

Міністерство освіти і науки України
Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем

ГУПАЛОВСЬКИЙ Ярослав-Микола Орестович

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ
ЛІСОВИХ ГОСПОДАРСТВ/ AUTOMATED SYSTEM OF ECOLOGICAL
MONITORING OF FORESTRIES

спеціальність: 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
магістерська програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології

Магістерська робота

Виконав студент групи АКІТм-
21
Я-М.О. Гупаловський

Науковий керівник:
к.т.н., О.М. Заставний

Магістерську роботу допущено до захисту:
"___" _____ 20__ р.

Завідувач кафедри
_____ А.І. Сегін

Тернопіль 2022

Західноукраїнський національний університет

Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем
Освітній ступінь "магістр"

спеціальність: 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри СКС

_____ А.І.Сегін
" ____ " _____ 20__ р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ
ГУПАЛОВСЬКИЙ Ярослав-Микола Орестович

(прізвище, ім'я по-батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи

Автоматизована система екологічного моніторингу лісових господарств/
Automated system of ecological monitoring of forestries.

Керівник роботи: _____ к.т.н., ст. викл. О.М. Заставний

Затверджені наказом по університету від 31 грудня 2021 р. № 606

2. Строк подання студентом закінченої кваліфікаційної роботи

9 грудня 2022р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:

1. Механізми функціонування моніторингу лісових господарств.
2. Структура системи екологічного моніторингу.
3. Процеси збору й обробки інформації в автоматизованих системах.
4. Технічні засоби автоматизації контролю лісових пожеж.
5. Технології розпізнавання образів у відеопотоках.

4. Основні питання, які потрібно розробити

1. Дослідження автоматизованих систем екологічного моніторингу.
2. Проектування автоматизованої системи моніторингу лісових пожеж.
3. Забезпечення ефективних алгоритмів розпізнавання образів для виявлення загорань на ранніх стадіях лісових пожеж.

5. Перелік графічного матеріалу у роботі

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 26 жовтня 2021р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назви етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Дослідження автоматизованих систем екологічного моніторингу лісових господарств	12.2021р. – 02.2022р.	
2	Обґрунтування вибору елементної бази для реалізації автоматизованої системи моніторингу лісових господарств	03.2022р. – 06.2022р.	
3	Підвищення ефективності та функціональних можливостей компонентів автоматизованої системи екологічного моніторингу	07.2022р. – 11.2022р.	

Студент _____ Я-М.О. Гупаловський
(підпис)

Керівник роботи _____ к.т.н., ст.викл. О.М. Заставний
(підпис)

РЕФЕРАТ

Робота виконана на -- сторінках та містить 33 рисунків, 1 таблицю, 1 додаток, 34 джерела за переліком посилань.

Мета кваліфікаційної роботи. Дослідження шляхів оптимізації автоматизованого виявлення лісових пожеж на ранніх етапах загорань.

Результати роботи. Реалізовано автоматизовану систему моніторингу, що забезпечує виявлення лісових пожеж на ранніх стадіях загорань, обробку відео даних та надання інформації щодо виявлених осередків загорань на диспетчерські пункти контролю, оскільки передбачена дистанційна передача відео та фото даних за допомогою GPRS та мобільного інтернету. Реалізовано принципи оптичного методу автоматизованого детектування лісових пожеж та метод визначення і локалізації початкових загорань в умовах погіршеної освітленості по візуальних даних.

Рекомендації по використанню результатів роботи. Запропонована система екологічного моніторингу лісових господарств забезпечує максимальну автоматизацію процесу виявлення осередків загорань на ранніх стадіях, збору та обробки відео і фото даних для здійснення візуального аналізу, локалізації пожеж, що в свою чергу дає оперативну інформації для служб МНС щоб оперативно реагувати і приймати міри по швидкому знешкодженню лісових пожеж.

Ключові слова: АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА, ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ, ЛІСОВІ ПОЖЕЖІ, ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ, ОБРОБКА ЗОБРАЖЕНЬ.

ABSTRACT

Work is executed on -- pages and including 33 illustrations, 1 tables, 1 additions, 34 sources after the list of references.

The purpose of the qualification work. Research on ways to optimize the automated detection of forest fires in the early stages of fires.

Research results. An automated monitoring system has been implemented, which ensures the detection of forest fires in the early stages of fires, the processing of video data and the provision of information about detected fire centers to control stations, as remote transmission of video and photo data using GPRS and mobile Internet is provided. The principles of the optical method of automated detection of forest fires and the method of determining and localizing initial fires in conditions of poor lighting based on visual data have been implemented.

Recommendations for the use of work results: The proposed system of ecological monitoring of forestry provides maximum automation of the process of detecting fire outbreaks in the early stages, collecting and processing video and photo data for visual analysis, localization of fires, which in turn provides operational information for the Ministry of Emergency Situations to respond quickly and take measures disposal of forest fires.

Keywords: AUTOMATED SYSTEM, ENVIRONMENTAL MONITORING, FOREST FIRES, ARTIFICIAL INTELLIGENCE, IMAGE PROCESSING.

Зміст

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ -----	7
ВСТУП -----	8
1. ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ЛІСОВИХ ГОСПОДАРСТВ -----	11
1.1 Екологічний моніторинг лісових екосистем, як комплексний підхід до збору даних про навколишнє середовище -----	11
1.2 Аналіз інформаційних систем екологічного моніторингу лісових господарств -----	16
1.3 Напрямки розвитку та автоматизації моніторингу виявлення ландшафтних пожеж -----	27
2. ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЛІСОВИХ ГОСПОДАРСТВ ---- -----	34
2.1 Представлення функціональних можливостей і завдань автоматизованої системи моніторингу лісових пожеж -----	34
2.2 Обґрунтування вибору способу моніторингу лісових пожеж та компонентів автоматизованої системи -----	40
2.2.1 Архітектура автоматизованої системи моніторингу лісових пожеж -----	44
2.2.2 Обґрунтування вибору основних компонентів автоматизованої системи моніторингу -----	47
2.3 Перспективи використання штучного інтелекту при обробці зображень автоматизованої системи моніторингу лісових пожеж ---	52
3. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ КОМПОНЕНТІВ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ -----	56
3.1 Принципи оптичного методу автоматизованого детектування лісових пожеж -----	56
3.2 Реалізація методу визначення та локалізації початкових загорань в умовах погіршеної освітленості по візуальних даних ----	62
ВИСНОВКИ -----	74
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ -----	76
ДОДАТОК А Апробація -----	80

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ОС – операційні системи

ППП – постійні пробні площі

ППО – постійні пункти обліку

ГІС – геоінформаційна система

ІСМЛГ - інформаційні системи моніторингу лісових господарств

ПЗ – програмне забезпечення

УВС - установки відеоспостереження

ПК - персональний комп'ютер

ППР - проектно-пошукові роботи

ПНО - потенційно небезпечні об'єкти

ЛА - літальний апарат

ІЧК – інфрачервона камера

POS - Point Of Sale (точка продажу)

ОП – операційний пристрій

АРМ – автоматизоване робоче місце

ВСТУП

Актуальність теми. Лісові пожежі – одна з найбільш серйозних проблем, пов'язаних із безпекою життєдіяльності людини та навколишнього середовища, та одна з найбільш не вирішених задач на сьогодні. Лісові пожежі завдають величезної шкоди екології та економіці багатьох країн.

У комплексі заходів щодо запобігання лісовим пожежам найбільш актуальним завданням є раннє виявлення та визначення розташування вогнища займання. Для цього традиційно використовуються наземне спостереження, авіація та космічний моніторинг. Кожен із використовуваних методів має свої переваги та недоліки, але тільки наземний моніторинг може забезпечити безперервний контроль лісової території та виявлення лісових пожеж на ранній стадії.

Ще в минулому столітті у всіх країнах з великими лісовими територіями існувала система наземного моніторингу, суть якої полягала в облаштуванні спеціалізованих висотних споруд, на яких знаходилася людина та візуально контролювала стан лісових масивів. Такий спосіб дозволяв одній людині здійснювати моніторинг великої території (близько 30 км навколо місця встановлення вежі залежно від її висоти, рельєфу місцевості та погодних умов), на ранній стадії виявляти загоряння та при можливості виявлення з кількох точок визначати його координати методом тріангуляції.

Цей спосіб активно використовувався у країнах де є великі лісові господарства - Канади, південна Америка та країн Європи. За всіх своїх переваг даний метод має ряд істотних недоліків, що обмежують можливість його застосування. Основним з них є необхідність постійного використання людської праці в кожній точці розташування вежі протягом усього пожежонебезпечного сезону (для забезпечення оперативності) та обмеження території моніторингу кількістю встановлених вишок.

У багатьох країнах світу, де гостро стоїть проблема боротьби з лісовими пожежами, використовуються системи відеомоніторингу, а також автоматизовані системи протипожежного моніторингу на основі

використання відеокамер. Робота оператора такої системи полягає у безперервному візуальному аналізі стану лісових масивів, що призводить до швидкої втоми та зниження ефективності виявлення. Тому загальна тенденція у розвитку таких систем полягає у підвищенні ступеня автоматизації та передачі більшої частини функцій оператора комп'ютерній програмі. Отримані камерами зображення передаються каналами зв'язку в диспетчерський пункт, де піддаються комп'ютерній обробці та аналізу. При виявленні комп'ютерною програмою ознак пожежі подається сигнал тривоги, який спонукає оператора до аналізу підозрілої області, що відображається на екрані, з використанням ручного управління камерою (зміна напрямку оптичної осі камери, поворот, зміна масштабу), після цього оператор приймає остаточне рішення про наявність чи відсутність загоряння. Збільшення площі, що покривається сукупністю камер, вимагає збільшення їх кількості, що призводить до зниження ефективності системи, так як оператору доводиться контролювати більше камер, в результаті чого різко зростає його стомлюваність. Звідси виникає необхідність створення автоматизованих процедур обробки зображень з метою виявлення на них ознак пожежі, розпізнавання вогнища загоряння та визначення його географічних координат для виклику пожежної бригади. Автоматизація збільшує загальну ефективність системи, забезпечує точність та своєчасність виявлення, обмежені впливом людського фактора.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є дослідження методів та засобів моніторингу і обробки зображень та проектування автоматизованої системи екологічного моніторингу лісових господарств.

Для досягнення поставленої мети роботи необхідно:

- проаналізувати відомі методи та способи виявлення та локалізації лісових пожеж;
- дослідити існуючі системи екологічного моніторингу лісових господарств;
- проаналізувати елементну базу та структури систем моніторингу, апаратне та програмне забезпечення;

- розробити структуру автоматизованої системи екологічного моніторингу лісових пожеж на ранніх стадіях загорання;
- обґрунтувати вибір елементної бази запропонованої автоматизованої системи;
- реалізувати принцип оптичного методу автоматизованого детектування лісових пожеж;
- представити метод визначення та локалізації початкових загорань в умовах погіршеної освітленості по візуальних даних.

Об'єкт дослідження: процеси моніторингу та контролю за допомогою відеокамер зображення на предмет виникнення зон, які класифікуються як пожежа або загорання.

Предметом дослідження є автоматизована система екологічного моніторингу лісових пожеж та виявлення ранніх осередків загорання.

Наукова новизна одержаних результатів: реалізований принцип оптичного методу автоматизованого детектування лісових пожеж, що забезпечує ефективне виявлення ранніх осередків загорань і дозволяє ефективніше організувати роботу по гасінні лісової пожежі, це в свою чергу доводить ефективність програмно-апаратних засобів автоматизованої системи екологічного моніторингу лісових господарств.

Практичне значення отриманих результатів: гнучкість, простота та технічна можливість масштабування місць (точок) відео-моніторингу запропонованої автоматизованої системи, яка дозволяє контролювати більшу площу лісових господарств.

Апробація. На основі досліджень підготовлено та опубліковано 2 тези доповідей на наукових конференціях (додаток А).

1. ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ЛІСОВИХ ГОСПОДАРСТВ

1.1 Екологічний моніторинг лісових екосистем, як комплексний підхід до збору даних про навколишнє середовище

Лісові екосистеми – це найскладніші наземні екосистеми, що володіють ландшафтно-географічною мінливістю, нестабільністю стану та тривалістю життя деревостанів.

У зв'язку з цією найважливішою методичною вимогою моніторингу лісів є його комплексність, яка передбачає спостереження за різними елементами операційних систем (ОС), а також зонально-типологічний підхід, одночасне спостереження на глобальному, регіональному та фоновому рівнях, використання біологічних, фізіологічних, хімічних та інших методів.

Система моніторингу лісів працює за єдиною методикою, основою на автоматизованій системі управління, має розвинуту вертикальну та горизонтальну структуру мережі спостереження.

Вертикальна структура будується за функціональною ознакою та включає систему збору інформації, бібліотеку програм, банк даних, аналіз та передачу інформації, контроль та управління системою моніторингу лісу.

Горизонтальна структура будується за територіальною ознакою і є мережею спостережень в районі, що вивчається, і на контроль з етапним станом лісових екосистем. Для всіх рівнів моніторингу (локального, регіонального, глобального) обов'язкова вимога репрезентативності обраних екосистем вивчення.

Методи моніторингу лісів можуть бути наземними та дистанційними. При наземному моніторингу закладаються постійні пробні площі (ППП) та постійні пункти обліку (ППО). Особливо ефективно використано засобів космічного базування. При оцінці стану лісів широко використовуються

аерофотозйомка у видимій та інфрачервоні зони спектру, а також методи лазерного зондування [1].

В останнє десятиліття в таких найбільш промислових країнах та регіонах, як США, Канада, країни Західної та Центральної Європи спостерігається суттєве скорочення лісових площ. За оцінкою експертів Європейської економічної комісії ООН, лише у Європі деградація лісів охоплює понад 12 млн. га. Причиною пошкодження лісів є цілий комплекс факторів, серед яких першорядне значення має забруднення повітря промисловими викидами та транспортом.

Першою деревною рослиною, у якої ще на початку 70-х років минулого століття стали спостерігатися типові ознаки пошкодження (пожовтіння та опадання хвої) стала ялиця біла (*Abies alba*). У результаті відбувається зріджування крони дерева знизу і до вершини, а також від її центру до периферії, що пов'язано в першу чергу з віком хвої. Чим старша хвоя, тим гірше вона переносить вплив промислових емісій і раніше пошкоджується ними.

При цьому зростання центральних пагонів неодмінно відстає від темпів розростання крони, що у молодих деревних рослин може призвести до утворення так званої крони у вигляді «жердинного гнізда». Відбувається різке збільшення кількості мертвих сучків. Крім цього, можуть з'являтися «водяні пагони», а в нижній частині стовбура утворюються патологічні набряклі водянисті нарости. Таке захворювання супроводжується пошкодженням кореневих систем деревних рослин.

У зв'язку з тим, що проблема відмирання вершин ялиці білої була відома ще з початку XIX століття, було ясно, що це зовсім інше явище, характеризується великою поширеністю і тривалістю. Не викликало також сумніву те, що пошкоджуваність ялиці білої значною мірою пов'язана з тривалістю життя її хвої, вік якої сягає 5-6 років. Це призводить до накопичення шкідливих речовин та її ушкодження. Другою деревною породою, у якої також хвоя продукує органічні речовини багато років, є ялина європейська (*Picea abies*). Тому біля ялинки вже з кінця 80-х років

стали спостерігатися аналогічні із зазначеними вище ознаки пошкоджень. Майже одночасні симптоми деградації почали з'являтися у соснових лісах. Листяні породи виявилися більш стійкими проти забруднення навколишнього середовища. Проте за значних викидів можна спостерігати пошкодження у бука європейського, клена білого, ясеня звичайного, інколи і в дуба.

Примітно, що епіцентр ушкодження лісів промисловими викидами знаходиться в центральному лісовому масиві Європи, а на периферії, наприклад у країнах Скандинавського півострова, деградація лісів значно ослаблена, швидше за все це пов'язано з інтенсивністю забруднення атмосферного повітря, що на узбережжі Атлантичного океану, звичайно ж, меншою мірою насичений шкідливими емісіями, оскільки швидше оновлюється за рахунок чистих потоків, що сформувалися над морем [1, 2].

Часто ліси ушкоджуються комахами та грибними хворобами, однак першопричиною цих факторів не є, так як і в цьому у разі захворювання насаджень відбувається лише після того, як деревні рослини зазнали впливу забрудненого повітря. Не є першопричиною деградації лісових екосистем та вплив низьких температур, так як пошкодження можна спостерігати і у районах із теплим кліматом.

Не залежить інтенсивність пошкодження деревних рослин і від родючості ґрунту. Усихання їх можна спостерігати у різних лісо-рослинних умовах. Тому сучасне знання про природу деградації лісових екосистем дозволяє зробити висновок, що саме фітотоксичне забруднення повітря, що виникає в процесі промислової дії людини, і є першопричиною пошкодження лісів. При цьому ліси можуть пошкоджуватися на значній відстані від джерел викидів.

Забруднення природного середовища в Україні негативно впливає на стан лісів та виконання ними різноманітних процесів, що виникають в таких середовищах тому більшої актуальності набувають питання оперативної оцінки негативних наслідків техногенезу за допомогою моніторингу лісів.

Головною метою моніторингу лісів є періодичний збір інформації (спостереження) про ступінь та інтенсивність пошкодження лісів абіотичними та біотичними факторами (виявлення) для відповідних прогнозів, прийняття рішень та розробка заходів щодо підвищення життєздатності лісів та раціонального використання лісових ресурсів.

Головним завданням моніторингу лісів є дослідження техногенних впливів на лісові екосистеми, виявлення обсягів пошкодження лісів, вивчення причин та взаємозв'язків, що викликають погіршення стану лісових насаджень. У задачі моніторингу лісів входить також оцінка впливу пожеж, рекреації, ентомо-шкідників, а також недоліків у лісогосподарській та лісопромисловій діяльності.

Залежно від цілей та розв'язуваних завдань моніторинг лісів здійснюється за такими напрямками:

- моніторинг стану лісів - загального стану лісу, у тому числі під впливом забруднення атмосферного повітря;
- лісопатологічний моніторинг - стан лісів під впливом шкідливих комах та хвороб;
- еколого-меліоративний моніторинг меліорованих лісових земель – стан лісів під впливом меліоративних робіт;
- моніторинг лісових надмірно зволжених земель – стан та динаміка лісових екосистем на надмірно зволжених землях.

Система моніторингу лісів в Україні організовується на трьох рівнях:

- 1-й рівень реалізується по всій території країни в національних мережах моніторингу, що складаються із значної кількості постійних пунктів обліку, при мінімальних кількостях найбільш інформативних, простих та дешевих у визначенні параметрів;
- 2-й рівень реалізується на обмеженій кількості об'єктів при мінімально глибокому та детальному вивченні динаміки вирощувальних співтовариств в умовах антропогенного впливу різного характеру;

- 3-й рівень реалізується по всій території країни, з урахуванням дистанційної агностики з використанням ГІС-технологій та математичного прогнозного моделювання.

Цей рівень призначений для оперативної оцінки стану природних екосистем, виявлення та визначення масштабів та ступеня розвитку пожеж, осередків пошкодження лісів шкідниками та хворобами, виявлення зон підвищеної пожежної небезпеки та деградація рослинного покриву. Всі рівні розвиваються одночасно в єдиному комплексі і на єдиній інформаційній основі.

Сутність впливу домішок речовин, що забруднюють повітря, що містяться в атмосфері, явище біологічне, що стосується насамперед метаболічні та фізіологічні процеси та руйнує ультрамікроскопічні структури клітин листків. По мірі руйнування внутрішньоклітинних структур починають виявлятися зовнішні, що візуально спостерігаються ушкодження і відхилення від норми у асиміляційних органів та інших частин рослин.

Дія забруднюючих речовин на рослину залежить від: 1) виду забруднювачів; 2) їх концентрації; 3) тривалості дії; 4) відносної сприйнятливості видів рослин і 5) стадії фізіологічного розвитку, в якій знаходиться рослина в момент дії шкідливих речовин. Найбільш суттєвими факторами є концентрація шкідливих речовин та тривалість їх впливу [3].

Проникають забруднюючі речовини в рослини через асиміляційний апарат і коріння або безпосередньо осідають на різних їх частинах. Поглинання газоподібних забруднень відбувається в основному через продихи (так само як при асиміляції CO₂). Невелика кількість газоподібних забруднень може проникати в листок через епідерму; фторовмісні речовини, поряд з накопиченням в листках, у великих кількостях можуть поглинатися корою дерев і накопичуватися там.

Фітотоксична дія забруднювачів: 1) знижується у періоди обмеженої фізіологічної активності дерев, наприклад, вночі а у хвойних дерев – взимку, при викликаному змиканні продихів, або 2) посилюється за високої відносної

вологості повітря або тумані, внаслідок розширення продохів та з інших причин.

Окремі види фітотоксичних елементів, наприклад, цинк, попадаючи з пилу, що осаджується в ґрунт, поглинаються корінням і вливаються в зеленій масі, у той час як свинець здебільшого в коріння. З'єднання фтору переміщуються з ґрунту в наземні частини рослин. Підвищені показники хлору виявлені у всіх пошкоджених частинах рослин. Поглинаються різними частинами рослин, що забруднюють речовинами, що накопичуються в основному в листі (особливо при хронічних отруєннях), але переміщуються і в інші частини рослин (на край або вершину листової пластинки, а при дії HF і в плоди). Потім вони поступово змиваються або входять до тимчасового обміну речовин.

Внаслідок дії забруднюючих речовин відбуваються біохімічні зміни у рослинах – порушується: 1) амінокислотний склад білкових речовин листя; 2) вміст крохмалю в хвої; 3) ферментна та метаболічна активність; 4) змінюються хлоропласти; 5) палісадна та стовпчаста тканини рослин; 6) зменшується водоутримуюча сила біоколоїдів; 7) знижується стійкість проти посухи, низьких температур та інших несприятливих факторів; 8) знижується транспірація (удвічі).

1.2 Аналіз інформаційних систем екологічного моніторингу лісових господарств

Інформаційні системи моніторингу лісових господарств (ІСМЛГ) - це програмно-апаратний комплекс для моніторингу лісу та раннього виявлення лісових пожеж. Ця система допомагає значно знизити збитки під час пожежонебезпечного сезону. Камери, встановлені на телекомунікаційних об'єктах, виявляють дим у реальному часі. Система автоматично визначає координати та передає дані до центру контролю. Таким чином, пожежу можна запобігти ще на стадії загоряння [1-4].

Система моніторингу лісових господарств складається з двох частин: апаратної та програмної. Апаратна частина – це мережа керованих сенсорів спостереження (відеокамер, тепловізійних сенсорів, інфрачервоних камер). Програмна частина – це спеціальне програмне забезпечення (ПЗ), за допомогою якого замовник здійснює моніторинг лісів у режимі реального часу та визначає координати загорянь. Останнє передбачає, що система може виявляти вогонь на передпожежній стадії - стадії загоряння, що практично дозволяє попереджати надзвичайні ситуації.

Для функціонування системи використовується вже існуюча інфраструктура мобільних операторів (стілникові вежі, апаратура зв'язку та обслуговуючі команди). Так як система легко масштабується і розширюється, вона придатна для виявлення лісових пожеж як у невеликих територіях, і великих площах. На рисунку 1.1 представлена архітектура система моніторингу лісового господарства.

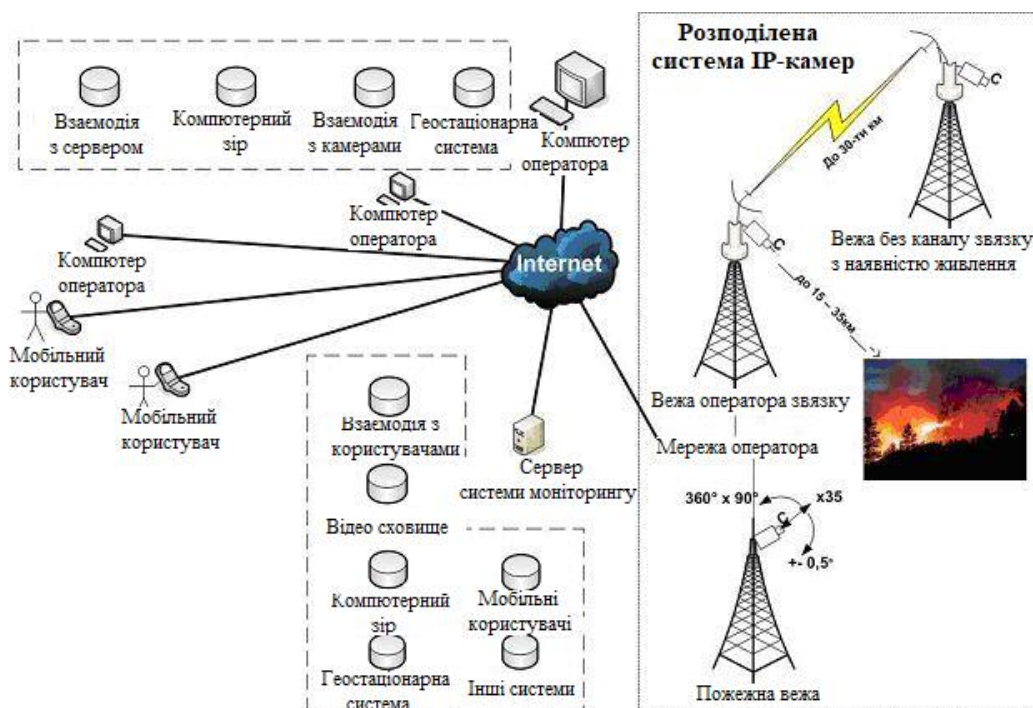


Рисунок 1.1 - Інформаційна система моніторингу лісового господарства

Програмно апаратне рішення дозволяє автоматизувати процес виявлення потенційно небезпечних подій та скоротити час реагування служб МНС, що забезпечує зниження втрат під час пожеж. Функціонально система може виявляти пожежу від «вогнища» на відстані до 10 км, і виявити пожежу

площею понад 10 га, на відстані до 40 км. Точність визначення спрямувана на об'єкт: 0,5 градуса. Точність місцезнаходження вогнища займання: +/- 250 м. Час, необхідний на огляд однієї точки моніторингу: ~ 10 хвилин.

Характеристики системи моніторингу представлені на рисунку 1.1 є наступними:

- помилка визначення координат осередку займання – до 250 метрів;
- радіус огляду однієї точки моніторингу – до 30 км;
- точність визначення напрямку на осередок займання – 0.5°;
- час для огляду однієї точки – 10 хвилин (залежить від продуктивності сервера замовника);
- інтеграція та облік метеорологічних даних;
- інтеграція та облік супутникових даних;
- інтеграція даних із сторонніх інформаційних систем;
- можливість оперативного масштабування та розширення системи для збільшення площі моніторингу;
- необмежена кількість користувачів з доступом до системи;
- оперативне отримання інформації на мобільних пристроях;
- автоматичне виявлення потенційно небезпечних об'єктів: диму та полум'я.

Інформаційна система працює на основі сучасних технологій:

- комп'ютерного зору;
- IP відеоспостереження;
- бездротовий широкосмуговий зв'язок;
- геоінформаційних систем (ГІС);
- клієнт-серверних Internet-додатків.

Загальна структура інформаційної системи моніторингу (рисунок 1.2) включає ряд комплексів обробки, передачі та зберігання інформації, що дозволяє аналізувати та приймати рішення про реальний стан, ситуацію на територіях тих чи інших лісових господарств. При виникненні нештатних ситуацій в лісовому господарстві (пожеж, паводків) автоматизована система дає можливість своєчасно проінформувати служби МНС та населення, що

проживає поблизу про загрозу яка виникла в тому чи іншому квадраті. Та оперативно протидіяти загрозам, що виникли.

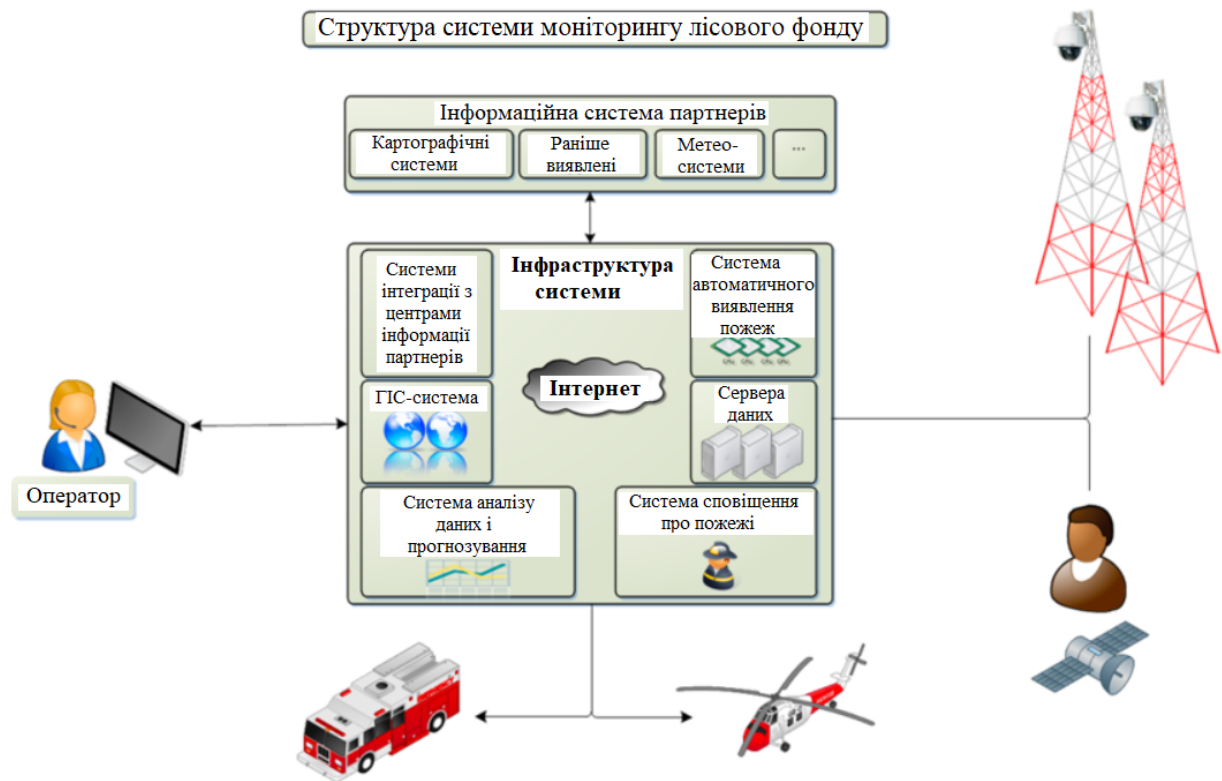


Рисунок 1.2 – Загальна структура автоматизованої інформаційної системи моніторингу лісових господарств

Система розподіленого відео моніторингу, що представлена на рисунку 1.2 складається з наступних елементів:

- розподілена система відеокамер;
- канали зв'язку, що з'єднують відеокамери з мережею інтернет;
- сервер системи моніторингу підключений до мережі інтернет;
- програмне забезпечення сервера системи моніторингу лісових господарств;
- устаткування автоматизованого робочого місця оператора;
- програмне забезпечення представленої системи моніторингу автоматизованого робочого місця.

Основними перевагами автоматизованих систем відео моніторингу є:

- оперативність виявлення займання (пожеж);
- визначення точних координат займання;

- автоматичний контроль із мінімумом диспетчерських служб;
- охоплення великої території з мінімальною кількістю пунктів спостереження;
- централізовану обробку інформаційних даних;
- цілодобовий та круглорічний режим роботи.

Основними можливостями системи є автоматизація моніторингу та режимів роботи комплексу апаратних та програмних засобів, що дозволяють оптимізувати роботу в цілому та зменшити час між виявленням загрози до її усунення (рисунок 1.3). Камери керуються програмою, користувач лише спостерігає, і підключається до ручного керування з появою сигналу тривоги.

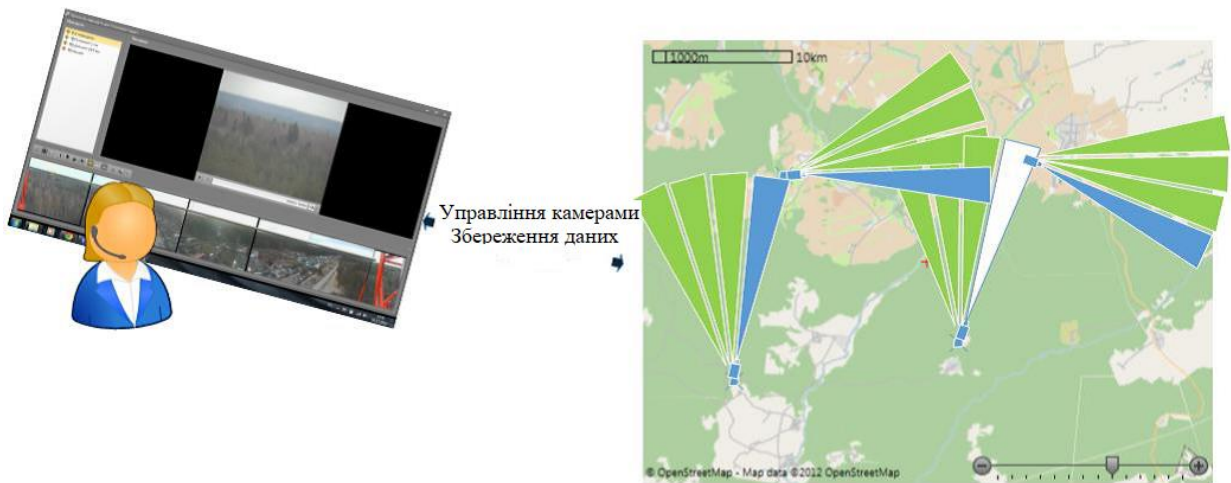


Рисунок 1.3 – Автоматизація моніторингу

Визначення координат з високою точністю дає можливість швидкої локалізації місць де відбулися загоряння та основної локації пожежі. Поєднання відеоспостереження з електронною картою місцевості також відноситься до основних переваг таких автоматизованих систем. Система моніторингу прив'язує напрямок огляду камери до азимуту відносно сервера (рисунок 1.4) [5].

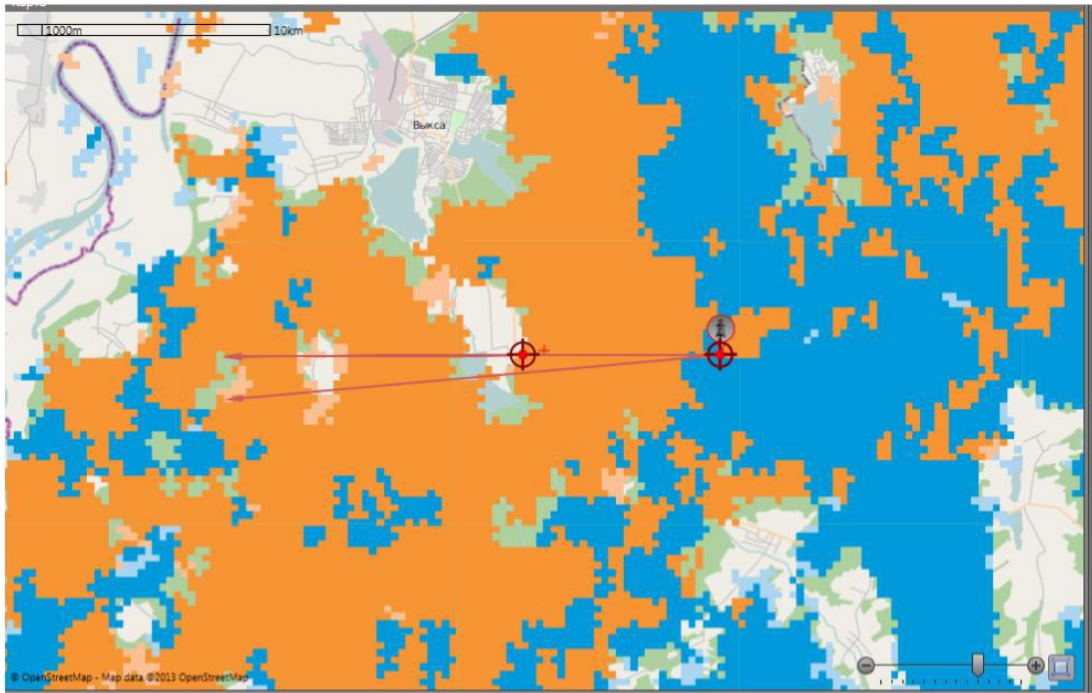


Рисунок 1.4 - Визначення координат та прив'язка камер по відношенню до сервера

Організація диспетчерських центрів дозволяє організувати доступ до моніторингових камер із будь-якого місця це краще за фіксований диспетчерський пункт (рисунок 1.5). Необмежену кількість диспетчерських пунктів можна організовувати на тій чи іншій території в залежності від розмірів лісового господарства. А також до системи можна підключити наявні диспетчерські центри вже існуючих організацій таких як:

- лісництва (лісові господарства);
- служби МНС;
- адміністрації районів;
- регіональні диспетчерські центри;
- орендатори.



Рисунок 1.5 – Організація диспетчерських пунктів

Можливість інтеграції з багатьма іншими системами, що в свою чергу створює ефект універсальності. Це дозволяє інтегрувати інформаційну систему моніторингу в загальний інформаційний простір для більш ефективної роботи. Можливість інтеграції в єдиному інформаційному просторі з іншими інформаційними системами [6]:

- супутникові системи моніторингу Google;
- системи моніторингу з використанням літальних апаратів;
- погодні сервіси GisMeteo;
- системи керування рухом автотранспорту різних виробників;
- системи обліку витрат на ліквідацію пожеж;
- ГІС системи прийняття рішень, регіональні системи.

Варіанти реалізації проекту дозволяють застосовувати різні методи і способи та технічні рішення для виявлення і локалізації вогнищ загоряння, пожеж. Існує достатня кількість варіантів виявлення вогнищ займання, але:

- використання супутникових систем дистанційного зондування землі це низька оперативність інформації, що передається, про поточну

ситуацію з періодичністю до одної години (при займанні лісових масивів просування вогню до 70 км/год);

- залучення авіації МНС - висока вартість, забезпечення одної години роботи вертольота потрібно понад 10 тис. грн., що в свою чергу не забезпечує цілодобовий контроль.
- застосування автотранспорту для періодичного обходу пожежонебезпечних територій не забезпечує потрібної оперативності і не дозволяє вести контроль у важкодоступних місцях.

Виходячи з цього оптимальний варіант побудови системи моніторингу це встановлення на спеціальних вежах та інших висотних об'єктах установок відеоспостереження (УВС). Даний варіант має високу оперативність і достовірність виявлення лісової пожежі.

Запропонований підхід до вирішення задачі створення системи моніторингу лісових масивів дає гарний результат з умовами використання надійних, функціональних та високоефективних IP-камер. Система відеомоніторингу лісових масивів та раннього автоматизованого виявлення пожеж представляє програмно-апаратний комплекс, що дозволяє виявляти спалахи на ранній стадії в автоматичному режимі та видавати сигнал тривоги оператору (рисунок 1.6).

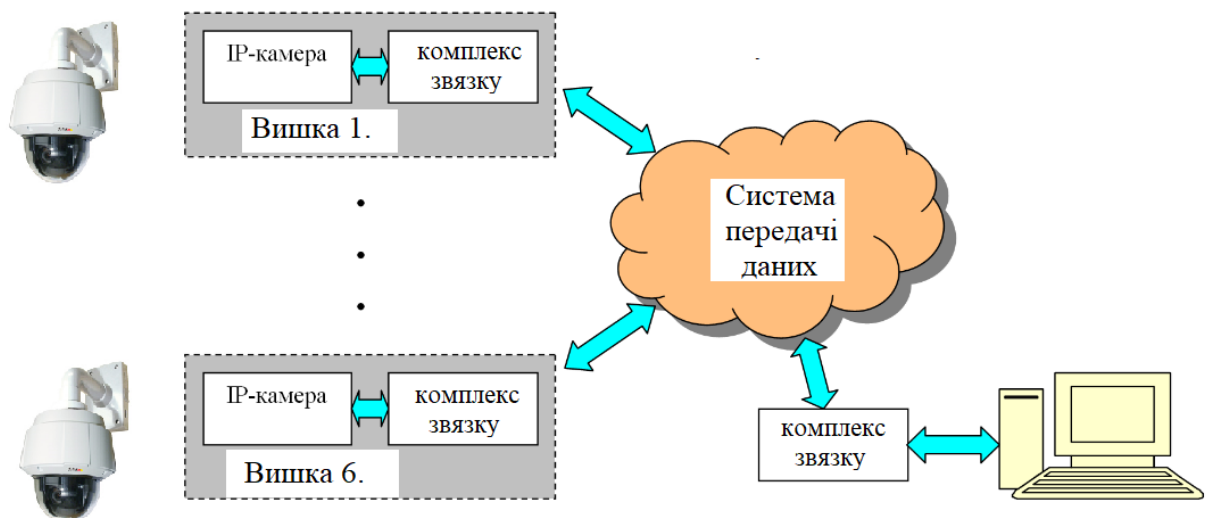


Рисунок 1.6 – Структура інформаційної системи моніторингу пожеж

На вежах передбачається встановити комплект, що складається з IP-камери, комплекту (устаткування) зв'язку, а в приміщенні диспетчерського пункту – комплект зв'язку та персональний комп'ютер (ПК). Зображення, що формується IP-камерою, перетворюється комплектом зв'язку в інформацію формату IP-Ethernet, передається по каналах зв'язку і приймається комплектом зв'язку диспетчерського пункту, зберігається і відображається на моніторі комп'ютера. Назад надходять сигнали управління IP-камерою [7].

Захист обладнання від впливів довкілля здійснюється сертифікованими спеціалістами провідних компаній, що займаються установкою відео нагляду. При виборі IP-відеокамери для забезпечення працездатності в необхідному діапазоні температур від -40 до 50°C необхідно комплектувати обладнання зі ступенем захисту IP66 за ГОСТ 14252-96. Для безперебійної роботи системи необхідно опрацювати питання щодо додаткового обладнання стабілізації та грозозахисту мережі електроживлення.

Визначення положення осередку займання здійснює програмно-апаратний комплекс обладнання системи моніторингу. Необхідне спеціалізоване програмне забезпечення, яке дозволить ефективно і з високою точністю визначати місця займань. Визначення положення вогнища загоряння при обмеженій кількості точок спостереження здійснюється з використанням електронної карти місцевості та кутових координат (азимута ϕ та кута місця γ) щодо відомої точки встановлення Web-камери згідно з рисунком 1.6.

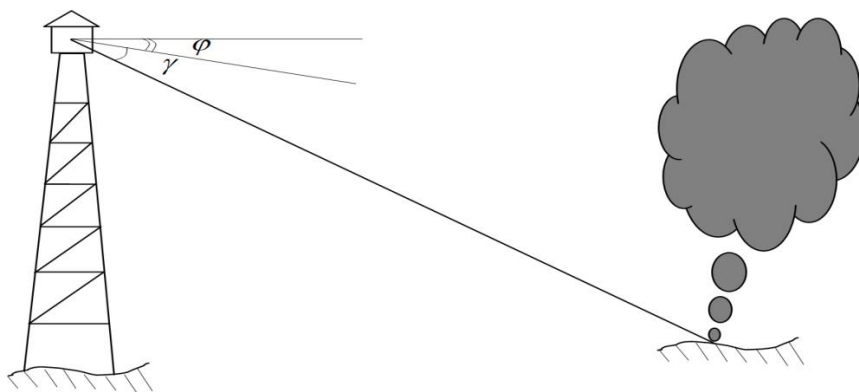


Рисунок 1.6 – Спосіб визначення координат осередків займань

Обґрунтування точності визначення положення осередку займання здійснюється математичними методами обчислень відстані та кута відносно заданої точки. Дальність дії візуальних систем спостереження обумовлена метеорологічними умовами і за ясної погоди становить 20-30 км (рисунок 1.7) [7, 8].

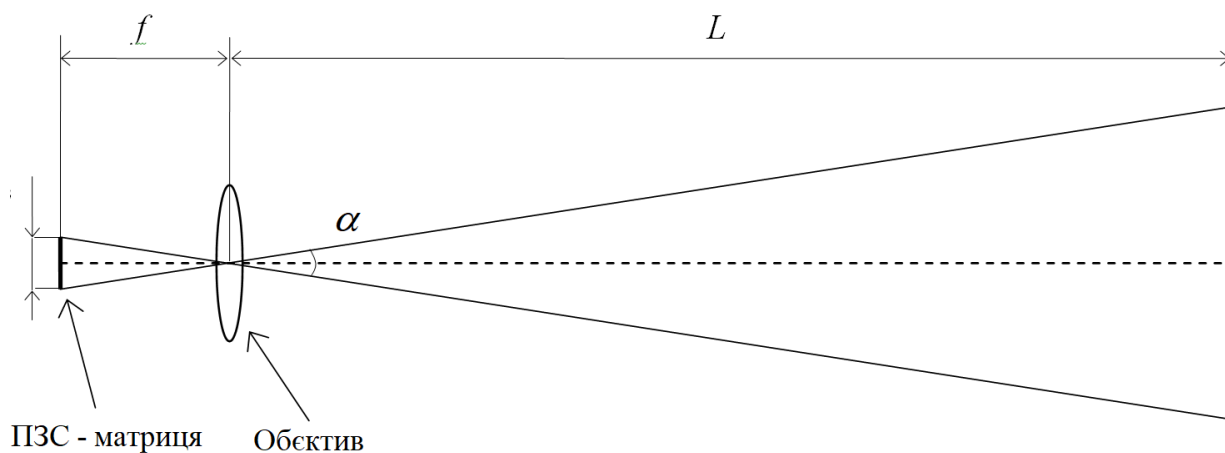


Рисунок 1.7 – Формування зображення об'єкта спостереження в IP-камері

Щоб забезпечити достовірне виявлення диму, необхідний ретельний вибір відеокамер з необхідним цифровим збільшенням. Позиціонування Web-камери здійснюється кроковими двигунами з точністю не гірше $0,1^\circ$, що дозволяє виявляти та з високою точністю визначати координати вогнища займання. Організація каналу зв'язку та передача даних має здійснюватися високошвидкісним обладнанням не менше ніж 1 Гбіт. Забезпечення захисту інформації та якості роботи системи здійснюється за умов вибору професійного та високонадійного прийомо-передаючого обладнання.

Організація відеоспостереження в зонах контролю вимагає опрацювання питання монтажу IP-відеокамер та організації захищеного каналу передачі інформації до диспетчерських пунктів спостереження.

Запропонований поетапний план створення автоматизованої відеосистеми протипожежного моніторингу лісового фонду, що включає оптимізацію витрат та обґрунтування ефективності програмно-апаратного комплексу обладнання.

Для оптимізації витрат на побудову системи моніторингу проведені проектно-пошукові роботи (ППР) у наступному обсязі [9]:

- опрацювання структурної схеми відеосистеми з розрахунком специфікації установок відеоспостереження та необхідних каналів зв'язку для передачі відеоінформації до диспетчерських пунктів;
- підготовка технічних умов на розміщення установок відеоспостереження на опорах стільникового зв'язку відповідно до визначення зони охоплення відеоконтролю (дозволить уникнути витрат на будівництво власних висотних опор);
- проведення адаптації програмного забезпечення диспетчерського пункту з обладнанням відеоспостереження – тестові випробування з оформленням протоколу;
- тестування каналів зв'язку на можливість передачі відеоінформації з УВС на опорах стільникового зв'язку до диспетчерських пунктів;
- розробка проектно-кошторисної документації на систему відео моніторингу;

Постачання необхідного обладнання та роботи:

- постачання установок відеоспостереження у зонах контролю в комплекті з програмним забезпеченням ручного управління оператором;
- постачання мережевого обладнання та монтаж необхідних кабельних ліній для УВС відповідно до технічних умов операторів зв'язку;
- виконання пусконаладжувальних робіт на диспетчерському пункті (включаючи встановлення ПЗ, налаштування системи в цілому та початковий інструктаж оператора);

монтаж УВС на опорах стільникового зв'язку оператора;

- постачання та налагодження програмного забезпечення на диспетчерський пункт;
- тестування системи з перевіркою автоматичного контролю та ручного керування (за командами оператора).

Розвиток інформаційної системи моніторингу лісового господарства:

- постачання та встановлення УВС на опорах стільникового зв'язку в додаткових зонах відео контролю;
- постачання та налагодження програмного забезпечення у додаткових диспетчерських пунктах;
- організація каналів зв'язку до диспетчерських пунктів;
- введення системи в експлуатацію, організація взаємодії зі службами МНС.

Покрокове використання інформаційної системи моніторингу – це можливість планування та реалізації у міру фінансових можливостей.

1.3 Напрямки розвитку та автоматизації моніторингу виявлення ландшафтних пожеж

Традиційний метод виявлення ландшафтних пожеж базується на використанні спеціалізованих пожежно-спостережних вишок, де знаходиться спостерігач, який за допомогою зв'язку та оптичних пристроїв візуального контролю виявляє загоряння та повідомляє про це диспетчерський пункт [10]. До переваг цього підходу можна віднести інфраструктуру вишок, що збереглася до сьогодні, простоту, масштабованість і високу оперативність. Однак цей спосіб передбачає необхідність постійного використання людської праці в кожній точці розташування вишки та збільшення концентрованого навантаження на працівників лісового господарства, здійснюють протипожежний та радіаційно-вимірювальний моніторинг території.

Методи виявлення пожеж з повітря з використанням літальних апаратів різного класу, які з певною періодичністю облітають пожежонебезпечну територію та при виявленні пожежі визначають його координати та передають до центру контролю інформацію про виявлену пожежу, дозволяють здійснювати моніторинг великих територій.

Основним недоліком є висока вартість обльотної години та відсутність можливості вести постійний радіаційний контроль для певної ділянки

місцевості. Використання безпілотних літальних апаратів (дронів) може суттєво знизити вартість обльотної години, але їх використання поки що стримується з багатьох причин.

Глобальний підхід для моніторингу лісових пожеж заснований на використанні спеціалізованих супутників, що знаходяться на не геостаціонарних орбітах і ведуть зйомку земної поверхні в ПЧ-діапазоні. Картинка передається до спеціальних центрів, звідки зацікавлені користувачі можуть отримувати всі дані через Інтернет. До переваг даного способу належать: автоматизація процесу отримання даних, дистанційність способу, можливість моніторингу будь-яких ділянок місцевості, легкий доступ до інформації через мережу Інтернет. Як недоліки супутникового моніторингу можна відзначити велику площу мінімально виявленого вогнища займання (1–50 га), невисоку періодичність отримання даних (кілька разів на добу) та сильний вплив погодних умов.

В умовах вітряної погоди затримка виявлення в 4-6 годині навіть невеликої пожежі може призвести до серйозних наслідків і збільшити вартість його ліквідації в рази. Але при всіх недоліках супутниковий моніторинг необхідний у разі контролю великих лісових територій та відсутністю можливості моніторингу іншими способами. Вартість супутникового моніторингу також є дуже високою.

Приблизно з початку 2000-х років починають з'являтися системи відеомоніторингу, призначені для виявлення лісових пожеж. Основною особливістю відеосистеми моніторингу є високий рівень автоматизації та можливість використання існуючої інфраструктури пожежно-спостережних вишок.

Існуючі відеосистеми представляють собою поворотні камери, що встановлюються на вежах з виведенням відеозображення на пульт оператора, який має знаходитися поряд з постом відеомоніторингу та вести цілодобове спостереження за територією. Однак цей підхід вимагає постійного використання людської праці в кожній точці розташування вежі, що не

дозволяє дистанційно визначати координати вогнища займання. Масштабувати таку систему також неможливо.

Система моніторингу лісових господарств певною мірою позбавлена цих недоліків. Система містить устаткування, необхідне для спостереження на висотних спорудах (купольні поворотні відеокамери, інфрачервоні камери, тепловізори), та забезпечує високу ефективність виявлення лісових пожеж із можливістю дистанційного обчислення координат вогнища займання. Недоліком системи є неможливість повного охоплення горизонту (360 градусів) за допомогою однієї купольно-поворотної відеокамери (рисунок 1.8). Наявність «мертвих зон» змушує використовувати як мінімум дві поворотні камери на одній вежі для гарантованого виявлення вогнищ займання, що підвищує вартість системи.

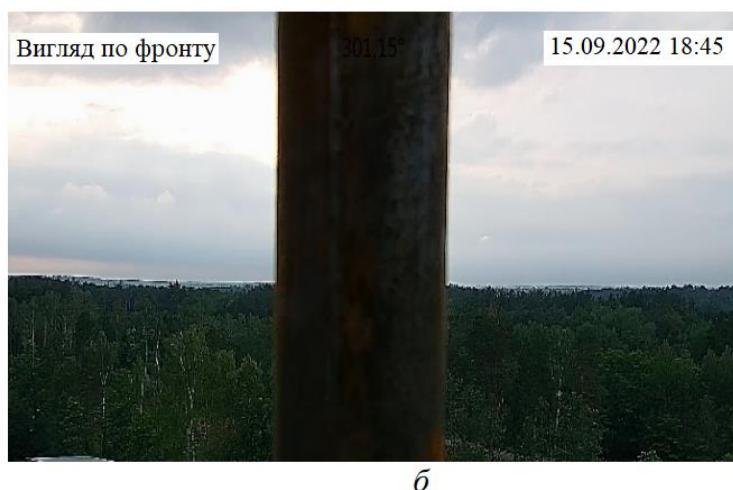
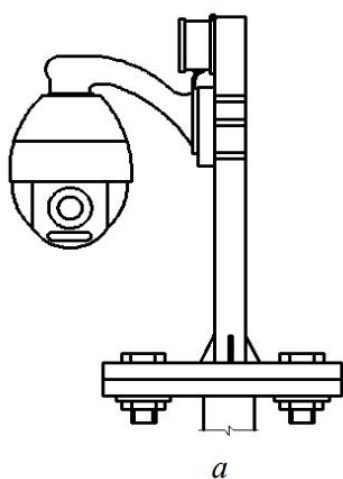


Рисунок 1.8 - Встановлення купольної поворотної відеокамери:

а – спосіб монтажу відеокамери на вертикальному кронштейні,

б – панорама лісового масиву з «мертвою зоною».

Недоліком є також необхідність вручну на моніторі оператора вказувати точку вогнища займання, після чого система розраховує напрям (азимут) місця пожежі. Крім того, система не передбачає можливість дистанційного радіаційного контролю та передачі інформації про зміну параметрів радіаційного фону на пульт оператора.

Розглянута система моніторингу на базі IP-камери, позбавлена цих недоліків. IP-камера забезпечена спеціальною опорно-поворотною

платформою з двома незалежними приводами – горизонтальним та вертикальним. Конструкція забезпечує вільне обертання ІР-камери в горизонтальній площині на 360 градусів і дозволяє контролювати стан лісового масиву з відсутністю "мертвих зон" (рисунок 1.9).



Рисунок 1.9 - ІР-камера на опорно-поворотній платформі з вертикальним кронштейном: а - спосіб монтажу відеокамери на опорно-поворотній платформі, б – панорама лісового масиву без «мертвої зони».

Для вирішення задачі автоматизованого обчислення координати напрямку на вогнище загоряння (азимуту пожежі) ІР-камера обладнана спеціальним контролером, що дозволяє в режимі реального часу контролювати кут повороту ІР-камери та автоматично обчислювати азимут вогнища займання на однотипній картинці лісового масиву з кутом огляду 360 градусів (рисунок 1.10) [10, 11].

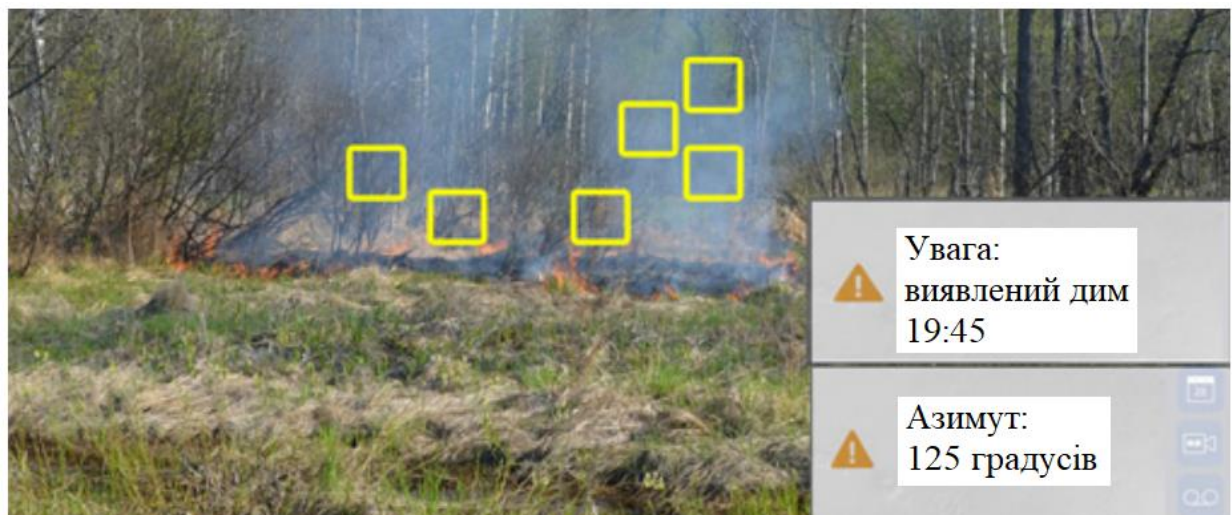


Рисунок 1.10 - Приклад інтерфейсу програмного забезпечення і роботи спеціального контролера з автоматичним обчисленням азимута вогнища займання

Для вирішення завдання екологічного контролю IP-камера забезпечується спеціальним сенсором, що дозволяє дистанційним наземним методом здійснювати радіаційний контроль та фіксувати зміни параметрів радіаційного фону у разі виникнення лісових пожеж (рисунок 1.11). Таке застосування IP-камери особливо важливо на радіоактивно забруднених територіях, оскільки дим, що надходить в атмосферу внаслідок лісових пожеж, забруднює повітря, погіршує екологічну обстановку у регіоні, завдає шкоди здоров'ю людей.

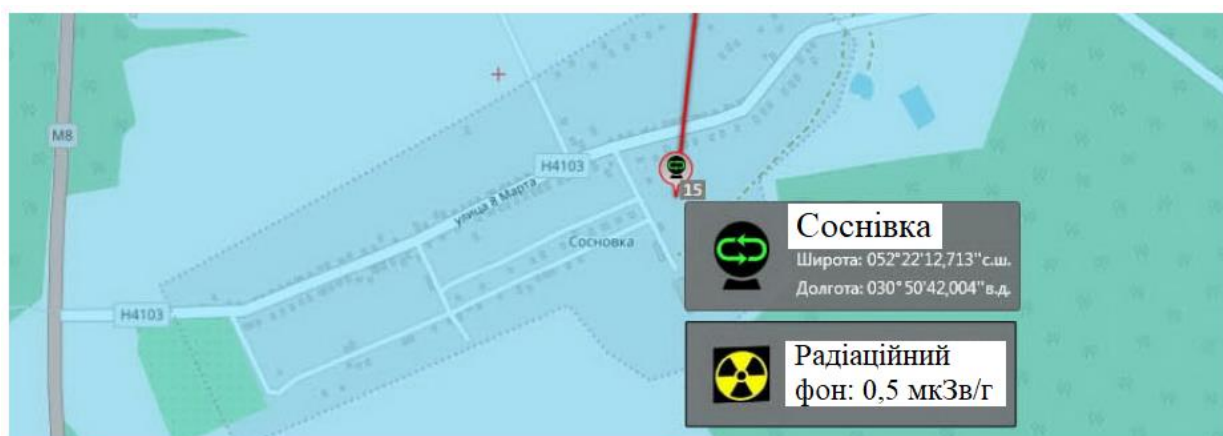


Рисунок 1.11 - Приклад інтерфейсу програмного забезпечення і робота сенсора радіаційного контролю

Система виявлення ландшафтних пожеж та екологічного моніторингу складається з апаратної частини – IP-відеокамер із високою роздільною здатністю, що встановлюються на опорно-поворотних платформах, спеціальних сенсорів радіаційного контролю, контролерів кута повороту та програмної частини, що дозволяє керувати камерами та обмінюватися інформацією з сенсорами та контролерами в роботизованому режимі (рисунок 1.12).

Відеосервер з монітором (робоче місце оператора)

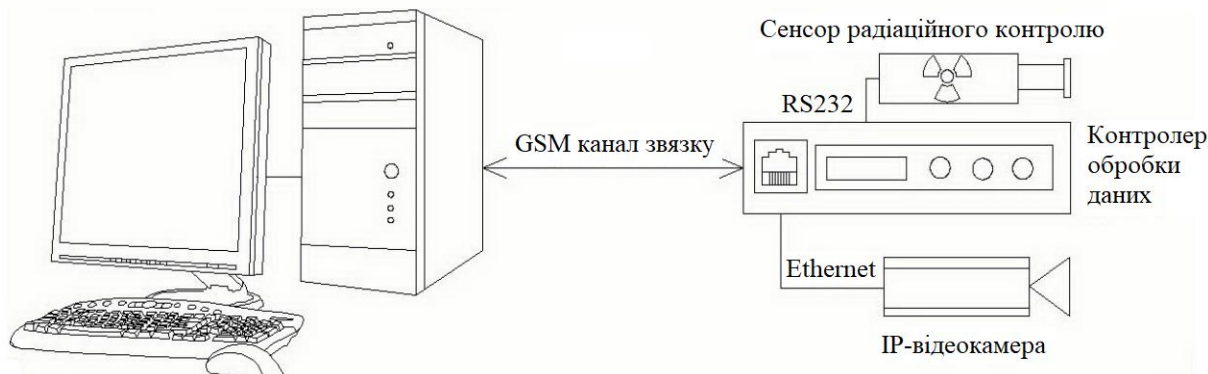


Рисунок 1.12 - Структурна схема автоматизованої системи виявлення ландшафтних пожеж та екологічного моніторингу

Відеокамери збирають та обробляють інформацію про стан лісового масиву як реального часу. Контролери кута повороту обчислюють азимут точки огляду відеокамери. Сенсори радіаційного контролю вимірюють та обробляють інформацію про стан радіаційного фону. Інформація з усіх відеокамер, контролерів та сенсорів передається на сервер із спеціалізованим ПЗ для автоматизованої обробки даних. В разі виявлення димового шлейфу чи вогню система сповіщає оператора та відповідальних осіб. У разі фіксації зростання значення вимірювань або перевищення допустимого значення радіаційного фону система також сповіщає оператора та відповідальних осіб. Система передбачає можливість інтеграції з різними типами карт, де відмічені точки встановлення відеокамер та точки встановлення сенсорів радіаційного контролю.

Адаптація та вдосконалення таких систем моніторингу дозволить забезпечити пожежну та радіаційну безпеку в лісах, забруднених радіонуклідами, якнайшвидше виявлення лісових пожеж на забруднених територіях, підвищення протипожежної та біологічної стійкості лісів; зниження дозових навантажень на персонал лісової галузі. Для цього необхідно забезпечити дистанційний відеоконтроль, а також забезпечити контроль радіаційного фону територій із фіксацією змін його значень у разі виникнення лісових пожеж, коли забруднений радіонуклідами дим може надходити в атмосферу [11].

Автоматизована система екологічного моніторингу та виявлення ландшафтних пожеж з використанням сучасних технологій комп'ютерного зору, ГІС-технологій, технологій розподілених обчислень, клієнт-серверних інтернет-технологій, є важливою складовою комплексу заходів щодо охорони лісового фонду від пожеж, а також територій, забруднених радіонуклідами. Система дозволяє суттєво збільшити оперативність виявлення змін показників радіаційного фону та виникнення зон займання, зменшити час, трудовитрати, матеріальні та фінансові витрати на заходи щодо локалізації та ліквідації радіоактивних лісових пожеж, знизити економічні та екологічні збитки від випадкових та сезонних загорянь.

Істотним позитивним ефектом від введення в дію автоматизованої системи виявлення ландшафтних пожеж та екологічного моніторингу є зниження дозового навантаження на працівників лісового господарства, які здійснюють протипожежне та радіаційно-вимірювальне патрулювання території, а також покращення якості контролю доступу населення на ділянки лісового фонду з високими рівнями радіаційного забруднення.

2. ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЛІСОВИХ ГОСПОДАРСТВ

2.1 Представлення функціональних можливостей і завдань автоматизованої системи моніторингу лісових пожеж

Інформаційна система раннього виявлення лісових пожеж – це програмно-апаратний комплекс для моніторингу лісу та раннього виявлення осередків займання. Система раннього виявлення лісових пожеж складається із двох частин: апаратної та програмної. Апаратна частина - це мережа керованих сенсорів спостереження (відеокамер, тепловізійних сенсорів, інфрачервоних камер). Програмна частина – це спеціальне програмне забезпечення (ПЗ), за допомогою якого замовник здійснює моніторинг лісів у режимі реального часу та визначає координати загорянь. Останнє передбачає, що система може виявляти вогонь на стадії загоряння — стадії загоряння, що практично дозволяє попереджати надзвичайні ситуації [12].

Для функціонування системи використовується вже існуюча інфраструктура мобільних операторів (стільникові вежі, апаратура зв'язку та обслуговуючі команди). Так як система легко масштабується і розширюється, вона придатна для виявлення лісових пожеж як у невеликих територіях, так і на великих площах.

Характеристики запропонованої системи включають в себе:

- можливу помилку визначення координат осередку займання – до 250 метрів;
- радіус огляду однієї точки моніторингу – до 30 км;
- точність визначення напрямку на осередок займання – 0.5°;
- час для огляду однієї точки – 10 хвилин (залежить від продуктивності сервера замовника);
- інтеграція та облік метеорологічних даних;

- інтеграція та облік супутникових даних;
- інтеграція даних із сторонніх інформаційних систем;
- можливість оперативного масштабування та розширення системи для збільшення площі моніторингу;
- необмежена кількість користувачів з доступом до системи;
- можливість оперативного отримання інформації на мобільних пристроях;
- автоматичне виявлення потенційно небезпечних об'єктів: диму та полум'я.

Система працює на основі сучасних технологій, що включають елементи комп'ютерного зору, IP-відеоспостереження, а також бездротовий широкосмуговий зв'язок, що є складовою геоінформаційних систем, які базуються на технології клієнт-серверних інтернет-додатків.

Система розподіленого відеомоніторингу складається з наступних елементів:

- розподілена система відеокамер;
- канали зв'язку, що з'єднують відеокамери з мережею інтернет;
- сервер система раннього виявлення лісових пожеж підключена до мережі інтернет;
- програмне забезпечення сервера системи раннього виявлення лісових пожеж;
- устаткування автоматизованого робочого місця оператора;
- програмне забезпечення автоматизованого робочого місця;

Роботизований сервер - це сервер системи раннього виявлення лісових пожеж, який здійснює низку ключових функцій, а саме:

- керує мережею відеокамер (сенсорів) та здійснює за їх допомогою відеоспостереження території, у тому числі на основі заданих маршрутів патрулювання;
- керує підсистемою комп'ютерного зору для пошуку диму та вогню;
- надає рекомендації користувачеві, інформуючи його про наявність потенційно небезпечних вогнищ займання.

При установці системи іноді виникають ситуації, коли швидкість інтернет-з'єднання надзвичайно мала (менше 512 Кбіт/сек.) та передача відеоданих до центру контролю утруднена. Щоб вирішити цю проблему фахівці використовують концепцію розумної точки моніторингу.

Сенс концепції полягає в тому, що основна частина даних з відеокamer обробляється ще до того, як опиняється в мережі та передається до центру контролю. Здійснюється це завдяки спеціальним міні-серверам, прикріпленим до кожної конкретної точки моніторингу. Саме на міні-серверах здійснюється попередній аналіз медіа-інформації та відсівається «інформаційний шум».

Як наслідок, навіть через слабкий інтернет оператор отримує той самий архів потенційно небезпечних об'єктів (ПНО), що і за стандартної схеми передачі медіа даних. Це дозволяє замовнику уникати витрат на дорогі канали зв'язку або у випадках, коли в цій місцевості доступ до якісного інтернет-з'єднання вкрай утруднений.

Автоматизована система представляє можливості системи забезпечують проведення відеомоніторингу лісу поблизу населених пунктів у реальному часі (рисунок 2.1). Функціонал системи раннього виявлення лісових пожеж дозволяє отримувати доступ до системи з будь-якого центру контролю за наявності підключення до мережі інтернет на потрібній швидкості з достатньою кількістю трафіку. Це в свою чергу дає можливість вибору будь-якої доступної камери для отримання відеозображення. Здатність змінювати орієнтацію камери як по азимуту, так і по висоті дає змогу змінювати наближення камери.

Встановлення параметрів відеозображення, що отримується з камери, таких як роздільна здатність і якість зображення (величина стиснення) дає можливість змінювати параметри інфрачервоного фільтра, який використовується камерою для досягнення прийнятних умов видимості в різних умовах [13].



Рисунок 2.1 – Функціональні можливості автоматизованої системи моніторингу лісових пожеж

Можливості отримання інформації про поточну орієнтацію камери щодо півночі (азимута) у вигляді числа та вказівки напрямку дає можливість отримувати інформацію про поточне наближення камери у вигляді числа та сектора огляду. Подання інформації про місцезнаходження відеокамер та їх поточну орієнтацію по запиті клієнта дозволяє керувати камерою за допомогою програмних алгоритмів.

Автоматизована система моніторингу має можливість збереження та доступу до положень камери (прив'язок) на заздалегідь задані об'єкти, наприклад пожежонебезпечні об'єкти, природні орієнтири тощо. Таким чином здійснюється формування маршрутів патрулювання призначених для автоматичного сканування заданої території.

Виконуються запуски маршрутів патрулювання окремо для камер, що вибираються, а також виконується послідовно кілька маршрутів на різних камерах шляхом формування списку для їх перегляду. Таким чином запуск одночасно до чотирьох маршрутів патрулювання в одному вікні, призначеному для оглядового моніторингу дозволяє відразу декільком камерам (потрібна висока пропускну здатність каналів зв'язку).

Можливість зациклити перегляд одного маршруту чи групи маршрутів, що дає можливість автоматичного вимкнення програми при довгостроковій відсутності активності користувача. Наступним кроком є збереження поточного зображення з камери у вигляді картинки та відеофайлу для подальшого перегляду та аналізу.

Функціональні можливості системи раннього виявлення лісових пожеж дозволяє здійснювати наступні дії [14]:

- можливість автоматичного оновлення з мінімальною участю користувача для додавання нової функціональності та усунення програмних помилок у будь-якому місці розміщення;
- можливість роботи кількох користувачів з однією камерою в режимі поділу за часом за допомогою механізму блокування керування та перегляду;
- можливість маркування різних об'єктів, призначених для виконання процедур моніторингу лісу (населені пункти, орієнтири тощо);
- можливість відображення на відеозображенні, що надходить з камери, об'єктів, які потрапляють до області огляду з позначенням типу об'єкта;
- визначати напрямок на видиму пожежу при видимості з однієї камери з точністю 0,5 градуса та маркування даного об'єкта.
- визначати точні географічні координати видимого щонайменше ніж із 2-х камер пожежі з точністю 250м і відобразити його в інформаційній базі.
- можливість подання інформації про поточну пожежну обстановку на мобільному телефоні;
- визначати координати пожежі на основі інформації, що надходить від системи наземного моніторингу – з пожежно-спостережних вишок і здійснювати маркування пожежі;
- можливість коригування орієнтації камери при її фізичному зміщенні для збереження всіх прив'язок;

- можливість автоматичного виявлення вогнищ загоряння системою та сигналізації оператору під час перегляду маршрутів патрулювання (потрібна висока продуктивність процесора);
- автоматичне виявлення вогнищ займання та збереження фотоінформації та інформації про напрямлення на потенційно небезпечний об'єкт в архіві;
- можливість обмінюватися оперативними повідомленнями про ситуацію з іншими операторами та групами операторів у рамках виконання завдань з виявлення та ліквідації пожеж.

Програмна частина виконана на платформі .NET з використанням MS SQL Express і є мікро-сервісною архітектурою. Програмно-апаратна частина має систему розподілених серверів плюс сервер зберігання головних баз даних. Система має блок раннього виявлення пожеж, написаний на C++ та вбудований у так званий камера-контролер. Система представляє дружній інтерфейс і має широкий функціонал, а саме [14, 15]:

- цілодобове патрулювання камерою території лісового масиву за прокладеними маршрутами;
- автоматичне визначення пожежонебезпечного об'єкту;
- визначення відстані до пожежонебезпечного об'єкта, прокладання до нього маршруту;
- можливість присвоєння різних категорій пожежонебезпечному об'єкту;
- зберігання роликів відповідно до пожежонебезпечного об'єкта;
- зберігання архіву всіх об'єктів у програмі;
- візуалізація сил та засобів гасіння пожеж;
- підтримка квартальних карток;
- багато сервісних функцій.

Канали передачі тривожного сигналу організовані на основі: інтернет, мобільної мережі, вбудованої системи оповіщення.

2.2 Обґрунтування вибору способу моніторингу лісових пожеж та компонентів автоматизованої системи

Досвід минулих років показав недостатність заходів, спрямованих на раннє виявлення та своєчасне гасіння лісових пожеж, що призвело до їх поширення на великі площі, загибелі людей та колосальних матеріальних втрат. Кліматичні зміни останніх років та дослідження в цій галузі свідчать про те, що загрози лісових пожеж у найближчому майбутньому лише зростатимуть.

Стає очевидним, що активний моніторинг території лісових масивів, раннє виявлення точкових площ загоряння та оперативне інформування відповідних служб є актуальними завданнями для контролю пожежної безпеки. На жаль, всі ці завдання нерозв'язні одночасно жодним із використовуваних у цей час способом. Таким чином, існує гостра необхідність створення якісно нової та ефективної технології виявлення вогнищ лісових пожеж на ранніх стадіях загоряння.

Візуальний моніторинг (рисунок 2.2). При візуальному виявленні пожежі спостерігач за допомогою азимутного кола визначає напрямок на пожежу та повідомляє цей напрямок у центр контролю за допомогою різних способів зв'язку. З центру контролю виробляється визначення, з якої ще спостережної вежі може бути виявлена ця пожежа, і здійснюється зв'язок з іншим спостерігачем, який також виявляє пожежу та визначає напрямок на неї. Після чого в центрі контролю, використовуючи відомі напрямки з вишок на пожежу, за допомогою карти визначають місцезнаходження передбачуваної пожежі та вживають заходів для її ліквідації [16].

До переваг такого способу можна віднести високу оперативність оповіщення за наявності сприятливих погодних умов і можливість використання інфраструктури спостережних вишок, що збереглася до сьогодні.



Рисунок 2.2 – Візуальний моніторинг

Недоліки цього способу очевидні – необхідність постійного використання людських ресурсів у кожній точці розташування спостережної вежі протягом усього часу пожежонебезпечного сезону та відсутність можливості автоматизації процесів виявлення та оповіщення.

Авіаційний моніторинг (рисунок 2.3). Пілот на літальному апараті (літак, вертоліт), оснащеному скануючим теплолокатором мікрохвильового діапазону та інфрачервоними сенсорами, з певною періодичністю здійснює обліт пожежонебезпечної території. При виявленні пожежі проводиться визначення координат з їх подальшою передачею в центр контролю.



Рисунок 2.3 – Авіаційний моніторинг

До переваг даного способу можна віднести можливість контролю яких завгодно віддалених і важкодоступних територій, а також можливість виявлення низових (прихованих лісом) і підземних пожеж.

Недоліки способу визначаються високою вартістю політної години і неможливістю постійного моніторингу великих територій, що може бути причиною пізнього виявлення пожежі. Також варто відзначити сильну залежність чутливості реєструючої апаратури від широти огляду.

Використання безпілотних літальних апаратів може дещо знизити вартість політної години, проте не позбавляє ризику невчасного виявлення пожежі. Крім того, вартість безпілотного літального апарату може сягати мільйона доларів.

Супутниковий моніторинг (рисунок 2.4). Спеціалізовані супутники, що знаходяться на не геостаціонарних орбітах, роблять знімки земної поверхні в інфрачервоному діапазоні за допомогою радіометрів з подальшою передачею їх на наземну станцію для детального аналізу. На основі різниці температури поверхні землі та температури вогнища загоряння можна визначити його приблизне місце розташування [17].



Рисунок 2.4 – Супутниковий моніторинг

Сильними сторонами цього способу є можливість контролю будь-яких ділянок місцевості, включаючи важкодоступні та недоступні для людини, а також високий рівень автоматизації процесу отримання та обробки даних.

Недоліків істотно є більше. По-перше, потрібна для його достовірного виявлення площа займання, як правило, становить не менше 1 гектара, що робить виявлення пожежі на ранній стадії не просто скрутним, а практично неможливим. По-друге, сильний вплив метеоумов – хмарність та сильний вітер можуть призвести до затримок або навіть неможливості виявлення пожежі, що, крім підвищення загрози від пожежі, збільшує вартість її ліквідації. Крім того, недостатня оперативність самого процесу моніторингу та передачі даних (до 4 разів на добу). Не варто забувати і про дорожнечу введення супутника в експлуатацію - захмарна вартість доставки на навколосемну орбіту кілограма корисного вантажу з урахуванням перерахованих вище недоліків ставить під сумнів доцільність супутникового моніторингу.

Відеомоніторинг є логічним розвитком та першим ступенем автоматизації візуального моніторингу (рисунок 2.5). При даному способі контролю замість людей на вишках використовується комплекс відеосенсорів, що включає як підсистему оглядових відеокамер, так і підсистему поворотних відеокамер, оснащених моторизованими об'єктивами (трансфокаторами). Кожна вежа оснащується пристроєм зв'язку з ситуаційним центром, де оператор може спостерігати відразу за кількома камерами. У разі виявлення пожежі оператор також має можливість отримати підтвердження з іншої найближчої камери [18].



Рисунок 2.5 - Відеомоніторинг

Можливість отримання поточних азимутальних координат положення поворотних пристроїв дозволяє за допомогою простих розрахунків із достатньою точністю визначати координати вогнища загоряння на двовимірній карті місцевості.

До переваг даного способу можна віднести всі переваги візуального моніторингу, а також мінімізацію людських ресурсів, задіяних у моніторингу. І, мабуть, дуже важлива перевага – визначення займання на ранніх стадіях. При цьому варто пам'ятати, що можна зафіксувати тільки таку пожежу, яку можна виявити візуально. З урахуванням порівняльного аналізу описаних вище методів детектування лісових пожеж в умовах нашої країни відеомоніторинг є найбільш оптимальним рішенням і має найбільший потенціал автоматизації. Запропонований метод є наступним ступенем еволюції класичного відеомоніторингу лісових масивів.

2.2.1 Архітектура автоматизованої системи моніторингу лісових пожеж

Лісові пожежі завжди є однією з основних проблем великої території лісових господарств. Так щороку вогонь завдає шкоди економіці регіонів і становить велику небезпеку життя людей. Завдання раннього виявлення вирішується при наземному моніторингу, який дає можливість здійснювати безперервний контроль за лісовими територіями та виявляти пожежі на ранній стадії. Такий метод може включати: наземне патрулювання транспортними засобами, спостереження з вишок і використання розподілених систем сенсорів для контролю. Основне науково-технічне завдання полягає у створенні системи розподіленого відеоспостереження для вирішення задачі раннього виявлення лісових пожеж. Такий апаратно-програмний комплекс буде створено на основі сучасних мереж передачі даних, відеоспостереження та інтелектуальних систем машинного зору.

Традиційний метод виявлення пожеж базується на використанні спеціалізованих спостережних вишок, де розташовується спостерігач, який за допомогою зв'язку та оптичних пристроїв візуального контролю, виявляє та

повідомляє диспетчерський пункт. До переваг даного підходу можна віднести інфраструктуру вишок, що збереглася до сьогодні, простоту, масштабованість і високу оперативність. Однак, недоліком даного способу виявлення є необхідність постійного використання людської праці в кожній точці розташування вежі. На сьогоднішній день існують методи виявлення пожеж з повітря з використанням літальних апаратів (ЛА) різного класу. ЛА з певною періодичністю облітають пожежонебезпечну територію та при виявленні пожежі, визначаються її координати та передають до центру контролю інформацію про виявлену пожежу. Основною перевагою цього методу є можливість моніторингу великих територій. Основним недоліком є висока вартість облітної години. Особливо актуальними зараз стають безпілотні ЛА, використання яких може дещо знизити вартість облітної години, але їх використання поки що стримується з багатьох причин. Державні та приватні організації, в завдання яких входить виявлення та гасіння лісових пожеж, була роздроблена на регіональні підрозділи. Основи авіаційної охорони лісів після передачі державним суб'єктам повністю втратили здатність боротися з лісовими пожежами. Крім того, зникла можливість оперативного перекидання сил і засобів на гасіння пожеж зі спокійних регіонів до найбільш активних [17-19].

Проектована система призначена для виявлення лісових пожеж та визначення їх просторових координат у масштабі реального часу. Для функціонування комплексу можуть бути використані вежі операторів зв'язку та існуюче інфокомунікаційне середовище передачі даних. Комплексна система моніторингу складатиметься з кількох основних частин: апаратної, програмної та оперативно-управлінської.

Апаратна частина - це обладнання, необхідне для спостереження на висотних спорудах, організації каналів зв'язку та технічного забезпечення системи (відеокамери, ПЧ-камери, тепловізори, інтелектуальні сенсори).

Програмна частина – це програмне забезпечення, яке встановлюється на комп'ютері оператора у центрі контролю. Воно забезпечує високу ефективність виявлення лісових пожеж та визначення їх координат.

Оперативно-управлінська частина – це сукупність методів і підходів управління всіма видами ресурсів (технічними, соціальними та інших.) усунення наслідків лісових пожеж. Так архітектура запропонованої системи моніторингу лісових пожеж представлена рисунку 2.6.

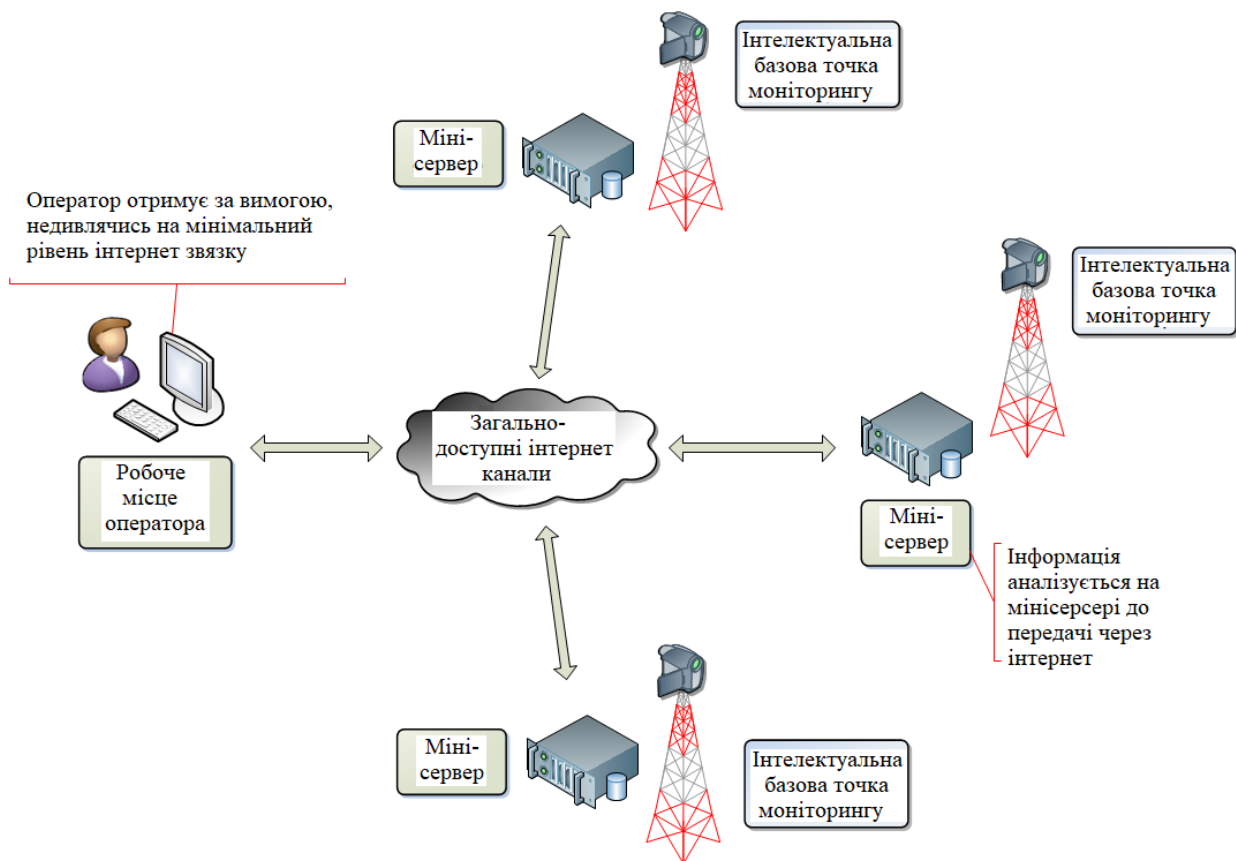


Рисунок 2.6 – Загальна архітектура запропонованої системи моніторингу лісових пожеж

Можливості автоматизованої системи моніторингу лісових пожеж архітектура якої представлена на рисунку 2.6 [20]:

- автоматичне виявлення потенційно небезпечних об'єктів: диму, вогню та інформування оператора (можливість зниження рівня хибних тривог за рахунок навчання);
- визначення координат об'єкта за допомогою лише однієї камери та підвищення точності виявлення за рахунок двох і більше камер;
- інтеграція інформації про наземний моніторинг, що проводиться зі спеціалізованого транспорту, метео-, гідро-, супутникових та інших даних;

- інтеграція з даними глобальних систем позиціонування (ГЛОНАСС/GPS), а також з геоінформаційними системами;
- доступ до системи всіх зацікавлених користувачів з мобільного телефону, комунікатора та планшета;
- легка масштабованість системи за рахунок додавання нових апаратних та програмних ресурсів.

Розроблено новий системний підхід для таких завдань, який відрізняється високими показниками і максимальною оперативністю прийняття рішень, при мінімумі ресурсних витрат. Знайдено схожі прототипи комерційних продуктів, у яких виявлено суттєві недоліки.

2.2.2 Обґрунтування вибору основних компонентів автоматизованої системи моніторингу

Забезпечення пожежної безпеки – одне з головних завдань держави. Найкращий спосіб не допустити природну пожежу - попередити її, знайти вогнище займання на стадії задимлення і вжити заходів для гасіння. Запропонована автоматизована система дає можливість запобігти природним пожежам на ранній стадії і представлені рішення дозволяють ефективно це зробити.

Як основний апаратний модуль для візуального спостереження буде використовуватися відеокамера Axis Q6032-E. Купольна IP-камера з механічно реалізованими функціями PTZ і 420-кратним загальним масштабуванням призначена для контролю великих багатолюдних просторів (рисунок 2.7). Наявна функція електронної стабілізації зображення дозволяє компенсувати коливання опори, на якій встановлено пристрій, навіть за максимального збільшення. Потужний прикладний програмний інтерфейс (API) для інтеграції програмного забезпечення, що включає стандарти AXIS VAPIX та AXIS MediaControl SDK, дозволяє адаптувати під необхідні вимоги [21, 22].



Рисунок 2.7 - Купольна ІР-камера Axis Q6032-Е

Основними характеристиками камери Axis Q6032-Е є:

- тип об'єктива:
 - варіофокальний, 3.4 мм - 119 мм, F1.4 - 4.2;
 - авто фокус;
 - автоперемикання режимів День/Ніч;
 - горизонтальні кути огляду від 1,7° до 55,8°;
- максимальна роздільна здатність, пік селях:
 - NTSC: 704x480;
 - PAL: 704x576;
- тип матриці:
 - 1/4 "CCD (ПЗС) матриця ExView HAD з прогресивною розгорткою;
- оптичне збільшення:
 - 35 крат;
- максимальне збільшення (оптичне + цифрове):
 - 420 крат;
- мережний інтерфейс:
 - RJ45, Ethernet 10/100 BaseT, PoE 802.af;
- відео потік:
 - формат H.264 та Motion JPEG;
 - декілька відеопотоків у форматі H.264;

- робоча температура:
 - -40 °C до 50 °C.

Сенс концепції полягає в тому, що основна частина даних з відеокамер обробляється ще до того, як опиняється в мережі та передається до центру контролю. Здійснюється це завдяки спеціальним міні-серверам, прикріпленим до кожної конкретної точки моніторингу (рисунок 2.8). Саме на міні-серверах здійснюється попередній аналіз медіа-інформації та відсівається «інформаційний шум».

Як наслідок, навіть через слабкий інтернет оператор отримує той самий архів потенційно небезпечних об'єктів (ПНО), що і за стандартної схеми передачі медіа даних. Це дозволяє замовнику уникати витрат на дорогі канали зв'язку або у випадках, коли в цій місцевості доступ до якісного інтернет-з'єднання вкрай затруднений.



Рисунок 2.8 – Міні-сервер Mini Server N200

Легкий і компактний міні-сервер N200 дозволяє за лічені години розгорнути внутрішню (без виходу в інтернет) або глобальну (з виходом в інтернет) мережу для оперативних комунікацій за допомогою POS терміналів або стільникових телефонів, на яких також може бути встановлений спеціальний додаток (для Android). N200 простий в обслуговуванні та має прості інтуїтивно зрозумілі та гнучкі налаштування. А також дозволяє обробляти відео потоки даних з IP-камер [23].

Основні характеристики та переваги Mini Server N200:

- чудова конфіденційність даних;

- швидке розгортання та простота обслуговування;
- невеликі інвестиції для старту;
- повністю незалежний власний сервер;
- динамічне збільшення абонентської бази;
- гнучке налаштування та великий функціонал;
- підтримка великої кількості терміналів та стільникових телефонів;
- багаторазове використання облікових записів;
- збереження даних на флеш-пам'ять та швидке відновлення.

Можливості системи забезпечують проведення відеомоніторингу лісу поблизу населених пунктів у реальному часі. Функціонал системи моніторингу лісових пожеж дозволяє здійснювати наступні дії [24]:

- отримувати доступ до системи з будь-якого центру контролю за наявності підключення до мережі Інтернет на потрібній швидкості з достатньою кількістю трафіку;
- можливість вибору будь-якої доступної камери для отримання відео зображення;
- змінювати орієнтацію камери як по азимуту, так і по висоті, змінювати наближення камери;
- встановлювати параметри відеозображення, що отримується з камери, такі як роздільна здатність і якість зображення (величина стиснення);
- змінювати параметри інфрачервоного фільтра, що використовується камерою для досягнення прийнятних умов видимості в різних умовах;
- можливість отримання інформації про поточну орієнтацію камери щодо півночі (азимут) у вигляді числа та вказівки напрямку;
- отримувати інформацію про поточне наближення камери у вигляді числа та сектора огляду;
- можливість подання інформації про місцезнаходження відеокамер та їх поточну орієнтацію;
- можливість керування камерою за допомогою програмних алгоритмів;

- можливість збереження та доступу до збережених орієнтацій камери (прив'язок) на заздалегідь задані об'єкти, наприклад пожежонебезпечні об'єкти, природні орієнтири тощо;
- формувати маршрути патрулювання призначені для автоматичного сканування заданої території;
- запускати маршрути патрулювання окремо для камер, що вибираються, а також послідовно кілька маршрутів на різних камерах шляхом формування списку маршрутів для перегляду;
- запуск одночасно до чотирьох маршрутів патрулювання в одному вікні, призначеному для оглядового моніторингу відразу декількох камер (потрібна висока пропускна здатність каналів зв'язку);
- можливість зациклити перегляд одного маршруту чи групи маршрутів.

Роботизований сервер - це сервер системи моніторингу лісового господарства, який здійснює низку ключових функцій, а саме:

- керує мережею відеокамер (сенсорів) та здійснює за їх допомогою відеоспостереження території, у тому числі на основі заданих маршрутів патрулювання;
- керує підсистемою комп'ютерного зору для пошуку диму та вогню;
- надає рекомендації користувачеві, інформуючи його про наявність потенційно небезпечних вогнищ займання.

Інтелектуальна базова точка моніторингу під час встановлення системи іноді виникає ситуація, коли швидкість інтернет-з'єднання надзвичайно мала (менше 512 Кбіт/сек.) та передача відео даних до центру контролю утруднена. Щоб вирішити цю проблему, наші фахівці використовують концепцію "розумного моніторингу".

2.3 Перспективи використання штучного інтелекту при обробці зображень автоматизованої системи моніторингу лісових пожеж

Дим — перша видима ознака будь-якого займання. Саме ця ознака доступна при спостереженнях за великими територіями, так як саме вогнище спалаху приховано за кроною дерев. Для забезпечення максимальної

дальності спостереження потрібна прозора атмосфера. Однак ідеальні умови зустрічаються рідко. Рівень прозорості атмосфери залежить від впливу різних природних чинників: температури, часу доби, вологості повітря, опадів, швидкості та напрямку вітру та інших чинників. Переваги використання штучного інтелекту при обробці зображень у комплексі IQ FireWatch для систем моніторингу та раннього виявлення лісових пожеж [25].



Рисунок 2.9 – Автоматизована система моніторингу з використанням штучного інтелекту IQ FireWatch

Туман та опади становлять велику проблему для денних камер та тепловізорів. За таких умов видимість денної камери може впасти за кілька десятків метрів незалежно від потужності об'єктива. Тепловізор середнього чи далекого ІЧ спектру також буде обмежений за дальністю спостереження, т.к. вологе повітря та опади активно поглинають випромінювання у цьому діапазоні. У комплексі IQ FireWatch використовується тепловізор ближнього ІЧ спектру (NIR), що дає йому значні переваги прозорості атмосфери за умов спостереження. Такий тепловізор практично не помічає туману та опадів, а наявність додаткової надчутливої денної камери посилює ефект прозорості атмосфери. При цьому важливо відзначити, що тепловізор NIR у складі IQ FireWatch, як і раніше, шукає обриси диму, а не саме вогнище пожежі, яке приховано за листям дерев. В умовах темного часу доби звичайні денні

камери нічого не бачать без активного підсвічування, що дає максимальну видимість до 100 м. Звичайно, можна використовувати потужні спрямовані прожектори освітлення, але навіть за їх допомогою максимальна видимість денної камери не перевищить 1 км.

Використання у складі комплексу IQ FireWatch кількох сенсорів (камер) у різних спектральних діапазонах дозволяє вирішити цю проблему. Працюючи одночасно сенсори формують сумарно чітке зображення об'єкта, маючи перевагу прозорості в одному із спектральних діапазонів. Наявність тепловізора та надчутливої камери у складі комплексу дозволяє бути йому ефективним навіть у повній темряві. У кожному даному випадку підсумкова дальність дії одного комплексу залежатиме від рельєфу місцевості та висоти установки оптичного блоку над землею.

Досягнення великих успіхів у галузі машинного навчання та штучного інтелекту дозволило на порядок збільшити продуктивність процесів, пов'язаних з обробкою великого масиву даних. У випадку виявлення вогнищ природних пожеж, мова йде про обробку та аналіз великої кількості зображень в одиницю часу. Розробникам комплексу вдалося реалізувати унікальний алгоритм обробки зображень, що дозволяє розпізнавати контури диму на зображеннях за будь-якої погоди та незалежно від часу доби. У пошуках кращої картини штучний інтелект комплексу аналізує до 6 різних кадрів з 4 каналів (рисунок 2.10) [26]:

- 1 кадр з монохромної надчутливої денної камери;
- 1 кадр з тепловізора NIR діапазону;
- 1 кадр - зі звичайного тепловізора (опціонально);
- 3 кадри з RGB денної камери.

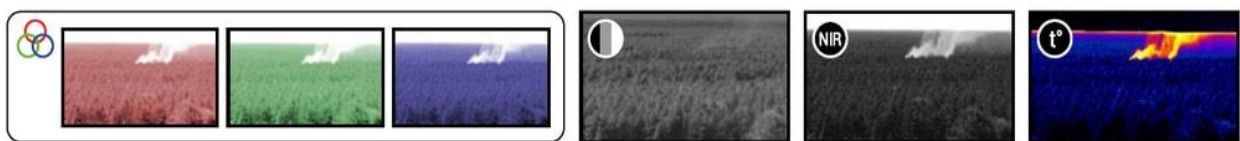


Рисунок 2.10 – Аналіз зображення за допомогою штучного інтелекту

Всі камери комплексу працюють із частотою 50 кадрів за секунду, таким чином, штучний інтелект комплексу сумарно обробляє до 300 кадрів за секунду у пошуках диму. Таке рішення дозволяє автоматично, в режимі 24/7 вирішувати завдання моніторингу пожеж на території ~1 000 000 га, будь-якої погоди, вдень та вночі (рисунок 2.11).

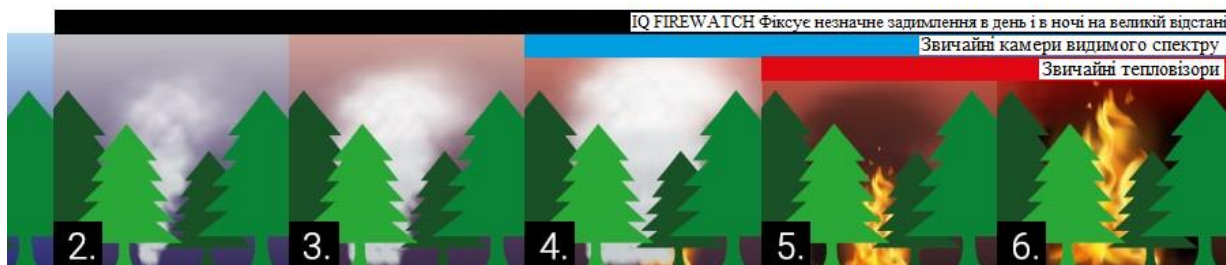


Рисунок 2.11 – Порівняльний аналіз зображення різними системами

Технічні особливості комплексу IQ FireWatch включають ряд інноваційних рішень, що дозволяють з високою ефективністю виявляти перші признаки джерел загорань у лісових масивах.

Для функціонування системи необхідно забезпечити швидкість передачі даних не менше 1 Гб/с на ділянці від ОП до БПС та щонайменше 1 Мб/с ділянці від БПС до АРМ. Рекомендуємо використовувати оптоволокну на ділянці від ОП до БПС для забезпечення високошвидкісного надійного з'єднання. Світовий досвід використання IQ FireWatch до змісту близько 350 систем IQ FireWatch працюють у всьому світі. Комплекси IQ FireWatch охороняють території від пожеж у Німеччині, Іспанії, Португалії, США та ще 8 країнах. IQ FireWatch день за днем захищає понад 6 мільйонів гектарів землі на чотирьох континентах по всьому світу. Будь то горбисті або рівнинні ліси, промислові об'єкти або житлові квартали, оточені лісами, система IQ FireWatch може використовуватися в різних місцевих умовах, про що свідчать наступні приклади. Впоратися з негативними факторами, що впливають на прозорість атмосфери, може лише мультиспектральна оптична система, яка здатна вести спостереження у різних спектральних діапазонах одночасно. У цьому випадку, хоч би якою «поганою» була атмосфера,

комплекс побачить дим в одній або кількох зі своїх камер. Далі за роботу береться штучний інтелект, вибираючи найкраще з отриманих зображень.

Лісові пожежі - це вирішувана проблема. Впровадження автоматизованої системи раннього попередження пожеж IQ FireWatch дозволить не лише врятувати життя людей, будинки та ліси, а й майно підприємств. FireWatch перевершує будь-який традиційний метод або технологію раннього виявлення лісових пожеж, включаючи людей з брандспойтами, відеоспостереження, спектроскопію, супутник та теплове інфрачервоне випромінювання.

3. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ КОМПОНЕНТІВ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ

3.1 Принципи оптичного методу автоматизованого детектування лісових пожеж

Перед тим, як перейти до суті запропонованого методу, слід виявити обмеження класичного відеомоніторингу. Пошук методів моніторингу у разі потреби контролю великих територій площею тисячі і сотні тисяч гектарів на сьогоднішній день є досить актуальним. Слід зазначити, що ці цифри є найближчими до реальності – розгортання системи відеомоніторингу для ділянки лісового масиву площею кілька сотень гектарів, просто недоцільно. Нарощування штату спеціально навчених операторів є свідомо тупиковим шляхом. Адже, як відомо, слабким місцем будь-якої системи відеоспостереження є оператор, ефективність роботи якого зменшується зі зростанням кількості відеокамер, довірених йому контролю. Крім того, оператору властива стомлюваність через необхідність контролю за одноманітними сценами, що слабо змінюються, та інші властиві людині недоліки (можливість відсутності на робочому місці в потрібний момент тощо).

Таким чином, першим кроком до побудови ефективної системи моніторингу лісових масивів має бути мінімізація впливу людського фактора за допомогою автоматизації обробки потоків відеоінформації, що надходить із відеокамер. Інакше кажучи, необхідний алгоритм оптичного виявлення ознак займання.

Перед тим, як перейти до цікавішого завдання вибору оптимального розміщення групи вишок у квадраті заданої сторони, виведемо формули розрахунку ефективного радіусу огляду системи. Постараємося визначити співвідношення між параметрами відеокамери та вежі.

Виходитимемо з припущення, що нам необхідно достовірно виявити вогнище займання площею від 100 м². Припускаючи, що форма вогнища близька до кола, отримуємо діаметр вогнища трохи більше 11 м. Алгоритми виявлення ознак займання, дозволяють з високим ступенем достовірності визначати загоряння за його шириною 15% від ширини кадру.

Відомо, що між розмірами матриці та фізичними розмірами зони спостереження існують такі відношення [26, 27]:

$$\frac{f}{w} = \frac{L}{W}, \quad \frac{f}{h} = \frac{L}{H},$$

де f - фокусна відстань об'єктива (мм), L - відстань до зони контролю (м), w, h - ширина та висота чутливого елемента камери (мм), W, H - ширина та висота зони контролю (м.м).

В результаті отримуємо:

$$L = \frac{f \cdot W}{w}, \quad L = \frac{f \cdot H}{h}.$$

З отриманих формул видно, що необхідно шукати компроміс між максимальним кутом огляду (досягається при максимальному H та мінімальному f) та максимальною довжиною зони контролю (навпаки, досягається при максимальному f). Також необхідно враховувати, що камера буде встановлена під деяким кутом α до горизонту, що залежить від висоти спостережної вежі над рівнем лісу (рисунок 3.1).

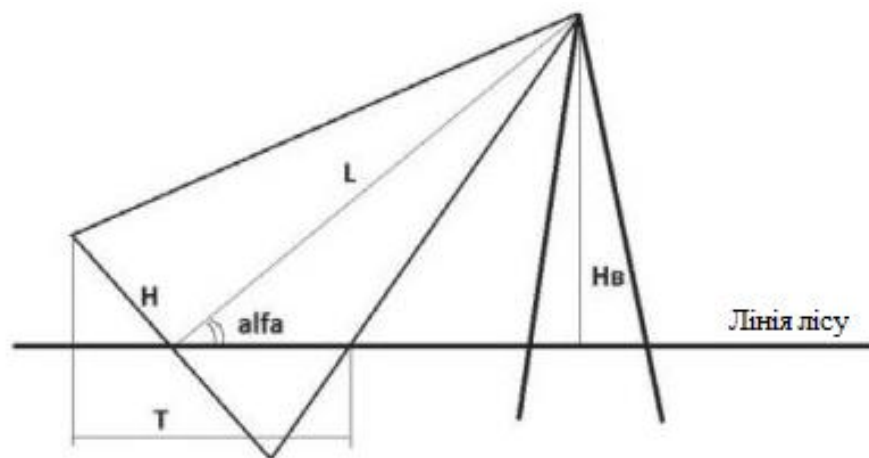


Рисунок 3.1 - Зона контролю камери під час її встановлення на спостережній вищці

Отже, варіюючи вказаними параметрами і виконуючи елементарні геометричні розрахунки, можна досягти максимальної протяжності зони контролю за відомих обмежень роздільної здатності матриці.

Однією з непрстих проблем, з якою можна зіткнутися під час проектування розподіленої системи спостережних вишок, є завдання оптимального розміщення заданого числа вишок на заданій площі.

Розглядаючи для прикладу наступний складний випадок. Припустимо, є квадрат лісового масиву зі стороною a , на якому необхідно розмістити N спостережних вишок, причому в загальному випадку ефективний радіус огляду кожної вежі може змінюватись в деяких межах. Потрібно досягти максимально можливої площі покриття огляду камер з спостережних вишок. При цьому вишки повинні залишатися всередині обмеженої території лісового масиву. Фактично, щоб досягти максимальної площі покриття, необхідно мінімізувати площі ділянок перекриття зон дії вишок, які обчислюються як перетин пар кіл. Функція перетину площ кіл є нелінійною, а розміщення спостережних вишок обмежено квадратом певної сторони, тому проблема зводиться до вирішення завдання нелінійного програмування.

Моделювання проведено за допомогою програмно-математичних засобів MATLAB, використовуючи набір засобів Optimization Toolbox. На рисунку 3.2 наведено нульову ітерацію процесу оптимізації положення 15 об'єктів, координати обрані випадковим чином. Кожна вежа позначена колом синього кольору з номером у центрі, ділянка лісового масиву обмежена червоним кольором. Звернути увагу потрібно на те, що зони покриття більшості вишок перекриваються, деякі з них виходять за межі допустимої території. У процесі оптимізації варіюватимемо значення пари координат вежі всередині обмеженої області, домагаючись максимальної площі покриття. Так як у аналізованому прикладі 15 вишок, маємо 30 змінних для оптимізації [27].

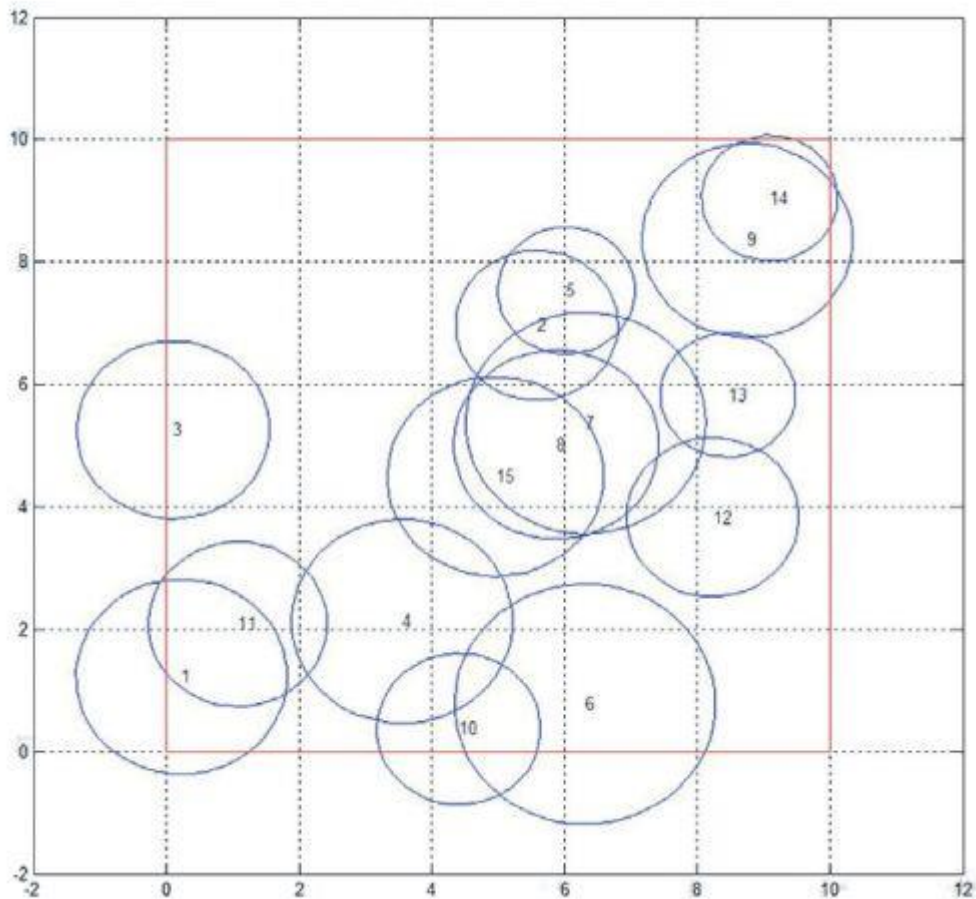


Рисунок 3.2 - Нульова ітерація процесу оптимізації положення 15 об'єктів

Для вирішення задачі будемо використовувати нелінійний вирішувач, здатний працювати з нелійними функціями (мінімум площі перетину) у заданих обмеженнях (обмежена територія):

$$\min_x f(x) \text{ such that } \begin{cases} c(x) \leq 0, \\ ceq(x) = 0, \\ A \cdot x \leq b, \\ Aeq \cdot x = beq, \\ lb \leq x \leq ub, \end{cases}$$

де x , b , beq , lb та ub — вектори, A та Aeq — матриці, $c(x)$ і $ceq(x)$ - функції, що повертають вектори, $f(x)$ - функція, що повертає скаляр, $f(x)$, $c(x)$ та $ceq(x)$ можуть бути нелійними функціями [28].

Вказавши цільову функцію, обмеження, відправну точку та будь-які значення, необхідні цільовій функції, не рівні значення за замовчуванням. Задавши допуски для стандартного алгоритму Левенберга-Марквардта,

виведені результати, отримані на кожній новій ітерації в командному рядку, що представлено на рисунку 3.3.

Iter	F-count	f(x)	Max constraint	Line search steplength	Directional derivative	First-order optimality	Procedure
0	31	45.488	0				
1	62	45.407	0	1	-10.3	6.76	
2	93	32.4829	0	1	-8.29	5.62	
3	124	22.3739	0	1	-7.49	4.55	
4	156	19.8361	0	0.5	-5.89	3.33	
5	189	18.1651	0	0.25	-4.17	2.68	
6	221	16.9597	0	0.5	-3.49	2.62	
7	253	14.6986	0	0.5	-4.12	2.31	
8	285	13.5962	0	0.5	-3.6	2.03	
9	318	13.1407	0	0.25	-2.6	1.31	
10	349	12.6694	0	1	-1.95	1.49	
11	381	12.6191	0	0.5	-1.64	1.39	
12	412	12.5009	0	1	-1.82	1.22	
13	444	12.1268	0	0.5	-1.69	0.918	
14	476	11.9773	0	0.5	-1.1	0.736	
15	508	11.9579	0	0.5	-1.05	0.951	
16	539	11.9513	0	1	-0.848	0.731	
17	570	11.8703	0	1	-0.847	0.822	
18	601	11.8562	0	1	-0.742	0.384	
19	632	11.8373	0	1	-0.482	0.496	
20	664	11.8183	0	0.5	-0.431	0.358	
21	696	11.8027	0	0.5	-0.427	0.208	
22	728	11.7992	0	0.5	-0.279	0.14	
23	759	11.7981	0	1	-0.219	0.239	
24	790	11.7972	0	1	-0.198	0.0638	
25	821	11.7966	0	1	-0.0714	0.0542	
26	852	11.7963	0	1	-0.0515	0.0209	
27	883	11.7962	0	1	-0.0208	0.0469	Hessian modified

Рисунок 3.3 - Результати ітераційного розв'язання задачі

Результат представлений у графічному вигляді деяких проміжних ітерацій (рисунок 3.4). Перші три зображення відповідають раннім ітераціям, решта – проміжній та кінцевій.

В кінцевому результаті представлено масив пар координат (x, y) оптимально розміщених спостережних вишок системи моніторингу пожежної обстановки.

Реальну ефективність описаної системи детектування може підтвердити лише досвід експлуатації низки таких систем. Проте важливим моментом є математичне моделювання поведінки розподіленої системи в ситуації виникнення одного або декількох вогнищ займання. Створення моделі навіть із великою кількістю припущень може дозволити виявити ряд вузьких місць системи та усунути їх перед введенням комплексу в експлуатацію. Авторами була розвинена теорія в галузі прикладної математики, пов'язана з моделюванням складних динамічних систем. Модель є продовженням класичного клітинного автомата та визначена на сітці з L_d

осередками, де L – сторони області, а d – її розмірність. Кожен осередок має три стани – порожньо, дерево, вогонь. Поведінка клітинного «лісу» повністю описується набором кількох правил, які визначають закони виникнення вогнищ займання і поширення вогню.

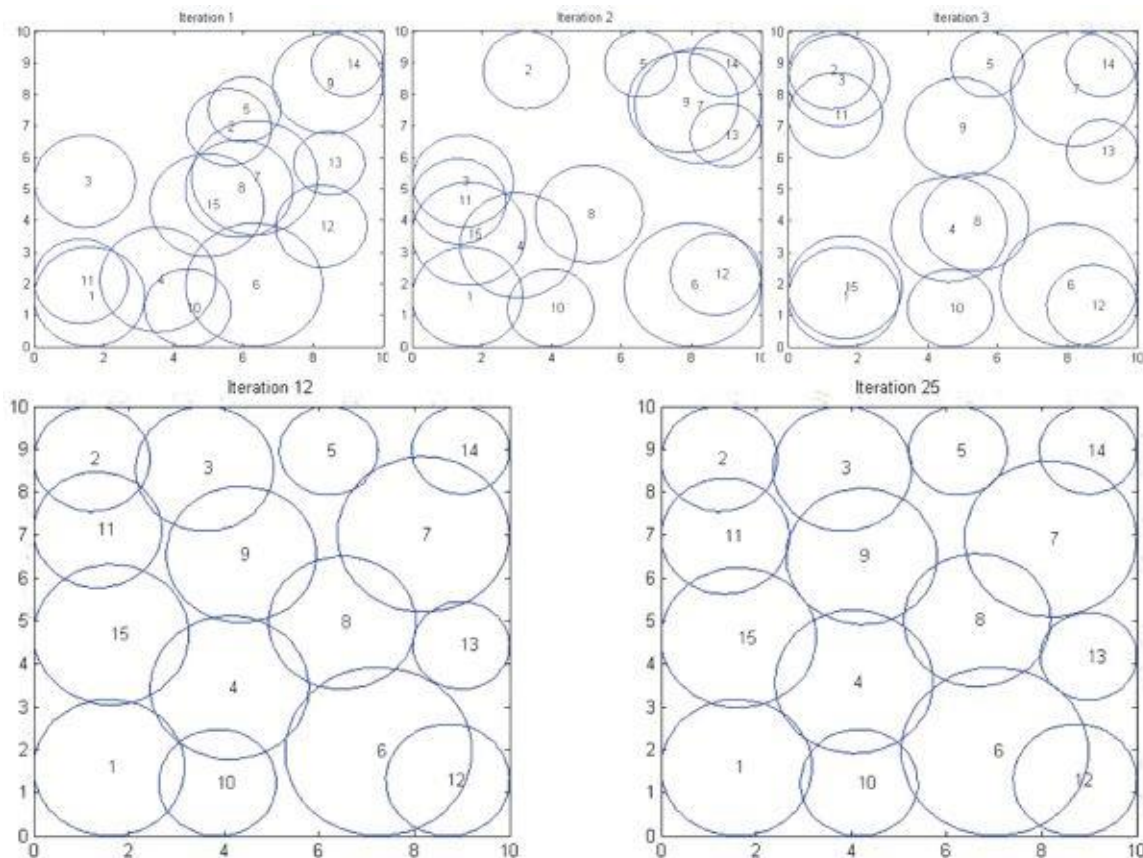


Рисунок 3.4 - Результати деяких проміжних ітерацій

Щоб не перевантажувати складними математичними викладками, наведено простіший приклад – модель Дросселя і Швабла, визначену чотирма умовами, що одночасно виконуються [29]:

- палаючий осередок перетворюється на порожній осередок;
- дерево спалахує, якщо горить принаймні одне сусідне;
- дерево спалахує з ймовірністю f , навіть якщо сусідні не горять;
- порожній осередок перетворюється на дерево ймовірністю p .

Основним параметром такої моделі є відношення:

$$\frac{p}{f}$$

визначальна середня кількість не охоплених вогнем дерев між двома пожежами. Для того, щоб модель мала фізичний зміст і її можна було використовувати, повинні виконуватися такі умови для кластерів (кластер – когерентна множина осередків, що знаходяться в однаковому стані) [30]:

$$f \ll p \ll T_{s \max}.$$

де $T_{s \max}$ – час вигорання найбільшого кластеру.

Перша умова $f \ll p$ дозволяє великим структурам розвиватися, тоді як друга умова – $p \ll T_{s \max}$ – дозволяє деревам з'являтися поблизу палаючого кластера.

Цінність описаних вище моделей полягає в тому, що вони можуть бути покладені в основу методик відпрацювання та калібрування поведінки розподіленої групи пожежних вишок, тим самим суттєво підвищити готовність системи до реальних випадків виникнення пожеж.

Описаний вище підхід до виявлення лісових пожеж може успішно застосовуватися для контролю лісових масивів будь-якої протяжності і виявлення вогнищ займання на ранній стадії. Але, крім систем раннього виявлення лісових пожеж, не менш важливим є питання розробки автоматизованих систем оперативного управління пожежними підрозділами, зокрема модернізації системи зв'язку при гасінні пожеж.

3.2 Реалізація методу визначення та локалізації початкових загорань в умовах погіршеної освітленості по візуальних даних

Пожежі мають кілька стадій, а саме, початкова фаза (поява диму), фаза росту (поява полум'я), фаза повного зростання (стійке полум'я, що поширюється) полум'я, що супроводжується великими клубами диму сіро-чорного кольору), фаза згасання (зменшення обсягів полум'я та диму) та кінцева фаза (завершення пожежі). При цьому можливість детектування пожежі на ранніх стадіях з метою запобігання людським, матеріальним та екологічним втратам є важливим практичним завданням. Йдеться про пожежі на відкритих просторах, коли сенсори аналізу продуктів горіння марні в силу

наявності метеорологічних чинників Ранні фази пожежі, як правило, пов'язані з появою диму, тому традиційний підхід спрямований на виявлення диму з малими значеннями помилок I та II роду. За ділянками, схожими на дим, проводиться спостереження протягом малого часового інтервалу. Поява полум'я є незаперечною ознакою фази зростання пожежі та необхідності прийняття управлінських та організаційних рішень. Системи візуального виявлення пожеж включають чотири стадії: вилучення регіонів-кандидатів, схожих на дим/полум'я, вилучення просторово-часових ознак, розпізнавання (дим/не дим, полум'я/не полум'я) та верифікація, що мінімізує помилкові тривоги.

Дим, як і полум'я, є динамічними текстурами, причому, дим має велику міру поширення у навколишньому середовищі. Динамічні текстури мають просторові та тимчасові ознаки. Доцільно проводити аналіз кадрів на наявність диму, спочатку використовуючи тимчасові ознаки – ознаки руху. Дим за своєю природою є напівпрозорою структурою, що динамічно змінює свою форму. На початку пожежі дим має відтінки від білого до темно-сірого кольору, тому зазвичай шукають динамічні текстури сірого кольору. Додатковими ознаками служать фрактальність та хаотичне мерехтіння країв, зумовлене фізичною природою початкової фази пожежі.

Метод відповідності блоків є простим, швидким та відносно надійним способом знаходження руху у сцені. Він заснований на зіставленні центрального блоку (зображення розділене на блоки, що не перетинаються) з вісьмома сусідніми блоками. При цьому мінімізується функціонал помилки $e(\cdot)$ відповідно до обраної метрики: сума абсолютних різниць (Sum of Absolute Differences, SAD), сума квадратів різниць (Sum of Squared Differences, SSD) або середньо-квадратична різниця (Mean of Squared Differences, MSD) відповідно. Експерименти показали, що можна вибирати різні значення розмірів блоків для ближніх та далеких сцен (рисунк 3.5) [31].



Рисунок 3.5 – Кадри відеопослідовності кадр 116: а) вихідний кадр відеопослідовності під номером 116; б) результати детектування з розміром блоку 8 пікселів (кадр 116), в) результати детектування з розміром блоку 15 пікселів (кадр 82); г) результати детектування з розміром блоку 30 пікселів (кадр 88).

Для знаходження «сірого» руху можна скористатися нормалізованим RGB простором:

$$r = \frac{R}{R+G+B}, \quad g = \frac{G}{R+G+B}, \quad b = \frac{B}{R+G+B},$$

де $r+g+b=1$.

Нормалізований RGB-простір не погіршує конфігурацію rgb-компонентів і в водночас дозволяє відрізнити сірий рух від руху інших об'єктів. Приблизно такий же результат сегментації можна отримати, перейшовши з RGB-простору YUV-простір і аналізуючи компоненту Y. Для розрахунку турбулентності використовується емпірична формула [32]:

$$\Theta(t) = \frac{Pr(t)}{2\sqrt{\pi A(t)}},$$

де $B(t)$ – периметр області диму, $A(t)$ – її площа.

Таким чином, чим більше значення ставлення периметра до площі, то вище турбулентність (фрактальність) досліджуваної області. Іноді відбувається хаотична заміна яскравості пікселів на краях задимленої області. Мерехтіння вважається не постійним процесом, проте його можна аналізувати як додаткову ознаку.

У даному розділі було досліджено різні параметри алгоритму виділення локальних регіонів-кандидатів, а саме розмір блоку для розрахунку

міжкадрової різниці $Blk = \{8, 15, 30\}$ пікселів, значення порога кольору $T = \{10, 15, 20, 25\}$ задається для виділення серед рухомих блоків кандидатів кольору диму, параметр $Rate = \{1, 2, 3\}$ показує номер кадру, який слід враховувати для розрахунку руху щодо поточного кадру. На рисунках 3.6-3.8 наведено приклади виявлення ближнього диму, дальнього диму та відеопослідовності без диму відповідно.

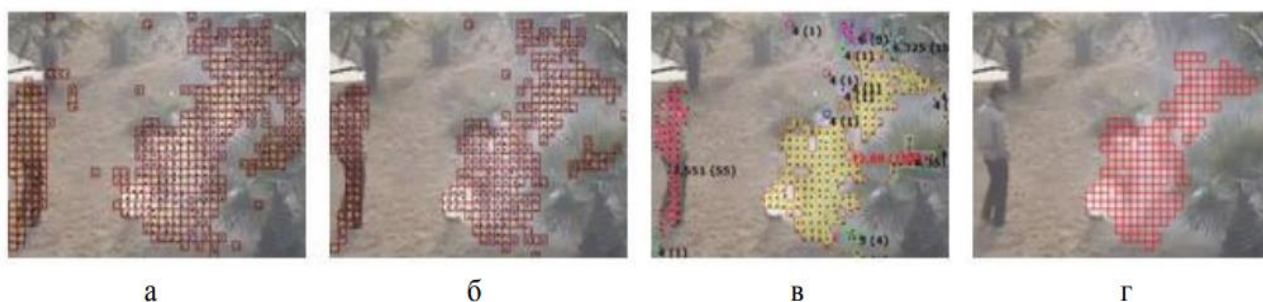


Рисунок 3.6 - Етапи виділення ближнього диму за відеопослідовністю Video smoke detection /cottonrope (кадр 294) з параметрами алгоритму: $Blk=8$, $T=15$, $Rate=1$: а) рух у кадрі, б) сіре рух у кадрі; в) розрахунок турбулентності; г) результат роботи алгоритму

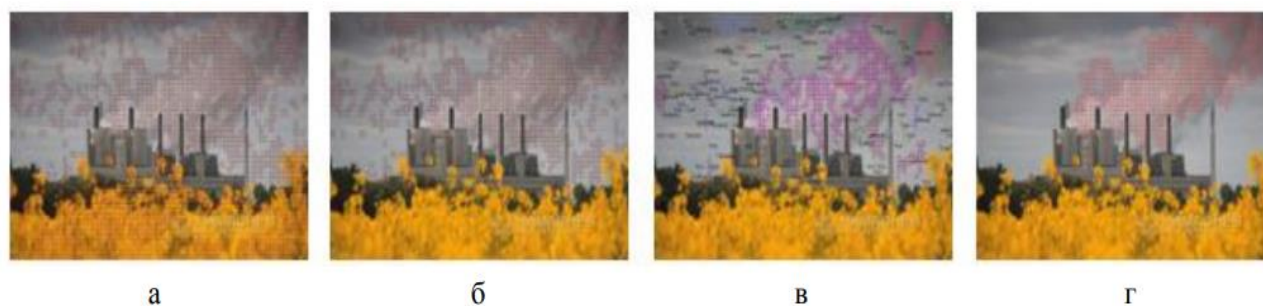


Рисунок 3.7 - . Етапи виділення дальнього диму за відеопослідовністю Youtube/Factory_13 (кадр 2274) з параметрами алгоритму: $Blk = 15$, $T = 25$, $Rate = 3$: а) весь рух у кадрі; б) сіре рух у кадрі; в) розрахунок турбулентності; г) результат роботи алгоритму.



Рисунок 3.8 - Етапи виділення диму за відеопослідовністю без диму Dyntex/648ab10 (кадр 1) з параметрами алгоритму: Blk = 8, T = 20, Rate = 1: а) весь рух у кадрі; б) сіре рух у кадрі; розрахунок турбулентності; г) результат роботи алгоритму.

Виявлення полум'я, полум'я також характеризується просторово-часовими ознаками, проте ознаки руху відіграють менш істотну роль порівняно з ознаками руху диму. Для виявлення полум'я доцільно аналізувати задимлені ділянки з основною просторовою ознакою – кольором. У низці робіт аналізуються відтінки червоного кольору залежно від об'єктів горіння. Відтінки червоного кольору доцільно визначати переходів з RGB-простору в HSI-просторі (Hue, Saturation, Intensity) компонент інтенсивності Intensity виходячи з наступних умов [33]:

$$I = \frac{1}{3}(R + G + B),$$

$$S = 1 - \frac{3}{(R + G + B)} \min(R, G, B),$$

$$H = \begin{cases} 0 & \text{если } B \leq G \\ 360 - \theta & \text{если } B > G \end{cases},$$

$$\theta = \cos^{-1} \left\{ \frac{0,5((R - G) + (R - B))}{\sqrt{((R - G)^2 + (R - B)(G - B))}} \right\},$$

де H - відтінок, S - насиченість, I - інтенсивність, R, G, B - червоний, зелений, синій моделі RGB.

Полум'я має турбулентні властивості та властивість мерехтіння на частоті 10 Гц. Для оцінки руху вогню метод зіставлення блоків може виявитися недостатнім з меншою мірою поширення порівняно з поширенням диму. У таких випадках доцільно використовувати метод оптичного потоку.

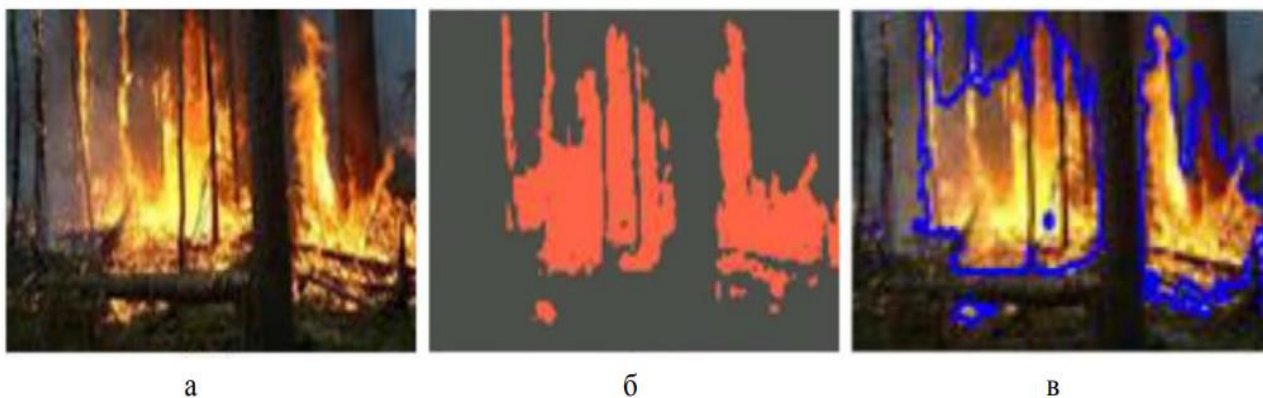


Рисунок 3.9 - Виявлення полум'я: а) вихідне зображення набору Ultimate Chase. Fire Stick Video; б) сегментація за кольором; в) знаходження меж полум'я.

Вирівнювання освітленості це не від'ємний етап алгоритму визначення диму на місцевості. Пожежі виникають у будь-який час доби, проте відеоспостереження, засновані на IP-камерах, здатне передавати зображення у світлий час доби та у вечірній час (знижена освітленість). В останньому випадку потрібна спеціальна обробка відеопослідовності, що вирівнює освітлення. Класичним підходом є використання алгоритму Retinex, що імітує візуальну систему людини, яка стискає динамічний діапазон зображення зі збереженням (збільшенням) локального розмаїття в погано та яскраво освітлених регіонах.

Класичний багатовимірний MSR-алгоритм (Multi-Scale Retinex) є виваженим сумою одновимірних SSR-алгоритмів (Single-Scale Retinex) для різних масштабів. Одновимірна вихідна функція і-го колірної каналу $R_i(x, y, \sigma)$ обчислюється так:

$$R_i(x, y, \sigma) = \log\{I_i(x, y)\} - \log\{F(x, y, \sigma) * I_i(x, y)\},$$

де $I_i(x, y)$ – вхідна функція і-го колірної каналу за координатами x та y ; σ – масштабний коефіцієнт; знак «*» означає згортку функцій; $F(x, y, \sigma)$ – гауссіан, який визначається як:

$$F(x, y, \sigma) = K e^{-(x^2+y^2)/\sigma^2},$$

при цьому коефіцієнт K вибирається таким чином, щоб виконувалася умова

$$\iint_{\Omega_{x,y}} F(x, y, \sigma) dx dy = 1,$$

де $\Omega_{x,y}$ – множина пікселів, що належать всьому зображенню.

Тоді багатовимірна вихідна функція i -го кольору $R_{Mi}(x, y, w, \sigma)$ визначається як виважена сума вихідних функцій по трьох каналах

$$R_{M_i}(x, y, w, \sigma) = \sum_{n=1}^N w_n R_i(x, y, \sigma_n),$$

де $w=(w_1, w_2, \dots, w_m)$, $m=1, 2, \dots, M$ – ваговий вектор одновимірних вихідних функцій i -го колірною каналу $R_i(x, y, \sigma)$; $\sigma=(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n)$, $n=1, 2, \dots, N$ – вектор

масштабів одновимірних вихідних функцій. При цьому $\sum_{n=1}^N w_n = 1$. Розмірність вектора масштабів зазвичай вибирається не менше 3. В експериментах значення масштабів вибиралися рівними 15, 90, 180. Зазначимо, ваговий вектор w , як правило, має елементи з рівними значеннями [33, 34].

Проте класичний алгоритм MSR призводить до спотворення кольору зображення, так як значення кожної колірної складової пікселя замінюються відношенням її вихідного значення до середнього значення цієї колірної складової навколишніх пікселів. Додаткова обробка виконується відповідно до виразу:

$$R'_{M_i}(x, y, w, \sigma, b) = R_{M_i}(x, y, w, \sigma) * I'_i(x, y, b),$$

де $I'_i(x, y, b)$ – нормалізована яскравість, яка визначається за формулою:

$$I'_i(x, y, b) = \log \left(1 + c \frac{I_i(x, y)}{\sum_{i=1}^3 I_i(x, y)} \right),$$

де c - коефіцієнт, що вибирається з середини діапазону значень $[0 \dots 255]$, $c=100 \div 125$.

Зазначивши, що можливий принципово інший підхід до виявлення диму та полум'я в нічних умовах, а саме об'єднання даних від інфрачервоної та оптичної камер.

У таблиці 3.1 наведені максимальні, середні та мінімальні значення точності сегментації для відеопослідовностей з димом. Ці ж результати показано в графічному вигляді на рис. 34 для відеопослідовностей з дальнім димом, на рис. 35 для відеопослідовностей з ближнім димом.

Якість роботи алгоритму сегментації регіонів-кандидатів, схожих на дим, залежить від використання параметрів алгоритму. Наприклад, для відеопослідовності Ближній дим 8 найкращими параметрами алгоритму вказались розмір блоку 15 пікселів, поріг кольору 25, розрахунок руху через два кадри при радіусі пошуку блоку 5 пікселів. Для відеопослідовності Ближній дим 3 найкращими параметрами стали розмір блоку 15 пікселів, колірний поріг 15, пошук руху через один кадр при радіусі в 3 пікселі.

Розпізнавання та верифікація, розпізнавання диму та полум'я здійснюється окремо. При цьому вводяться дві категорії: дим/не дим та полум'я/не полум'я. Для подібних випадків можна використовувати машину опорних векторів, марківську модель, мережі глибокого навчання і тому подібне. У попередніх дослідженнях авторів були використані випадкові бустингові ліси для розпізнавання диму як основного фактора пожежі, що починається.

Верифікація виконувалася з використанням локальних бінарних шаблонів та їх модифікацій, показавши результати розпізнавання, близькі до 96-99% для густого диму при мінімальних помилках I та II роду 0,5% та 2,1% відповідно.

Запропонований метод раннього виявлення пожеж на відкритих місцевостях по відеопослідовностях. Спільний облік ознак диму та полум'я підвищує достовірність розпізнавання. Додатково запроваджується стадія верифікації, що дозволяє ухвалити остаточне рішення про наявність/відсутність пожежі.

У наступному обґрунтуванні пропонується більш реалістична динамічна модель зображення, фонового по відношенню до диму. Хоча при кожному новому циклі огляду камери встановлюються з високою точністю в попередні положення, зображення, що відповідають одній і тій же ділянці

лісового масиву, не є статичними: їх зміна відбувається внаслідок коливань дерев під дією вітру, мінливої освітленості та ін.

Таким чином, різницю двох зображень однієї і тієї ж ділянки лісового масиву, отриманих у різних циклах огляду, можна розглядати як двовимірний випадковий процес (випадкове поле). Характер цього поля, нестаціонарного у вертикальному напрямку, ілюструється графіками оцінок математичного очікування та середньоквадратичного відхилення, знайдених згідно виразам:

$$m_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N I_{i,j},$$

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (I_{i,j} - m_i)^2},$$

де $I_{i,j}$ - яскравість точки, що знаходиться в i -му рядку і j -му стовпці різничного зображення; N – кількість стовпців, i усереднюються у всьому наборі різничних зображень. Знайдені оцінки математичного очікування $m = \{m_i, i = \overline{1, N}\}$ і та середньоквадратичного відхилення $\sigma = \{\sigma_i, i = \overline{1, N}\}$, представлені у вигляді графіків на рисунку 3.10.

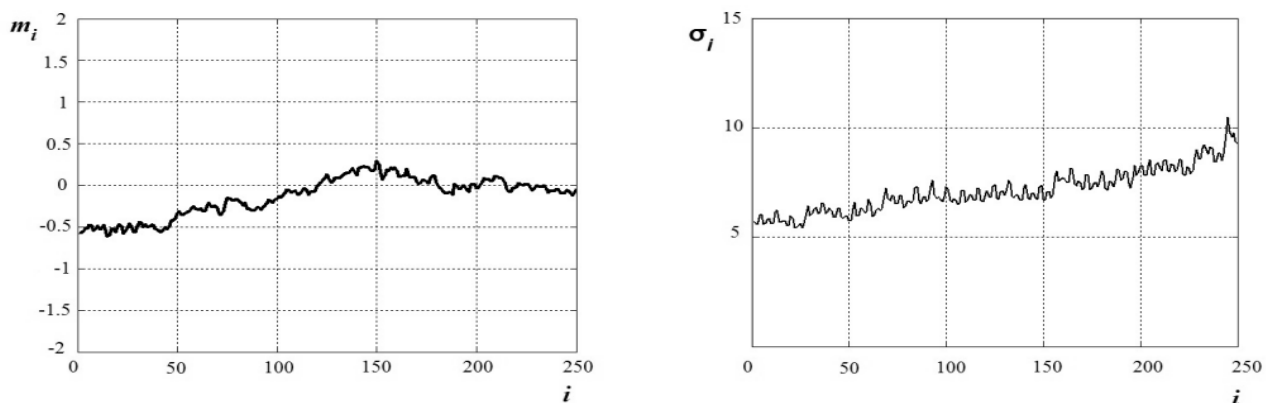


Рисунок 3.10 – Оцінка параметрів двохмірного випадкового поля

Аналіз графіків показує, що математичне очікування різницевого зображення близьке до нуля, це підтверджує, що фонові зображення у сусідніх кадрах відрізняються незначною мірою. Тенденція до збільшення середньоквадратичного відхилення під час руху вниз вздовж стовпців різницевих зображень пов'язаних з тим, що для об'єктів переднього плану

зміна яскравості під дією тих самих чинників є більш суттєвою при формуванні зображення, ніж для об'єктів, що розташовуються далі від камери.

Отримані оцінки використовуються для генерування послідовності реалізацій нестационарного псевдовипадкового поля, що сумується зі статичним зображенням лісу, внаслідок чого формується послідовність фонових зображень, що імітує рух фону. Потім на отримані фонові зображення накладаються послідовні зображення димової хмари, що розвивається, що формується на основі клітинної моделі. Оцінювання ймовірностей помилкової тривоги і правильного виявлення проводиться шляхом підрахунку відповідних подій у досить довгій серії дослідів.

За запропонованою методикою проведено порівняльну оцінку ефективності алгоритму контрастного виявлення, заснованого на аналізі динаміки зв'язкових компонентів порогових множин (ЗКПМ), та алгоритму класифікації точок зображення за яскравістю, використовує метод кластеризації "K-means".

Алгоритм кластеризації «K-means» є різновидом класифікатора по мінімальній відстані. Для реалізації цього методу необхідні апріорні відомості про кількість класів та про вихідні значення центрів кожного класу. Для вирішення задачі виявлення диму класифікація точок зображення виконується в одновимірному просторі ознак, за шкалою яскравості зображення. Розбиття точок зображення у разі наявності димової хмари на два класи (класи «фон» і «об'єкт») не дає прийнятних результатів виявлення, тому були додані проміжні класи з метою зниження внутрішньокласової дисперсії кожного класу за параметром яскравості. У цьому випадку як клас об'єкта виявлення приймається клас точок зображення з максимальним значенням яскравості його центру, що пов'язано з припущенням про підвищеної яскравості об'єкта інтересу (димової хмари). Збільшення кількості класів призводить до відповідного збільшення обсягу обчислень, а отже, часу роботи алгоритму виявлення методом «K-means». Однак велика обчислювальна ємність алгоритму компенсується простотою реалізації.

Наведено результати порівняльного аналізу ефективності зазначених алгоритмів за пропонованою методикою (таблиця 3.1). Кількість дослідів дорівнює 1120 кожного алгоритму. Слід зазначити, що для систем раннього виявлення лісових пожеж, крім вірогідності правильного виявлення, важливу роль відіграє такий параметр, як час виявлення: що швидше пожежа буде виявлена, тим більша ймовірність її успішного гасіння. У зв'язку з цим, крім ймовірнісних характеристик для кожного алгоритму, оцінювався час виявлення пожежі, що виражається значенням номера зображення, в якому відбулося виявлення, у послідовності згенерованих зображень.

Таблиця 3.1 – Оцінка характеристик ефективності

Алгоритм	Оцінка вірогідності правильного виявлення	Номер кадра
K-means	0,371	95
ЗКПМ	0,817	36

Оцінка ймовірності хибної тривоги в обох випадках дорівнює нулю. Таким чином, алгоритм, заснований на аналізі динаміки ЗКПМ, більш ефективний у порівнянні з алгоритмом, який використовує метод K-means.

На основі відпрацювання відеосистеми раннього виявлення лісових пожеж FireStation розроблено модернізовану клієнт-серверну архітектуру, в якій обробка інформації зосереджена на сервері мережі. У програмному забезпеченні системи реалізовано алгоритми попередньої обробки зображень і алгоритми виявлення димової хмари, як ознаки пожежі, що починається. Попередня обробка зображень спрямована на вирівнювання фону за яскравістю та компенсацію перспективних спотворень з метою забезпечення сприятливих умов для роботи алгоритму контрастного виявлення та алгоритму виявлення руху, заснованих на аналізі динаміки зв'язкових компонентів порогових множин. Для дослідження ефективності алгоритмів запропоновано методику на основі моделювання зображень димових хмар на динамічному фоні, що включає реальне зображення лісового масиву з

імітацією руху. За запропонованою методикою проведено оцінку ефективності алгоритму контрастного виявлення, заснованого на аналізі динаміки ЗКПМ, та алгоритму класифікації точок зображення за ознакою яскравості, що використовує метод кластеризації K-means.

ВИСНОВКИ

У представленій магістерській роботі розроблена автоматизована система екологічного моніторингу лісових господарств. У ході роботи проаналізовані системи моніторингу лісових господарств, що в свою чергу дозволило реалізувати ефективну систему детектування лісових пожеж.

Досліджено та проаналізовано автоматизовані системи екологічного моніторингу лісових господарств, що дало можливість вибрати оптимальний варіант для реалізації ефективної автоматизованої системи детектування осередків загорання і виявлення пожеж на ранніх стадіях розгортання.

Представлено функціональні можливості та основні завдання автоматизованої системи екологічного моніторингу на базі IP-камер та пристроїв проймо-передачі, що базуються на засобах стільникового зв'язку.

Обґрунтовано вибір пристроїв та технічних засобів для розробки автоматизованої системи моніторингу лісових пожеж. Реалізовано структуру та оптимізовано вибір способу моніторингу лісових господарств. Представлена архітектура відео системи, що дозволяє розпізнавати появу на зображенні осередків загорання, полум'я, ефективно допомагає локалізувати ділянки пожеж та оперативно боротися з вогнем.

Для забезпечення якісного функціонування моніторингу лісових пожеж відповідно встановленим нормам, здійснено обрання технічних пристроїв та вузлів автоматизації, які б відповідали вимогам і завданням, щодо якісного протікання технологічного процесу. В процесі вибору засобів автоматизації обґрунтовано застосування технічних пристроїв для представленого об'єкту керування, з урахуванням параметрів, що контролюються, а саме освітленості, погоднім умовам, затрат електроенергії, засобів контролю показів сенсорних блоків та ін. Обґрунтовано перспективи використання штучного інтелекту при обробці зображень автоматизованої системи моніторингу лісових пожеж.

Реалізований та обґрунтований оптичний метод автоматизованого детектування лісових пожеж на основі програмно-апаратних засобів мобільних пунктів спостереження (вишок стільникового зв'язку) та наземних диспетчерських пунктів прийняття та обробки даних.

Проведений аналіз технологічного процесу, як об'єкта керування та виявлення недоліків існуючих інформаційних алгоритмів та технічних пристроїв, що застосовуються при функціонуванні обладнання моніторингу лісових пожеж в системах екомоніторингу. Визначено контрольовані параметри технологічного процесу.

Розроблені архітектура та технологічні схеми автоматизованої системи екологічного моніторингу лісових пожеж в яку інтегровано представлені методи детекції місця загорання на території лісового господарства.

Розроблено метод визначення та локалізації початкових загорань в умовах погіршеної освітленості по візуальних даних, що свою чергу дало чітке представлення про роботу мікроконтролерної системи її ефективності роботи у складі автоматизованої системи екомоніторингу.

Промодельовано за допомогою математичного комплексу програмного забезпечення метод визначення та локалізації початкових загорань в умовах погіршеної освітленості по візуальних даних, що дало можливість більш надійно та ефективніше відобразити результати високошвидкісної обробки сигналів мікроконтролерним блоком обробки автоматизованої системи.

Запропонована автоматизована система забезпечує надійну, безперебійну та якісну роботу в процесі виявлення осередків загорання на площі лісового господарства, що дає можливість оперативне реагувати на лісові пожежі та сигналізувати про це в центри з надзвичайних ситуацій. Це в свою чергу дає мінімізувати витрати фізичної праці, що значно підвищує надійність роботи такої системи екологічного моніторингу.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Новаковський Б. А. Тульська Н.І. Аерокосмічні методи в географічних дослідженнях. Вид-во Московського університету М., 2006. - 430 с.
2. Методи моніторингу шкідників та хвороб лісу / За заг. ред. В.К. Тузова. - М.: ВНДЛІМ, 2004. - 200 с.
3. Митрофанова Н.А. Методи інвентаризації та моніторингу лісів: методичні вказівки для самостійної роботи магістрантів напряму підготовки 35.04.01 Лісова справа/Н.А. Митрофанова. - Ульяновськ: УЛГУ, 2017. - 27 с.
4. Potter, Kevin M.; Conkling, Barbara L., eds. 2019. Forest health monitoring: national status, trends, and analysis 2018. Gen. Tech. Rep. SRS-239. Asheville, NC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station. 168 p.
5. Санаєв, В.Г. Прискорений інноваційний розвиток технологій аерокосмічного моніторингу лісу засобами російської космічної системи ДЗЗ та виведення їх на лідируючі позиції у світі: вирішення проблеми / В.Г. Санаєв, І.М. Степанов, В.І. Запруднов, В.І. Панферов, Ю.С. Галкін, В.Г. Бурков // Вісник МДУЛ – лісовий вісник. – 2012. – № 4(87) – С. 38–45.
6. Райкунов, Г.Г. Стратегія розвитку космічного сегмента системи дистанційного зондування Землі Росії до 2030 р./Г.Г. Райкунов, Ф.М. Любченко, О.В. Карелін // Космонавтика та ракетобудування. ЦНДІМАШ. - 2012. - № 3 (68).
7. Райкунов, Г.Г. Вектор розвитку космічної системи дистанційного зондування землі на Росії / Г.Г. Райкунов, Ф.М. Любченко, О.В. Карелін // Аерокосмічний кур'єр. - № 6. - 2012.
8. Урлічіч, Ю.М. Про пріоритети практичної реалізації розвитку космічної системи дистанційного зондування Землі/Ю.М. Урлічіч, В.А. Селін; К.С. Ємельянов// Аерокосмічний кур'єр. - № 6 (78). – 2011.

9. Лопата, В.А., Рижков В.В., Вовк А.В., Улибишев Ю.П., Донцов Г.А., Співцов С.Ф. Перспективні технології виведуть моніторинг поверхні Землі з космосу на абсолютно новий рівень. // Геоматика. - №1. - 2013.

10. Санаєв, В.Г., Степанов І.М., Запруднов В.І., Панферів В.І., Третьяков А.Г., Манович В.М. Міжгалузевий об'єднаний національний дослідницький центр "Технології аерокосмічного моніторингу лісу" - інноваційна форма інтеграції науки, виробництва та освіти з метою прискореного розвитку технологій аерокосмічного моніторингу лісу // Вісник МДУЛ - лісовий вісник. - 2013. - № 2 (94).

11. Іпатьєв В.А. Ліс, Людина, Чорнобиль. Лісові екосистеми після аварії на Чорнобильській АЕС: стан, прогноз, реакція населення, шляхи реабілітації/під ред. В. А. Іпатьєва. - Гомель: Ін-т лісу НАН Білорусі, 1999. - 452 с.

12. Хотунцев, Ю. Л. Екологія та екологічна безпека: учн. посібник / Ю. Л. Хотунцев. - М.: Академія, 2004. - 480 с.

13. Глухів, В. В. Економічні основи екології: навч. допомога / В. В. Глухів, Т. Л. Некрасова. - СПб.: ПІТЕР, 2003. - 384 с.

14. Парфьонов, В. І. Радіоактивне забруднення рослинності Білорусі (у зв'язку з аварією на Чорнобильській АЕС) / В. І. Парфьонов, Б. І. Якушев. - Мінськ: Наука та техніка, 1995. – 582 с.

15. Романов, У. З. Охорона природи: підручник для середніх спеціальних учеб. закладів/В. С. Романов; за ред. А. Л. Підгайський. -Мінськ: Вища школа, 1986. - 247 с.

16. Новіков, Ю. В. Екологія, навколишнє середовище та людина: навч. посібник / Ю. В. Новіков. - М.: ФАІР-ПРЕС, 2000. - 317 с.

17. Родзін, В. І. Основи екологічного моніторингу (інженерні завдання раціонального природокористування): навч. посібник для інженерних вузів/В. І. Родзін, Г. В. Семенцов; за ред. Н. Г. Малишева. - Таганрог: ТРПІ, 1988. - 260 с.

18. Іпатов, Ю.А. Проектування розподіленої наземної системи моніторингу за лісовими пожежами/Ю.А. Іпатов, А.В. Кревецький, В.О. Шмакін // Кібернетика та програмування. – 2013. – № 2. – С. 20–28.

19. Кудрін, А.Ю. Сучасні методи виявлення та моніторингу лісових пожеж / А.Ю. Кудрін, Л.І. Запорожець, Ю.В. Підрізів //Технології громадянської безпеки. – 2006. –С. 66-67.

20. Багатоцільовий авіаційний комплекс моніторингу, попередження та захисту від стихійного лиха на базі безпілотного літального апарату «нарт» / М.Т. Абшаєв, А.М. Абшаєв, М.А. Анаєв, В.В. Соловійов, С.І. Шагін // Вісті Південного федерального університету. Технічні науки. – 2017. – С. 229-238.

21. Ханін, А. Принципи оптичного методу автоматичного детектування лісових пожеж / А. Ханін, Р. Чеботарьов // Алгоритм безпеки. – 2011. – № 1. – С. 76–80.

22. Шепелева, І.С. Відеомоніторинг – один зі способів виявлення лісових пожеж /І.С. Шепелева // Лісогосподарська інформація. – 2015. – № 4. – С. 46–50.

23. Шишалов, О.І. «Лісовий Дозор» – ефективна система раннього виявлення лісових пожеж/О.І. Шишалов, І.С. Шишалов, О.І. Пипіна // Лісовий бюлетень. - 2010. - № 1. - С. 21-26.

24. Gomez-Rodriguez F., Arrue B.C., Ollero A. Smoke monitoring and measurement using image processing: application to forest fires // Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering. – 2003. – Vol. 5094: Automatic Target Recognition. XIII. –P. 404–411. – doi: 10.1117/12.487050.

25. State of the art in vision-based fire and smoke detection / S. Verstockt, P. Lambert, R. van de Walle, B. Merci, B. Sette // 14th International Conference on Automatic Fire Detection, 8–10 September, 2009. – Duisburg, Germany: University of Duisburg-Essen, Department of Communication Systems, 2009. – Vol. 2. – P. 285–292.

26. Васюков В.Н., Подовинников А.Н., Васюков В.В. Программное обеспечение диспетчерского пункта видеосистемы обнаружения лесных пожаров // Сборник научных трудов НГТУ. – 2007. – № 3 (49). – P. 69–74.

27. Lindsay, Grace. (2020). Convolutional Neural Networks as a Model of the Visual System: Past, Present, and Future.

28. J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick and A. Farhadi, "You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection," 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Las Vegas, NV, 2016, pp. 779-788.

29. J. Redmon and A. Farhadi, "YOLO9000: Better, Faster, Stronger," 2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Honolulu, HI, 2017, pp. 6517-6525.

30. Qi X., Ebert J. A computer vision based method for fire detection in color videos // International journal of imaging and robotics. 2009. V. 2(S09), P. 22-34.

31. Toreyin B.U., Dedeoglu Y., Gudukbay U., Cetin A.E. Computer vision based method for real-time fire and flame detection // Pattern Recognition Letters. 2006. V. 27, no. 1, P. 49-58.

32. Wang S., Wang J., Wang S., He Y., Zou J., Duan B. A flame detection synthesis algorithm // Fire Technology. 2014. V. 50, 959-975.

33. State of the art in vision-based fire and smoke detection / S. Verstockt, P. Lambert, R. van de Walle, B. Merci, B. Sette // 14th International Conference on Automatic Fire Detection, 8–10 September, 2009. – Duisburg, Німеччина: University of Duisburg-Essen, Department of Communication Systems, 2009. - Vol. 2. - P. 285-292.

34. Васюков В.М., Подовінніков О.М., Васюков В.В. Програмне забезпечення диспетчерського пункту відеосистеми виявлення лісових пожеж // Збірник наукових наук праць НДТУ. - 2007. - № 3 (49). – P. 69–74.