

ГРИБАН Сергій

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"
email: remmarko2016@gmail.com

ЗАЄЦЬ Сергій

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"
<https://orcid.org/0000-0002-9954-1434>
email: zssvp0204@gmail.com

СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО МОНІТОРИНГУ ЛІСОВИХ УГІДЬ

У роботі розглядається стан лісових угідь, як один із ключових компонентів глобальної екосистеми, і їхній стан має істотний вплив на екологічну рівновагу планети. У даній роботі здійснено аналіз основних чинників, що впливають на стан лісових угідь, охарактеризовано завдані ними збитки, а також розглянуто можливості запобігання зазначеним впливам з метою їхнього послаблення або усунення. Крім того, запропоновано систему моніторингу лісових екосистем, призначену для оперативного виявлення деструктивних чинників та оцінки їхнього впливу.

Ключові слова: система автоматизованого моніторингу, лісові угіддя, фактори впливу, система попередження.

GRIBAN Serhii, ZAIETS Serhii

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

AUTOMATED FOREST LAND MONITORING SYSTEM

The work considers the state of forest lands as one of the key components of the global ecosystem, and their condition has a significant impact on the ecological balance of the planet, influencing biodiversity, climate regulation, and water cycles. Forests are vital carbon sinks, absorbing atmospheric carbon dioxide and mitigating climate change; their degradation or loss can transform them into carbon sources, exacerbating global warming. They harbor a vast majority of terrestrial biodiversity, providing habitats for countless species of flora and fauna, and their destruction leads to irreversible species loss and ecosystem disruption. Furthermore, forests play a crucial role in regulating hydrological systems, influencing rainfall patterns, preventing soil erosion, and ensuring water quality and availability for both human consumption and agricultural use.

This work analyzes the main factors affecting the state of forest lands, which can be broadly categorized into anthropogenic and natural drivers. Anthropogenic factors include deforestation for agriculture, unsustainable logging practices, urbanization, infrastructure development, and pollution. The conversion of forest land for cattle ranching and commodity crop cultivation remains a primary driver of deforestation globally. Poorly managed logging operations can lead to significant degradation, impacting forest structure and regeneration capacity. Natural factors, often exacerbated by climate change, encompass forest fires, pest infestations, diseases, and extreme weather events such as droughts, storms, and floods. Increased frequency and intensity of wildfires, often linked to a combination of human activity and climatic conditions, cause widespread destruction. Similarly, climate change can alter the distribution and virulence of native and invasive pests and pathogens, leading to significant tree mortality.

In addition, a forest ecosystem monitoring system is proposed, designed to promptly identify destructive factors and assess their impact, thereby enabling timely and targeted interventions. Such a system would integrate various technologies, including remote sensing (satellite imagery, LiDAR), geographic information systems (GIS), ground-based inventories, and citizen science. Remote sensing allows for large-scale and continuous monitoring of forest cover change, fire outbreaks, and indicators of forest health. GIS facilitates the analysis and visualization of spatial data to identify high-risk areas and prioritize management actions. Ground-based inventories provide detailed information on forest structure, species composition, and ecosystem health. Incorporating citizen science can enhance data collection and local engagement. This comprehensive monitoring system would provide early warnings of emerging threats, track the effectiveness of management interventions, and support adaptive management strategies to ensure the long-term health and resilience of forest ecosystems. The data generated is crucial for informing policy, guiding sustainable resource allocation, and fostering international cooperation in forest conservation.

Keywords: automated monitoring system, forest lands, impact factors, warning system.

Стаття надійшла до редакції / Received 16.04.2025

Прийнята до друку / Accepted 11.05.2025

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОКІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

Лісовий моніторинг виступає ключовим елементом забезпечення сталого розвитку лісового господарства України. Його об'єктом є увесь лісовий фонд держави незалежно від форм власності. Основною метою моніторингу є отримання актуальної, достовірної та оперативної інформації щодо стану та динаміки змін у лісових екосистемах, що забезпечує обґрунтованість управлінських рішень у галузі.

Цілі моніторингу:

- Інформування органів управління щодо змін у лісовому фонді.
- Сприяння ухваленню рішень для підтримки сталого лісочористування.

Джерела інформації:

- Державний облік лісового фонду.

- Дані лісового кадастру.
- Матеріали базового лісовпорядкування.
- Результати господарської діяльності у лісовій сфері.
- Матеріали спеціальних спостережень та обстежень.

Методи реалізації:

- Використання сучасних гео інформаційних та інформаційно-аналітичних систем.
- Інтеграція цифрових технологій збору, обробки та передачі даних.

Застосування результатів:

- Формування прогнозів розвитку ситуації в лісах.
- Планування заходів з охорони, відновлення та раціонального використання лісових ресурсів.
- Інформаційна інтеграція:

- Уніфікація та синхронізація з іншими інформаційними ресурсами у сфері лісового господарства.

Класифікація напрямів лісового моніторингу:

- Пожежний моніторинг: виявлення вогнищ займання, аналіз поширення пожеж, визначення зон ризику.

- Ресурсний моніторинг: кількісна та якісна оцінка лісових ресурсів.
- Лісопатологічний моніторинг: ідентифікація уражень, захворювань, вплив шкідників.
- Моніторинг господарської діяльності: оцінка ефективності лісокультурних і заготівельних заходів.

Основні показники моніторингу:

- Санітарний стан: рівень пошкоджень і хвороб.
- Патологічна оцінка: інтенсивність та типи уражень.
- Ресурсна характеристика: обсяг потенційно придатної для використання деревини.
- Економічна оцінка: вартісні характеристики ресурсів, витрати на їх відновлення.
- Екологічна оцінка: вплив на біо різноманіття та еко системні функції.

Інтеграція з екологічним моніторингом:

- Лісовий моніторинг функціонує як підсистема екологічного моніторингу, фіксуючи:
- Вплив природних (кліматичних, метеорологічних) і техногенних (вирубка, забруднення)

чинників.

- Взаємозв'язок між антропогенними та природними процесами в лісових екосистемах.

Функціональне призначення:

- Обґрунтування рішень щодо охорони лісів, заходів боротьби з шкідниками, ліквідації наслідків пожеж.

- Формування програм сталого лісокористування.
- Підтримання екологічної рівноваги на регіональному та національному рівнях.

АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

Інформаційні системи моніторингу лісових господарств (ІСМЛГ) являють собою програмно-апаратні комплекси, призначені для здійснення моніторингу лісових територій та оперативного виявлення лісових пожеж. Застосування таких систем сприяє зменшенню матеріальних та екологічних збитків у пожежонебезпечний період.

До складу ІСМЛГ входять відеокамери, встановлені на об'єктах телекомунікаційної інфраструктури, які забезпечують безперервне спостереження за лісовими масивами. У разі фіксації візуальних ознак займання (зокрема диму), система в автоматичному режимі визначає географічні координати джерела задимлення та передає відповідну інформацію до диспетчерського центру.

Реалізація таких функціональних можливостей забезпечує виявлення займання на ранній стадії, що дозволяє вжити своєчасних заходів реагування з метою локалізації та ліквідації пожежі [1–4].

Система моніторингу лісових господарств структурно поділяється на апаратну та програмну компоненти. Апаратна частина представлена сукупністю керованих сенсорних пристроїв, зокрема відеокамер, тепловізійних та інфрачервоних сенсорів, що забезпечують фіксацію параметрів середовища в реальному часі. Програмна частина реалізована у вигляді спеціалізованого програмного забезпечення, що дозволяє здійснювати безперервний моніторинг лісових територій, а також визначати просторові координати потенційних осередків загоряння.

Функціональні можливості системи охоплюють виявлення загорянь на перед пожежній стадії, що забезпечує запобігання виникненню надзвичайних ситуацій. Для розгортання системи використовується наявна інфраструктура операторів мобільного зв'язку (зокрема стільникові вежі, засоби зв'язку та відповідні технічні служби), що значно спрощує впровадження.

Завдяки модульній архітектурі система є масштабованою і адаптованою для використання як на обмежених територіях, так і в масштабах значних за площею лісових масивів. На рисунку 1 наведено загальну архітектуру системи моніторингу лісових господарств.

Програмно-апаратний комплекс забезпечує автоматизацію процесів виявлення потенційно небезпечних подій природного характеру, зокрема лісових пожеж, що сприяє зменшенню часу реагування аварійно-рятувальних служб та, відповідно, зниженню втрат.

У функціональному аспекті система здатна виявляти осередки займання з відстані до 10 км за умов розвитку пожежі на ранній стадії («вогнище»), а у разі охоплення території площею понад 10 га — з відстані до 40 км. Точність просторового наведення сенсорної системи становить 0,5 градуса, а середнє відхилення у визначенні координат джерела займання — ± 250 метрів. Середній час, необхідний для повного циклу спостереження однієї точки моніторингу, складає орієнтовно 10 хвилин.

Ключовими функціональними можливостями системи є автоматизація процесів моніторингу та управління режимами роботи апаратно-програмного комплексу, що забезпечує загальну оптимізацію функціонування та скорочення інтервалу часу між виявленням потенційної загрози і вжиттям заходів для її усунення. Управління сенсорними пристроями (зокрема камерами) здійснюється в автоматичному режимі через програмне забезпечення. Участь оператора обмежується спостереженням, тоді як ручне втручання ініціюється лише у разі спрацювання тривожного сигналу.

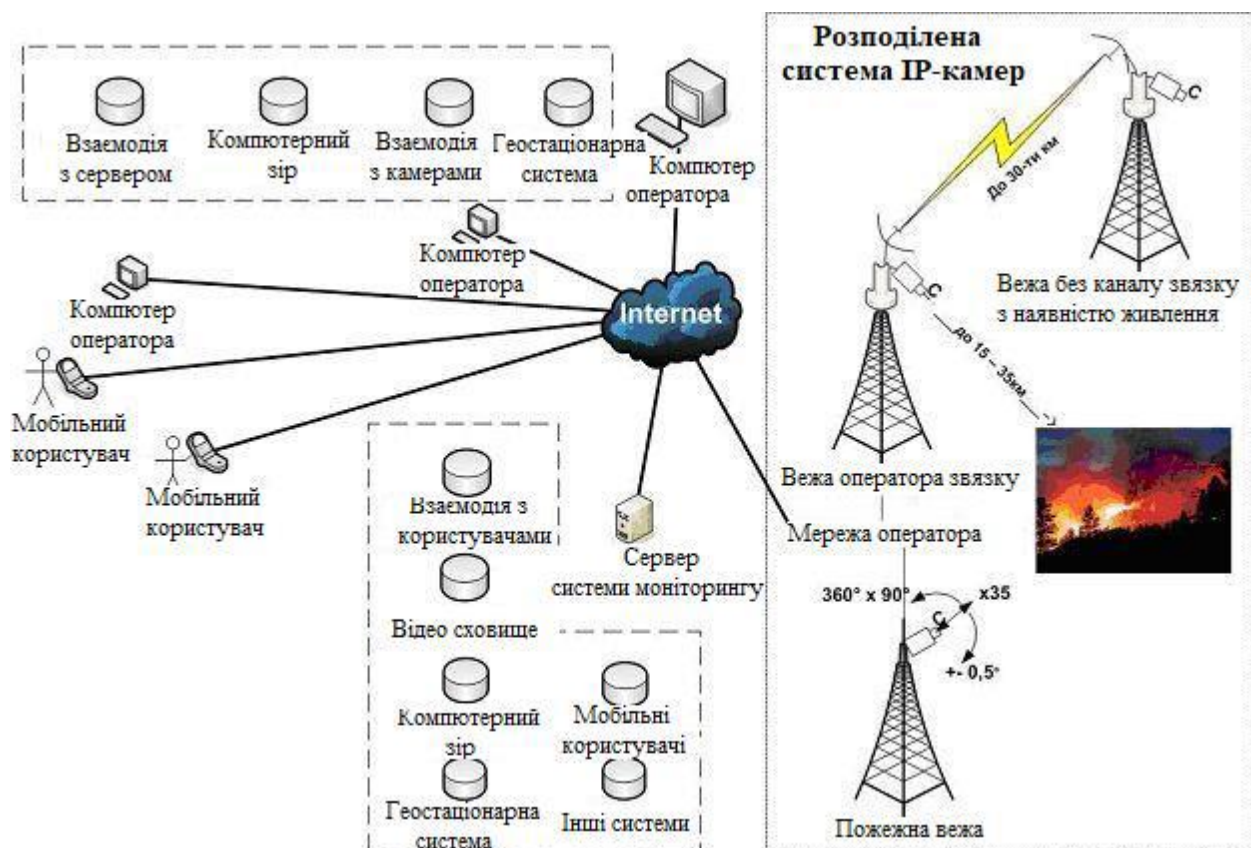


Рис. 1 Загальна архітектура системи моніторингу лісових господарств. [1]

Висока точність визначення географічних координат дозволяє оперативно локалізувати осередки загоряння та ідентифікувати основну зону поширення пожежі. Однією з ключових переваг автоматизованих систем моніторингу є інтеграція засобів відеоспостереження з електронними картографічними ресурсами. Функціонально система забезпечує прив'язку напрямку огляду відеокамер до азимутального положення відносно центрального сервера, що дозволяє точно орієнтувати засоби спостереження у просторі [5].

З огляду на наведені технічні й експлуатаційні характеристики, оптимальною конфігурацією побудови системи моніторингу лісових масивів є розміщення установок відеоспостереження (УВС) на спеціально обладнаних вежах або інших висотних інфраструктурних об'єктах. Такий підхід забезпечує високу оперативність виявлення лісових пожеж та достовірність зафіксованих даних.

Запропонована концепція реалізації системи передбачає використання надійних, високо функціональних IP-камер, що забезпечують ефективне виявлення джерел займання. Система відео

моніторингу й автоматизованого раннього виявлення пожеж реалізується у вигляді програмно-апаратного комплексу, який забезпечує автоматичне фіксування загорянь на початковій стадії та передачу сигналу тривоги оператору в режимі реального часу (див. рисунок 2).

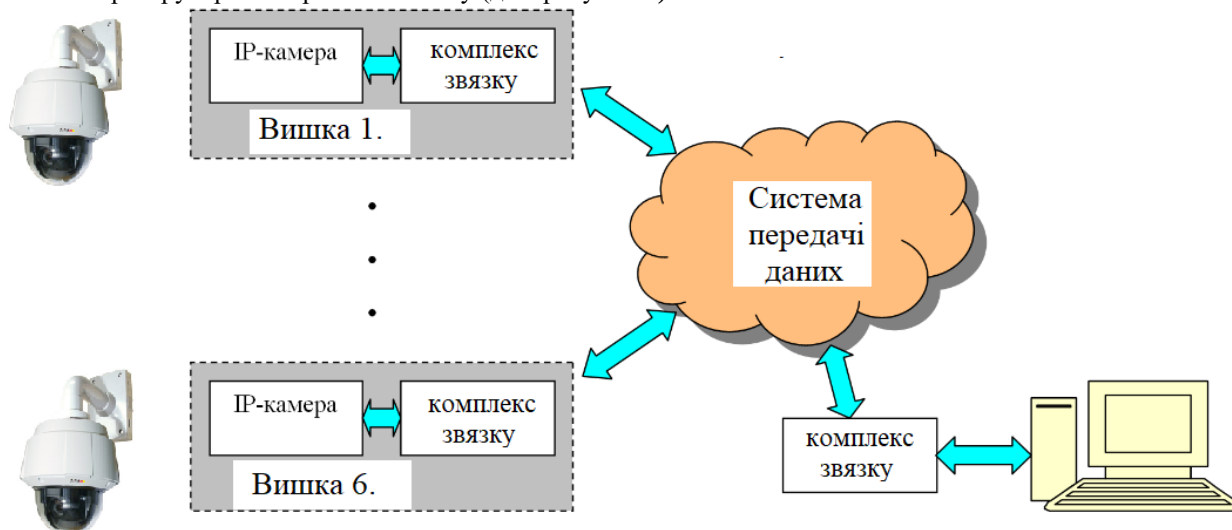


Рис. 2. Структура інформаційної системи моніторингу пожеж [1]

Система моніторингу функціонує за рахунок використання відеокамер, що здійснюють збір і обробку інформації про стан лісових масивів у режимі реального часу. Контролери керування положенням забезпечують визначення азимуту точки огляду відеокамери. Сенсори радіаційного контролю виконують вимірювання параметрів радіаційного фону та передають дані для подальшої обробки.

Уся інформація, що надходить від відеокамер, контролерів і сенсорів, агрегується на сервері з інсталюваним спеціалізованим програмним забезпеченням для автоматизованої обробки даних. У випадку виявлення візуальних ознак займання (димовий шлейф, полум'я) або зафіксованого перевищення допустимих значень радіаційного фону, система автоматично генерує сигнал тривоги та передає повідомлення відповідальним особам.

Система підтримує інтеграцію з різними типами електронних картографічних ресурсів, на яких позначено розташування відеокамер і сенсорів радіаційного контролю.

Подальша адаптація та модернізація подібних систем є доцільною для забезпечення комплексної пожежної та радіаційної безпеки в лісах, забруднених радіонуклідами. Це сприятиме оперативному виявленню пожеж на радіаційно небезпечних територіях, підвищенню протипожежної та екологічної стійкості лісових екосистем, а також зниженню пікових навантажень на персонал лісової галузі. Для цього необхідно забезпечити дистанційний відео контроль і безперервний моніторинг радіаційного фону з фіксацією змін під час пожеж, коли можливе вивільнення радіонуклідів у атмосферне повітря [6].

Технології моніторингу лісових угідь

Дим є первинною візуальною ознакою виникнення загоряння в природному середовищі. Цей індикатор є найбільш доступним для виявлення під час дистанційного спостереження за великомасштабними лісовими територіями, оскільки джерело займання часто візуально недоступне через крону дерев.

Максимальна ефективність спостереження досягається за умов високої прозорості атмосфери. Проте в реальних умовах атмосфера прозорість рідко відповідає ідеальним параметрам. Її рівень визначається сукупністю природних факторів, таких як температура повітря, добовий час, вологість, наявність атмосферних опадів, швидкість і напрям вітру тощо.

Однією з переваг системи моніторингу IQ FireWatch є використання технологій штучного інтелекту для автоматизованої обробки зображень. Застосування таких алгоритмів значно підвищує точність та оперативність виявлення ознак загоряння в умовах змінної прозорості атмосфери, що є критичним для раннього виявлення лісових пожеж [7].

Наявність туману та атмосферних опадів значно ускладнює ефективність роботи традиційних денних відеокамер і тепловізійних пристроїв середнього та далекого інфрачервоного (ІЧ) діапазону. За таких умов дальність огляду денних камер істотно зменшується, іноді до кількох десятків метрів, незалежно від оптичних характеристик об'єктива. Тепловізійні сенсори також демонструють зниження ефективності через поглинання ІЧ-випромінювання вологою атмосферою.

У складі комплексу IQ FireWatch використовується тепловізійний сенсор ближнього інфрачервоного діапазону (NIR), який забезпечує перевагу в умовах зниженої прозорості атмосфери. NIR-тепловізор

характеризується високою пропускнуою здатністю крізь туман і опади, що значно підвищує ефективність спостереження. Додаткове підсилення ефективності досягається завдяки використанню надчутливої деннодіночної камери. Незважаючи на це, основна функція NIR-тепловізора полягає у виявленні контурів диму, а не безпосередньо джерела займання, що залишається невидимим через лісовий покрив.

У темний період доби традиційні денні камери не функціонують без використання активного інфрачервоного підсвічування, яке забезпечує огляд на відстань до 100 метрів. Застосування потужних прожекторів дозволяє розширити зону виявлення до 1 км, однак така ефективність є обмеженою.

Комплекс IQ FireWatch реалізує мульти спектральний підхід, поєднуючи сенсори різних типів. Одночасна робота декількох каналів дає змогу отримати інтегроване зображення об'єкта спостереження з урахуванням переваг кожного спектрального діапазону. Така комбінація, що включає NIR-тепловізор та надчутливу камеру, забезпечує ефективне функціонування комплексу навіть у повній темряві.

Максимальна дальність виявлення залежить від рельєфу місцевості та висоти розміщення оптичного модуля над рівнем землі.

Досягнення у галузі машинного навчання та штучного інтелекту забезпечили істотне зростання ефективності обробки великих обсягів зображень у режимі реального часу. У контексті виявлення природних пожеж це дозволило реалізувати унікальний алгоритм розпізнавання, здатний виявляти контури диму незалежно від погодних умов і часу доби. Алгоритм аналізує до шести кадрів одночасно, отриманих із чотирьох каналів спостереження (див. рисунок 3) [8], зокрема:

- 1 кадр з монохромної надчутливої денної камери;
- 1 кадр з NIR-тепловізора;
- 1 кадр зі стандартного тепловізора (опційно);
- 3 кадри з RGB-камери денного спостереження.

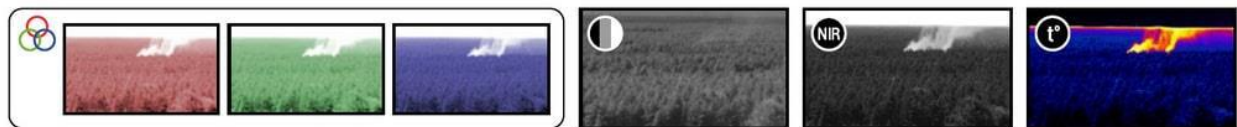


Рис. 3. Аналіз зображення за допомогою штучного інтелекту

Усі камери в комплексі працюють зі швидкістю 50 кадрів на секунду, тому штучний інтелект комплексу може обробляти загалом до 300 кадрів на секунду для пошуку диму. Рішення може вирішити завдання пожежного моніторингу близько 1000000 га землі автоматично, цілодобово, незалежно від погодних умов, вдень і вночі (рис. 4).



Рис. 4. Порівняльний аналіз зображення різними системами

Технічні особливості комплексу IQ FireWatch включають кілька інноваційних рішень, які дозволяють ефективно виявляти перші ознаки пожежі в лісових масивах.

Для належної роботи системи швидкість передачі даних від ОП до секції BPS повинна бути не менше 1 Гбіт/с, а швидкість передачі даних від BPS до секції ARM має бути не менше 1 Мбіт/с. Ми рекомендуємо використовувати оптоволокну від ОП до BPS для забезпечення високошвидкісного та надійного з'єднання. Глобальний досвід IQ FireWatch включає приблизно 350 систем IQ FireWatch, що працюють у всьому світі. Комплекс IQ FireWatch захищає від пожеж райони Німеччини, Іспанії, Португалії, США та восьми інших країн. День за днем IQ FireWatch захищає понад 6 мільйонів гектарів землі на чотирьох континентах світу. Незалежно від того, чи це горбисті чи рівнинні ліси, промислові об'єкти чи житлові райони, оточені лісами, систему IQ FireWatch можна використовувати в різноманітних місцевих умовах, як показано в наступних прикладах. Справитися з негативними факторами, що впливають на прозорість атмосфери, можуть тільки мультиспектральні оптичні системи, здатні вести спостереження одночасно в різних спектральних діапазонах. У цьому випадку, якою б «поганою» не була атмосфера,

Дим буде з'являтися в одному або кількох сегментах комплексу. Далі за справу береться штучний інтелект, який вибирає найкраще з отриманих зображень.

ВИСНОВКИ З ДАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК У ДАНОМУ НАПРЯМІ

Лісові пожежі – проблема, яку можна вирішити. Впровадження автоматичної системи раннього попередження IQ FireWatch може не тільки врятувати життя людей, будинки та ліси, а й зберегти майно підприємств. FireWatch перевершує будь-який традиційний метод або технологію раннього виявлення лісових пожеж, включаючи використання пожежних шлангів, відеоспостереження, спектроскопію, супутники та тепловий інфрачервоний діапазон.

Література

1. Райкунов, Г.Г. Вектор розвитку космічної системи дистанційного зондування землі / Г.Г. Райкунов, Ф.М. Любченко, О.В. Карелін // Аерокосмічний кур'єр. - № 6. - 2012.
2. Урлічич, Ю.М. Про пріоритети практичної реалізації розвитку космічної системи дистанційного зондування Землі/Ю.М. Урлічич, В.А. Селін; К.С. Ємельянов// Аерокосмічний кур'єр. - № 6 (78). – 2011.
3. 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.
4. 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 СУЕМ - лісовий вісник. - 2013. - № 2 (94).
5. 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.
6. 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.
7. Lindsay, Grace. (2020). Convolutional Neural Networks as a Model of the Visual System: Past, Present, and Future.
8. 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.

References

1. Raikunov, H.H. Vektor rozvytku kosmichnoi systemy dystantsiinoho zonduvannia zemli / H.H. Raikunov, F.M. Liubchenko, O.V. Karelin // Aerokosmichnyi kurier. - № 6. - 2012.
2. Urlichich, Yu.M. Pro priorytety praktychnoi realizatsii rozvytku kosmichnoi systemy dystantsiinoho zonduvannia Zemli/Iu.M. Urlichich, V.A. Selin; K.S. Yemelianov// Aerokosmichnyi kurier. - № 6 (78). – 2011.
3. 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.
4. Sanaiev, V.H., Stepanov I.M., Zaprudnov V.I., Panferiv V.I., Tretiakov A.H., Manovych V.M. Mizhhaluzevyi obiednanyi natsionalnyi doslidnytskyi tsentr "Tekhnolohii aerokosmichnoho monitorynhu lisu" - innovatsiina forma intehratsii nauky, vyrobnytstva ta osvity z metoiu pryskorenoho rozvytku tekhnolohii aerokosmichnoho monitorynhu lisu // Visnyk SUEM - lisovyi visnyk. - 2013. - № 2 (94).
5. Kudrin, A.Iu. Suchasni metody vyivlennia ta monitorynhu lisovykh pozhhez / A.Iu. Kudrin, L.I. Zaporozhets, Yu.V. Pidriziv //Tekhnolohii hromadianskoi bezpeky. – 2006. –S. 66-67.
6. 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.
7. Lindsay, Grace. (2020). Convolutional Neural Networks as a Model of the Visual System: Past, Present, and Future.
8. 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.