.2024.13.1.1781>.
9. Wu X., Huang X., Usmani A. Artificial Intelligence Tool for Fire Safety Design (IFETool): Demonstration in Large Open Spaces, 2022. URL: https://www.researchgate.net/publication/364306800_Artificial_Intelligence_tool_for_fire_safety_design_IFETool_Demonstration_in_large_open_spaces.
10. L. Su, X. Wu, X. Zhang, X. Huang (2021) Smart Performance-Based Design for Building Fire Safety: Prediction of Smoke Motion via AI, Journal of Building Engineering, 102529. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102529>.
11. T. Zhang, Z. Wang, Y. Zeng, X. Wu, X. Huang, F. Xiao (2022) Building Artificial-Intelligence Digital Fire (AID-Fire) System: A Real-scale Demonstration, Journal of Building Engineering, 105363. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.105363>.
12. Chang RH, Peng YT, Choi S, Cai C. 2022. Applying Artificial Intelligence (AI) to improve fire response activities. Emergency Management Science and Technology 2:7 <https://doi.org/10.48130/EMST-2022-0007>.
13. X. Wu, X. Zhang, Y. Jiang, X. Huang, G. Huang, A. Usmani (2021) Intelligent tunnel fire safety monitoring system: Framework and small-scale demonstration, Tunnelling and Underground Space Technology, 104301. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2021.104301>.
14. Sharma A., Zhang T., Dwivedi G. “Façade Fires in High-Rise Buildings: Challenges and Artificial Intelligence Solutions” // Sustainable Structures and Buildings. 2024. 6. p. 77–92. DOI: 10.1007/978-3-031-46688-5_6. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-46688-5_6
15. Qian X. “Evaluation on Sustainable Development of Fire Safety Management Policies in Smart Cities Based on Big Data”// Mathematical Biosciences and Engineering. 2023. 20 (9). p. 17003–17017. DOI: 10.3934/mbe.2023758. URL: <https://doi.org/10.3934/mbe.2023758>.
16. FireAI. Офіційний вебсайт. URL: <https://www.fireai.io/>.
17. Overwatch Project. "Artificial Intelligence in Overwatch Technology" // Офіційний вебсайт Overwatch Project. 2024. URL: <https://overwatchproject.eu/en/technology/artificial-intelligence/> (дата звернення: 05.01.2025).
18. AlertCalifornia. Офіційний вебсайт. URL: <https://alertcalifornia.org/>.

19. Technosylva. "Wildfire Analyst" // Офіційний вебсайт Technosylva. 2024. URL: <https://technosylva.com/products/wildfire-analyst/>.
20. Монеделеро С., Рамірес Х., Карділ А. "Прогнозування поширення пожежі та поведінки на лінії пожежі. Кишеньковий аналітик лісових пожеж: мобільний додаток для прогнозування лісових пожеж" // ScienceDirect. 2018. DOI: 10.1016/j.compgeo.2018.04.002. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304380018304046?via%3Dihub>.
21. Пано АІ. Офіційний вебсайт. URL: <https://www.pano.ai/>.
22. OroraTech. Офіційний вебсайт. URL: <https://ororatech.com/>.

References

1. Kabinet Ministriv Ukrainy. "Operativna informatsiia shchodo likvidatsii nadzvychainoi situatsii, poviazanoi z lisovymu pozhezhamy na terytorii Luhanskoï oblasti stanom na 7:00 6 zhovtnia". Uriadovyi portal. 2024. URL: <https://www.kmu.gov.ua/news/operativna-informaciya-shchodo-likvidatsiyi-nadzvichajnoyi-situatsiyi-povyzanoyi-z-lisovimi-pozhezhami-na-teritoriyi-luganskoyi-oblasti-standom-na-700-6-zhovtnya>.
2. Holovne upravlinnia DSNS Ukrainy u Luhanskii oblasti. "Riatuvalnyky likviduvaly naslidky nadzvychainoi situatsii v Luhanskii oblasti". Facebook. 2024. URL: <https://www.facebook.com/lugdSNS/posts/pfbid0RriAPizz7syWT3GWCMiY83jkVZukgCzudADKZWh5h2HivjK1xzMUq86g9jUPk8Nyl>.
3. California Department of Forestry and Fire Protection (CAL FIRE). "2020 Incidents" // CAL FIRE. 2020. URL: <https://www.fire.ca.gov/incidents/2020/>.
4. Dixie Fire. Vikipediia. 2024. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Dixie_Fire.
5. Pidryv Kakhovskoi HES. Vikipediia. 2024. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%96%D0%B4%D1%80%D0%B8%D0%B2_%D0%9A%D0%B0%D1%85%D0%BE%D0%B2%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%BE%D1%97_%D0%93%D0%95%D0%A1.
6. Lisovi pozhezhi v Avstralii. Vikipediia. 2024. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D1%96%D1%81%D0%BE%D0%B2%D1%96_%D0%BF%D0%BE%D0%B6%D0%B5%D0%B6%D1%96_%D0%B2_%D0%90%D0%B2%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BB%D1%96%D1%97 (дата звернення: 26.11.2024).
7. Huang, X., Wu, X., Usmani, A. (2022). Perspectives of Using Artificial Intelligence in Building Fire Safety. In: Naser, M., Corbett, G. (eds) Handbook of Cognitive and Autonomous Systems for Fire Resilient Infrastructures. Chapter 6, Springer, https://doi.org/10.1007/978-3-030-98685-8_6
8. Parekh R. "Applications of Artificial Intelligence in Enhancing Building Fire Safety" // International Journal of Science and Research Archive. 2024. 13(1) p. 1117–1132. DOI: 10.30574/ijrsra.2024.13.1.1781. URL: <https://doi.org/10.30574/ijrsra.2024.13.1.1781>.
9. Wu X., Huang X., Usmani A. Artificial Intelligence Tool for Fire Safety Design (IFETool): Demonstration in Large Open Spaces, 2022. URL: https://www.researchgate.net/publication/364306800_Artificial_Intelligence_tool_for_fire_safety_design_IFETool_Demonstration_in_large_open_spaces.
10. L. Su, X. Wu, X. Zhang, X. Huang (2021) Smart Performance-Based Design for Building Fire Safety: Prediction of Smoke Motion via AI, Journal of Building Engineering, 102529. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102529>.
11. T. Zhang, Z. Wang, Y. Zeng, X. Wu, X. Huang, F. Xiao (2022) Building Artificial-Intelligence Digital Fire (AID-Fire) System: A Real-scale Demonstration, Journal of Building Engineering, 105363. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.105363>
12. Chang RH, Peng YT, Choi S, Cai C. 2022. Applying Artificial Intelligence (AI) to improve fire response activities. Emergency Management Science and Technology 2:7 <https://doi.org/10.48130/EMST-2022-0007>.
13. X. Wu, X. Zhang, Y. Jiang, X. Huang, G. Huang, A. Usmani (2021) Intelligent tunnel fire safety monitoring system: Framework and small-scale demonstration, Tunnelling and Underground Space Technology, 104301. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2021.104301>.
14. Sharma A., Zhang T., Dwivedi G. "Façade Fires in High-Rise Buildings: Challenges and Artificial Intelligence Solutions" // Sustainable Structures and Buildings. 2024. 6. p. 77–92. DOI: 10.1007/978-3-031-46688-5_6. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-46688-5_6.

15. Qian X. "Evaluation on Sustainable Development of Fire Safety Management Policies in Smart Cities Based on Big Data" // *Mathematical Biosciences and Engineering*. 2023. 20 (9). p. 17003–17017. DOI: 10.3934/mbe.2023758. URL: <https://doi.org/10.3934/mbe.2023758>.
16. FireAI. Офіційний вебсайт. URL: <https://www.fireai.io/>.
17. Overwatch Project. "Artificial Intelligence in Overwatch Technology" // Офіційний вебсайт Overwatch Project. 2024. URL: <https://overwatchproject.eu/en/technology/artificial-intelligence/> (дата звернення: 05.01.2025).
18. AlertCalifornia. Офіційний вебсайт. URL: <https://alertcalifornia.org/>.
19. Technosylva. "Wildfire Analyst" // Офіційний вебсайт Technosylva. 2024. URL: <https://technosylva.com/products/wildfire-analyst/>.
20. Monedero S., Ramires Kh., Kardil A. "Prohnozuvannia poshyrennia pozhezhi ta povedinky na linii pozhezhi. Kyshenkovyi analityk lisovykh pozhezh: mobilnyi dodatok dlia prohnozuvannia lisovykh pozhezh". *ScienceDirect*. 2018. DOI: 10.1016/j.compgeo.2018.04.002. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304380018304046?via%3Dihub>.
21. Pano AI. Офіційний вебсайт. URL: <https://www.pano.ai/>.
22. OroraTech. Офіційний вебсайт. URL: <https://ororatech.com/>.

Даник Юлія Олександрівна

Національний університет цивільного захисту України,
заступник начальника відділу організаційно-аналітичного та документального забезпечення,
вул. Онопрієнка, 8, Черкаси, Україна, 18000
yu.danyk@dsns.gov.ua

ORCID: 0009-0004-2203-0945

Кіріченко Дар'я Олексіївна

Одеська державна академія будівництва та архітектури,
доктор філософії, старший викладач,
вул. Дідріхсона, 4, Одеса, Україна, 65029
dkirichenko@odaba.edu.ua

ORCID: 0000-0002-8484-0925

Для посилань:

Даник Ю. О., Кіріченко Д. О. Застосування систем штучного інтелекту для вирішення проблем пожежної безпеки. *Механіка та математичні методи*, 2025. Т. VII. № 1. с. 152–172

For references:

Yu. Danyk, D. Kirichenko. (2025). Application of artificial intelligence systems to solving fire safety problems. *Mechanics and mathematical methods*. VII (1). 152–172.