

УДК 681.5:004.93:504

О.В. Перишков, студент гр. ПБ-51мп, к.т.н., доц. Безугла Н.В.

КПІ ім. Ігоря Сікорського

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА РАНЬОГО ВИЯВЛЕННЯ ПОЖЕЖ У ЛІСОВИХ МАСИВАХ

Анотація. Лісові пожежі становлять одну з найбільших екологічних проблем сучасності, оскільки їх поширення спричиняє значні втрати рослинності, руйнування лісових екосистем, погіршення якості повітря та збільшення викидів парникових газів. Одним із ключових чинників успішної боротьби з лісовими пожежами є їх раннє виявлення. У запропонованій роботі розглядається інтелектуальна система раннього виявлення пожеж, що поєднує сенсорні мережі, безпілотні літальні апарати та методи комп'ютерного зору.

Ключові слова: лісові пожежі, безпілотні літальні апарати, сенсорні системи, комп'ютерний зір, цифровий двійник.

ВСТУП

Лісові пожежі є складним природним явищем, інтенсивність і частота якого зростає в умовах зміни клімату. За даними міжнародних джерел, протягом останнього десятиліття спостерігається суттєвий ріст частоти великих і неконтрольованих пожеж на всіх континентах із рослинністю [1]. Це пов'язано як із природними чинниками, такими як тривалі періоди засухи та підвищення середньої температури, так і з неконтрольованими підпалами, недотриманням протипожежних норм та господарською діяльністю.

Традиційні системи виявлення пожеж опираються на патрулювання територій або використання стаціонарних постів спостереження, однак ці підходи є низькоєфективними на великих площах [2]. Наземні сенсорні системи, забезпечують більш оперативний локальний контроль. Такі системи найчастіше працюють у рамках мереж бездротових сенсорів, що дає змогу отримувати дані у режимі реального часу. Однак їх зона покриття є обмеженою, оскільки один сенсор здатен контролювати радіус не більше 30–50 м, що потребує встановлення великої кількості вузлів для ефективного покриття великих площ. Крім того, сенсори часто реагують на природні температурні зміни, сонячне нагрівання, біологічні процеси або технічні фактори, що призводить до хибних спрацювань. Проблеми також виникають зі стабільним зв'язком у лісових умовах, де густота дерев перешкоджає передачі сигналу. Системи з використання дронів дають змогу отримувати зображення з низької висоти, облітати зони загоряння, уникати перешкод рельєфу та отримувати теплові дані за допомогою інфрачервоних камер. Однак безпілотні літальні апарати зазвичай використовуються у ручному режимі, а їх автономні можливості обмежуються батареєю та необхідністю стабільного каналу зв'язку. Крім того, більшість дронів не передбачають автоматичної реакції на сенсорні сповіщення і не інтегровані у загальну систему моніторингу.

Супутниковий моніторинг дозволяє відстежувати ситуацію у глобальних масштабах, але має значний часовий інтервал оновлення даних (від 15 хвилин до кількох годин [3]), що ускладнює оперативне реагування на осередки займання на ранніх етапах. Порівняння різних систем для виявлення лісових пожеж наведено на рис. 1 [4].

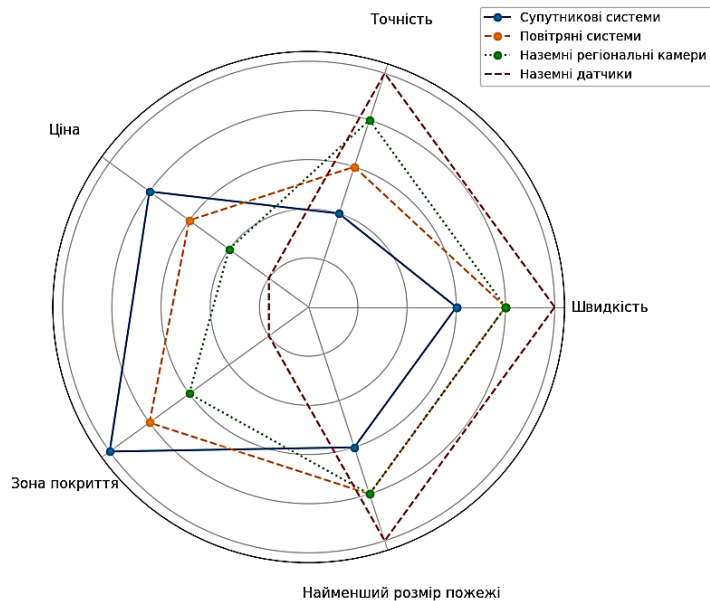


Рис 1. Порівняння різних систем для виявлення лісових пожеж

Таким чином, існує потреба у створенні адаптивних систем моніторингу лісів, здатних виявляти загоряння у реальному часі, підтверджувати їх локально та передавати інформацію службам оперативного реагування з мінімальною затримкою.

МЕТА РОБОТИ

Метою даної роботи є розробка автоматизованої системи для підвищення швидкості виявлення лісових пожеж, що базується на взаємодії сенсорних вузлів і безпілотних літальних апаратів із застосуванням алгоритмів комп'ютерного зору.

МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

На основі проведеного аналізу запропоновано реалізувати трирівневу інтегровану систему раннього виявлення пожеж, що об'єднує сенсорну мережу, повітряні та серверні модулі комп'ютерного зору. Такий підхід забезпечить багаторівневу перевірку отриманих даних: від початкової реєстрації аномалій сенсорами до візуального підтвердження за допомогою дрону та аналітичної обробки на центральному сервері. Запропонована архітектура дозволить значно зменшити кількість хибних спрацювань, підвищити достовірність визначення локалізації загоряння та забезпечити оперативну передачу критичної інформації службам реагування. Структурна схема запропонованої трирівневої автоматизованої системи приведена на рис. 2.

Основу системи (нижній рівень) становлять автономні сенсорні вузли, розміщені безпосередньо у лісовій місцевості. Як обчислювальний модуль може бути використаний мікроконтролер ESP32, що має вбудовані модулі бездротового зв'язку та підтримує енергоощадні режими роботи. Це забезпечить тривалу автономність сенсорного пункту та дозволить здійснювати регулярний моніторинг умов середовища без необхідності частого обслуговування [5]. До

складу сенсорного вузла входять датчики температури, а також газових домішок та диму (типу MQ-135), які чутливі до продуктів горіння. Комунікація між сенсорами та центральним сервером здійснюється через енергоефективний радіоканал LoRa, що забезпечує передачу даних на значні відстані при мінімальному енергоспоживанні та низькому обсязі трафіку [6].



Рис. 2 Структурна схема автоматизованої системи раннього виявлення пожеж у лісових масивах

На верхньому рівні системи знаходиться повітряна платформа у вигляді квадрокоптера з можливістю програмного керування. Дрон використовується не для постійного патрулювання, а лише у випадках, коли сенсорний модуль фіксує відхилення параметрів середовища від норми. Безпілотник оснащений двома типами камер: RGB для візуальної оцінки ситуації та інфрачервоною камерою для аналізу теплових аномалій. Комбінація цих каналів дозволяє визначати наявність диму, полум'я та підвищеної температури навіть у складних умовах, наприклад при низькій видимості або частковому перекритті огляду рослинністю [7].

Дані з верхнього та нижнього рівня передаються на сервер та аналізуються відповідними програмами. Для аналізу RGB-зображень можуть застосовуватись нейромережеві архітектури типу YOLO, що забезпечують високу точність та швидкість детекції. Обробка інфрачервоних кадрів повинна здійснюватися з використанням методів сегментації теплових областей, що дозволить швидко визначати потенційні осередки пожежі. Об'єднання даних з двох сенсорних

каналів (RGB та ІЧ) дає можливість значно зменшити кількість хибних спрацювань, характерних для традиційних систем. Далі модуль цифрового двійника інтегрує отримані сенсорні та візуальні дані у просторову модель лісової ділянки. Цифровий двійник дозволяє оператору візуалізувати поточний стан території, аналізувати розвиток пожежі в реальному часі та прогнозувати подальше поширення вогню на основі рельєфу, вітру та інших екологічних параметрів. Таким чином система забезпечує не лише виявлення, а й підтримку прийняття рішень при ліквідації пожеж.

ВИСНОВКИ

Розроблена система поєднує переваги сенсорних мереж та мобільних безпілотних літальних апаратів. Це дає можливість забезпечити високу точність визначення місця загоряння та оперативність реагування. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на оптимізацію алгоритмів комп'ютерного зору та розробку автономних маршрутів польоту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Science Media Centre Spain. “Extreme fires have doubled in the last 20 years” — SMC Spain, 2024 [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://sciencemediacentre.es/en/extreme-fires-have-doubled-last-20-years>
- [2] A Review on Early Forest Fire Detection using IoT-enabled WSN — Sairi A., Kout A., Labed S., 2023 [Електронний ресурс] — Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/370234160_A_review_on_early_forestfire_detection_using_IoT-enabled_WSN
- [3] NASA FIRMS — Fire Information for Resource Management System [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/>
- [4] A Review of Technologies for the Early Detection of Wildfires — ScienceDirect, 2023. [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://asmedigitalcollection.asme.org/openengineering/article/doi/10.1115/1.4067645/1212421/A-Review-of-Technologies-for-the-Early-Detection>
- [5] Early Wildfire Detection Technologies in Practice — A Review — MDPI, 2022. [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/19/12270>
- [6] Forest fire detection system using wireless sensor networks and deep learning — Scientific Reports, 2021. [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://www.nature.com/articles/s41598-021-03882-9>
- [7] A UAV-Based Multi-Scenario RGB-Thermal Dataset and Framework for Wildfire Detection — MDPI, 2025. [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://www.mdpi.com/2072-4292/17/15/2593>

Наук. керівник — к.т.н., доц. Безугла Н.В.