

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності  
Державна служба України з надзвичайних ситуацій

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

**Гусак Олена Михайлівна**

УДК 004:[614.842.4:629.73-519]

**ДИСЕРТАЦІЯ**


**Інформаційна технологія раннього виявлення лісових пожеж за  
допомогою безпілотних літальних апаратів**

05.13.06 – інформаційні технології

126 – інформаційні системи та технології

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,  
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

  
О. М. Гусак

Науковий керівник Виклюк Ярослав Ігорович, доктор технічних наук,  
професор

Львів – 2018

## АНОТАЦІЯ

*Гусак О. М.* «Інформаційна технологія раннього виявлення лісових пожеж за допомогою безпілотних літальних апаратів» – кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – «інформаційні технології» (126 – інформаційні системи та технології) – Львівський державний університет безпеки життєдіяльності Державної служби України з надзвичайних ситуацій, Львів, 2019 рік.

У дисертаційній роботі розв’язане актуальне наукове завдання: розроблення інформаційної технології розширення функціональних можливостей неспеціалізованих безпілотних літальних апаратів (БПЛА) для раннього виявлення лісових пожеж.

Пропонована інформаційна технологія покликана підвищити ефективність моніторингу лісових пожеж шляхом залучення до співпраці індивідуальних операторів БПЛА, які є активними учасниками масових заходів, що проводяться на природі – туристичних походів, фестивалів, спортивних змагань, полювання тощо, до спеціальної програми співробітництва. У рамках цієї програми, під час планових польотів квадрокоптери паралельно виконують додаткову функцію – виявлення осередків лісових пожеж та оповіщення відповідних служб про небезпеку займання лісу, що дає змогу вдосконалити сучасну систему протипожежного захисту лісів без додаткових витрат на високотехнологічне обладнання.

Підґрунтям для розробки інформаційної технології розширення функціональних можливостей БПЛА з метою раннього виявлення лісових пожеж є результати досліджень у галузі протипожежного моніторингу та сучасний розвиток безпілотної авіації. Методи та системи виявлення осередків лісових та інших ландшафтних пожеж описані в дослідженнях вчених: Яцківа В., Кузика А., Товарянського В., Покровського Р., Комяка В.,

Стародуба Ю., Урсуляка П., Шевчука В., Богомолова В. Розробкам в галузі протипожежного моніторингу присвячені праці Chuvieco E., Chen YH, Li J., Peng GX, Hufford GL, Kelley HL, Moore RK, Cotterman JS, A. Lavrov, Yasar Guneri Sahin, Dupuy JL, Vachet P., Marechal J., Melendez J., de Castro AJ, Mutlu M., Popescu SC., Zhao KG, Bouabdellah K., Noureddine H., Larbi S. F. Frau та інших.

Однак сучасний рівень інформаційних технологій не забезпечує в повній мірі вирішення питання надійного протипожежного захисту лісів. Сьогодні існує протиріччя між високим рівнем витрат на розробку високотехнологічних протипожежних засобів та їх недостатньою ефективністю. Відсутність надійних універсальних засобів розвідки осередків лісових пожеж на ранніх стадіях займання призводить до переростання малих осередків у широкомасштабні катастрофи. Усуненню цього протиріччя сприятиме залучення додаткових неспеціальних технічних ресурсів до складу інформаційних технологій раннього виявлення осередків лісових пожеж. Такими додатковими ресурсами, можливості та сфери застосування яких описані в дослідженнях Радецького В. Г., Цимбалістової О. А, Яцука К. В., Веремєєнко К. К., Красильщикова М.Н., Себрякова Г. Г., Тимоти У., Мак Лэйна та ін., можуть стати сучасні БПЛА, технічні характеристики яких дають змогу паралельно до своїх специфічних завдань, здійснювати також і протипожежний моніторинг місцевості у фоновому режимі. Розширення їхніх інформаційно-технологічних можливостей дасть змогу у фоновому режимі, без додаткових витрат на високотехнологічне обладнання, отримувати інформацію про наявність осередків лісових пожеж та своєчасно сповіщати відповідні служби про пожежну небезпеку.

У першому розділі проведено аналіз інформаційних джерел за темою дисертаційного дослідження, який показав, що переважна їх кількість виникає через масові порушення вимог пожежної безпеки з боку населення, в період найбільшого рекреаційного навантаження на ліси. Для посилення заходів безпеки доцільним є залучення БПЛА індивідуальних користувачів,

що у фоновому режимі здійснюватимуть додатковий моніторинг лісу та оповіщатимуть про небезпеку.

У результаті аналізу наявних інформаційних систем та технологій раннього виявлення лісових пожеж було виявлено протиріччя між великою кількістю дороговартісних високотехнологічних протипожежних засобів та спалахом великої кількості лісових пожеж, які вони не в змозі передбачити та завчасно виявити. Тому залучення додаткових засобів спостереження зможе підвищити ефективність протипожежного захисту лісу.

Результати аналізу сфер застосування сучасних БПЛА доводять, що при використанні відповідного програмного забезпечення, залучення безпілотних технічних засобів суттєво збільшує ефективність багатьох видів моніторингу і вони з успіхом можуть бути задіяні до розв'язку задач раннього виявлення осередків лісових пожеж.

У результаті проведення аналізу наявних інформаційних систем управління БПЛА встановлено, що існує широкий спектр алгоритмів, які інтегровані в інформаційні системи та використовуються для широкого спектра задач навігації та пошуку осередків лісових пожеж, однак всі вони розраховані на спеціалізовані дороговартісні БПЛА і не використовують технічні ресурси індивідуальних користувачів.

Аналіз математичних методів та алгоритмів, що використовуються при розробці інформаційних систем управління БПЛА, а також методів і алгоритмів цифрової обробки зображень, переданих з борту БПЛА, дав змогу встановити, що жодна з ІС не вирішує в повному обсязі задачі моніторингу об'єктів у фоновому режимі. Тому існує необхідність розробки математичних методів обробки зображень за допомогою паралельних розрахунків і адаптації їх до технічних характеристик пристроїв керування БПЛА.

У другому розділі проведено аналіз найбільш ефективних методів обробки зображень, які використовуються для покращення їх інформативності, що дало змогу виділити клас методів, які можуть бути

використані для вирішення задач розпізнавання осередків лісових пожеж у режимі реального часу. Розроблено метод автоматичної адаптації параметрів вейвлет-аналізу та кластеризації до технічних характеристик пристроїв керування БПЛА, що дає змогу налаштувати параметри пристроїв керування БПЛА за критерієм швидкість-якість розпізнавання для безперебійного функціонування інформаційної системи у фоновому режимі.

Розроблено метод автоматичного повідомлення про небезпеку шляхом визначення відносної кількості точок зображення, що належать до нечіткого кластеру неприродних кольорів  $\alpha$ -рівня, що дає змогу автоматизувати функціонування інформаційної системи у фоновому режимі.

Розроблений метод автоматизованого пошуку осередків лісових пожеж в фоновому режимі та сповіщення ДСНС з використанням паралельних обчислень розрахований на використання пристроїв керування не менше як із чотирьохядерними процесорами у фоновому режимі, що забезпечує розподіл та оптимізацію використання ресурсів БПЛА та пристрою керування.

У третьому розділі проведено аналіз технічних характеристик найбільш популярних моделей квадрокоптерів, що дало змогу встановити множину придатних для вирішення задач дисертаційного дослідження моделей літальних апаратів. Обґрунтовано необхідні технічні характеристики пристроїв керування, що базуються на мультипроцесорній архітектурі, які дадуть змогу обробляти відеоінформацію в режимі реального часу. Проаналізовано технічні характеристики наявних пристроїв керування, що дало змогу виділити сегмент пристроїв, які потенційно можна залучити до розв'язання задач фонового моніторингу лісу.

Розроблено інформаційну технологію інформування Державної системи протипожежного захисту лісів у разі виявлення осередку пожежі під час польоту БПЛА індивідуальних користувачів.

Оригінальність розробленої інформаційної технології полягає в тому, що вона надає можливість без використання додаткового обладнання,

завдяки розподілу ресурсів (працюють лише відеокамери, що входять до базової комплектації) здійснювати допоміжний протипожежний моніторинг лісів.

У четвертому розділі дисертаційної роботи представлено програмне забезпечення, яке дає змогу реалізувати розроблену інформаційну технологію. Проведено натурні експерименти із верифікації отриманих результатів.

Для реалізації алгоритмів перетворення та для дослідження ефективності попередньої обробки зображень створена прикладна програма, особливістю якої є можливість керування потрібними діями в процесі обробки (зокрема, налагоджувати ступінь зміни контрастності, змінювати кількість кластерів), а також можливість порівняти ефективність використання різної комбінації математичних методів. Наведено результати експериментів, які проводились як для серії статичних знімків, так і для відеорядів.

Проведено порівняльний аналіз ефективності функціонування розробленої інформаційної системи в порівнянні з людиною-оператором, що підтвердили ефективність запропонованої інформаційної технології.

*Ключові слова:* інформаційна технологія, безпілотний літальний апарат, протипожежний моніторинг лісу, математичні методи обробки зображень, програмне забезпечення, паралельні розрахунки, розширення функціональних можливостей БПЛА.

*Список публікацій здобувача:*

*Наукові праці, у яких опубліковані основні наукові результати дисертації:*

1. Polyanskii P. V., Husak Ye. M. Volume quadric hologram-based associative memories. *Optical Memory & Neural Networks (Information Optics)*. 2014. Vol. 23, No 4. P. 225–232.

2. Polyanskii P. V., Husak Ye. M. Optical correlation approach to all-optical holographic associative memories. *Optical Memory & Neural Networks (Information Optics)*. 2014. Vol. 23, No 1, P. 12–25
3. Polyanskii P. V., Husak Ye. M. Self conjugation heteroassociative memories using thin static nonlinearly recorded holograms. *Optical Memory & Neural Networks (Information Optics)*. 2014. No 2. P. 74–83.
4. Вершигора В. Г., Гусак О. М. Аналіз ефективності визначення людиною-оператором джерел лісових пожеж за супутниковими знімками. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2013. № 1/2 (61) . С. 17–19.
5. Гусак О. М., Вершигора В. Г. Застосування методики вейвлет-аналізу для обробки супутникових знімків лісових пожеж. *Науковий Вісник НЛТУ України: збірник науково-технічних праць*. 2013. № 23. С. 366–371.
6. Гусак О. М. Шляхи підвищення ефективності розпізнавання і класифікації об'єктів на супутникових знімках. *Технологічний аудит та резерви виробництва*. 2013. № 4. С. 9–11.
7. Гусак О. М. Організація експериментального дослідження психологічних механізмів забезпечення ефективності роботи операторів. *Технологічний аудит та резерви виробництва*. 2013. № 5. С. 6–8.
8. Гусак О. М. Побудова лінійної математичної моделі людини-оператора. *Технологічний аудит і резерви виробництва*. 2015. № 2. С. 68–72.
9. Гусак О. М. Інформаційна технологія раннього виявлення осередків лісових пожеж. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*. 2017. № 15. С. 33–38.
10. Гусак О. М. Інформаційна технологія підвищення інформативності цифрових зображень епіцентрів лісових пожеж. *Науковий вісник Національного лісотехнічного університету*. 2017. № 27. С. 177–181.

*Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:*

11. Камінський Р. М., Гусак О. М.. Психофізичні аспекти опрацювання візуальної інформації, наданої на моніторі. *Інформаційні технології,*

- економіка та право: стан та перспективи розвитку – 2011 : матеріали міжнар. наук.-практ. конф., м. Чернівці, 23-24 лют. 2011 р. Чернівці, 2011. С. 34.
12. Гусак О. М. Інтеграція вищої освіти в національну інноваційну систему (аналіз вивчення досвіду Франції) / О. М. Гусак // Проблеми формування та розвитку інноваційної інфраструктури : тези доповідей міжнар. наук.-практ.конф., м. Львів, 19–21 травня 2011 р. Львів, 2011. – С. 424–426.
  13. Гусак О. М. Ефективність сприйняття інформації людиною-оператором. Інформаційні технології, економіка та право – 2012 : матеріали міжнар. наук.-практ. конф., м. Чернівці, 28–31 бер. 2012 р. Чернівці, 2012. С.7.
  14. Vyklyuk Y. I., Husak O. M. Ways to Improve objects recognition end classification in satellite images. Natural Hazards Links between Science and Practice :. International Conference Proc., Belgrade, Serbia, Oct 8 – 11 2013. Belgrade, 2013. P. 12.
  15. Polyanskii P. V., Husak Ye. M. Optical correlation aspect of holography: from ghost-imaging to static phase-conjugation holographic associative memories. Eleventh International Conference on Correlation Optics.2013 : SPIE Proc, Vol. 9066, 99660H.
  16. Гусак О. М. Принципы инженерно-психологического обеспечения операторской деятельности в системах «человек-машина». Європейська наука XXI століття – 2013. : матеріали ІХ міжнар. наук.-практ. конф., м. Пшемишль, Польща, 07–15 трав. 2013 р. Пшемишль, 2013. С.72–75.
  17. Гусак О. М. Особливості постановки та проведення експерименту по вивченню психофізичних особливостей оператора в системах опрацювання зорових образів. Прикладні наукові розробки – 2013. : матеріали ІХ міжнар. наук.-практ. конф., м. Прага, Чехія, 27.07–05 серп. 2013 р. Прага, 2013. С. 3–5.
  18. Гусак О. М. Застосування методів математичної морфології при побудові математичної моделі розповсюдження пожежі. Інформаційні технології,



- економіка та право – 2014 : матеріали міжнар. наук.-практ. конф., м. Чернівці, 3–4 квіт. 2014 р. Чернівці, 2014. С.41–42.
19. Виклюк Я. І., Гусак О. М. Методи і засоби підвищення інформативності даних дистанційного зондування Землі. Системний аналіз та інформаційні технології» («System Analysis and Information Technologies) : матеріали міжнар. наук.-техн. конф., м. Київ, 30 трав. 2016 р. Київ, 2016. С.334.
20. Виклюк Я. І., Гусак О. М. Інформаційна технологія раннього виявлення лісових пожеж. Системний аналіз та інформаційні технології (System Analysis and Information Technologies) : матеріали міжнар. наук.-техн. конф., м. Київ, 22–25 трав. 2017 р. Київ, 2017. С.261.
21. Гусак О. М. Інформаційна технологія раннього виявлення осередків лісових пожеж. Інформаційні технології, економіка та право – 2017 : матеріали міжнар. наук.-практ. конф., м. Чернівці, 27-28 квіт. 2017 р. Чернівці, 2017. С. 135–136.
22. Виклюк Я. І., Гусак О. М. Шляхи підвищення ефективності протипожежного моніторингу лісу. Системний аналіз та інформаційні технології (System Analysis and Information Technologies) : матеріали міжнар. наук.-техн. конф., м. Київ, 21–24 травня 2018 р. Київ, 2018. С.216.

## ANNOTATION

*O.M.Husak* «Information technology for early detection of forest fires using unmanned aerial vehicles» - qualifying research paper as a manuscript.

Dissertation for the academic degree of Candidate of Technical Sciences in specialty 05.13.06 - Information Technologies (126 – Information systems and technologies) – Lviv State University of Life Safety, Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2019.

In the thesis the topical scientific task of developing information technology for expanding the functionality of non-specialized unmanned aerial vehicles (drones) for early detection of forest fires is solved.

The proposed information technology is designed to increase the effectiveness of monitoring forest fires through the involvement of individual operators' drones that are the active participants of outdoors events – tourist hikes, festivals, sports events, hunting, etc. in a special cooperation program. Under this program, during routine flights quadcopters simultaneously perform an additional function - identifying forest fires hotspots and alerting the relevant services of the danger of forest fire, allowing improving a modern system of fire protection of forests without additional costs for high-tech devices.

The basis for the development of information technology of expansion of the functionality of drones for early detection of forest fires are the results of research in modern fire monitoring and development of unmanned aircraft system. The methods and systems of detection of forest and other landscapes fire hotspots are described in the research of the following scientists: V.Yatskiv, A. Kuzyk, V.Tovarianskyi, R.Pokrovskyi, V.Komiak, Yu.Starodub, P.Ursuliak, V.Shevchuk, V.Bogomolov. The findings of E.Chuvieco, Y.H.Chen, J.Li, G.X.Peng, G.L.Nufford, H.L.Kelley, R.K.Moore, J.S.Cotterman, A.Lavrov, Yasar Guneri Sahin, J.L.Dupuy, P.Vachet, J.Marechal, J.Melendez, A.J.de Castro, M.Mutlu,

S.C.Popescu, K.G.Zhao, K.Bouabdellah, H.Noureddine, S.Larbi, F.Frau, and others are dedicated to the development in fire monitoring.

However, the existing level of information technology does not fully settle the issue of reliable fire protection of forests. Today, there is a contradiction between the high cost of developing high-tech fire-fighting equipment and lack of its efficiency. The lack of reliable universal means of detection of forest fire hotspots in the early stages of ignition leads to the growth of small hotspots in large-scale disasters. The elimination of this contradiction will be facilitated by the involvement of additional non-technical technical resources in the information technology of early detection of forest fire hotspots. Modern unmanned aerial vehicles can become such additional resources, opportunities and fields of application of which are described in research by V.H.Radetskyi, O.A.Tsybalistova, K.V.Yatsuk, K.K.Veremeienko, M.N.Krasylyshchikov, H.H.Sebriakov, U.Timoty, McLean et al. The technical specifications of drones, in parallel with their specific tasks, can carry out fire monitoring of the area in the background mode. The expansion of their information and technological capabilities will allow to receive information on the presence of forest fire hotspots and to inform the relevant fire service in a timely manner in the background mode, without additional costs for high-tech equipment.

In the first section, the analysis of information sources on the topic of dissertation research was carried out. It shows that the predominant number of forest fires arises due to massive violations of fire safety requirements by the population during the period of the greatest recreational load on forests. There was determined a contradiction between a large number of expensive high-tech fire-fighting equipment and the outbreak of a large number of forest fires that they could not predict and detect in advance.

The results of the analysis of the use of modern drones prove that the involvement of unmanned aerial vehicles significantly increases the efficiency of many types of monitoring and they can successfully be used to solve the problems of early detection of forest fire hotspots.

The analysis of existing information systems of operation of unmanned aerial vehicles has established that there is a wide range of algorithms that are integrated into information systems and used for a wide range of navigation tasks, but none of the IS solves the tasks of monitoring objects in the background mode.

The analysis of mathematical methods and algorithms used in the development of information systems for control of unmanned aerial vehicles, as well as methods and algorithms for digital processing of images transmitted from the board of a drone, has made it possible to establish that on the one hand there is no generally accepted methodology for their use, on the other hand there are no automatic methods of adapting them to the technical characteristics of control devices.

In the second section, the analysis of the technical characteristics of the most popular models of quadcopters, which has made it possible to find out a set of model aircrafts suitable for solving the problems of the dissertation research. The necessary technical characteristics of control devices based on multiprocessor architecture, which will allow processing video information in real time, are substantiated. The technical characteristics of the existing control devices have been analyzed, which allowed highlighting the segment of devices that can be potentially involved in solving the problems of forest background monitoring.

The information technology of informing the state system of fire protection of forests in the case of detecting a fire hotspot during the flight of unmanned aerial vehicles of individual users is developed.

The originality of the developed information technology lies in the fact that it provides the opportunity without the use of additional equipment, due to the allocation of resources (only video cameras are included in the basic setup) to conduct fire monitoring of forests.

In the third section, there was analyzed the most effective methods of processing images that are used to improve their information value, which made it possible to single out a class of methods that can be used to solve the problems of recognizing forest fire hotspots in real time. The method of automatic adaptation of

parameters of wavelet analysis and clustering to the technical characteristics of control devices of a drone is developed, which allows configuring the parameters of control devices of the drone on the criterion of speed-quality recognition for the uninterrupted operation of the information system in the background mode.

The method of automatic notification of danger is developed by determining the relative number of image points belonging to the fuzzy cluster of unnatural colors of the  $\alpha$ -level, which enables to automate the functioning of the information system in the background mode.

The developed information technology of the automatic search of forest fire hotspots in the background mode and the notification of the State Emergency Service of Ukraine with the use of parallel calculations is designed to use control devices at least with the quad-core processors in the background mode, which provides the distribution and optimization of the use of the drone resources and control device.

In the fourth section of the thesis the software is provided that allows realizing the developed information technology. The real experiments on verification of the received results are carried out.

In order to implement transformation algorithms and to study the effectiveness of images pre-processing, there was created the application, the peculiarity of which is the ability to control the desired actions in the processing process (in particular, to adjust the degree of contrast change, change the number of clusters), as well as the ability to compare the efficiency of using different combinations of mathematical methods. The results of experiments conducted for both a series of static images and video series are presented.

A comparative analysis of the effectiveness of the functioning of the information system in comparison with the human operator has been carried out, which confirmed the effectiveness of the proposed information technology.

Key words: information technology, unmanned aerial vehicle, forest fire monitoring, mathematical methods of image processing, software, parallel calculations, expansion of functionality of unmanned aerial vehicles.

*Academic papers, in which the main scientific results of the dissertation are published:*

1. Polyanskii P.V., Husak Ye. M. Volume quadric hologram-based associative memories. *Optical Memory & Neural Networks (Information Optics)*. 2014. Vol. 23, No. 4. P. 225-232.
2. Polyanskii P.V., Husak Ye. M. Optical correlation approach to all-optical holographic associative memories. *Optical Memory & Neural Networks (Information Optics)*. 2014. Vol. 23, No 1, pp. 12-25
3. Polyanskii PV., Husak Ye. M. Self-conjugation heteroassociative memories using thin static nonlinearly recorded holograms. *Optical Memory & Neural Networks (Information Optics)*. 2014. No 2. P. 74-83.
4. Vershigora V. G., Husak O. M. Analysis of the effectiveness of the determination by the operator-operator of sources of forest fires by satellite images. *Technology audit and production reserves*. 2013. No. 1/2 (61). P. 17-19.
5. Husak O. M., Vershigora V. G. Application of wavelet analysis technique for processing satellite images of forest fires. *Scientific Bulletin of NLTU of Ukraine: a collection of scientific and technical works*. 2013. No. 23. P. 366-371.
6. Husak O. M. Ways to increase the efficiency of recognition and classification of objects on satellite images. *Technological audit and production reserves*. 2013. No. 4. P. 9-11.
7. Husak O. M. Organization of experimental research of psychological mechanisms for ensuring the efficiency of operators. *Technological audit and production reserves*. 2013. No. 5. P. 6-8.
8. Husak O. M. Construction of a linear mathematical model of human-operator. *Technological audit and production reserves*. 2015. No. 2. P. 68–72.
9. Husak O. M. Information technology of early detection of forest fire cells. *Visnyk of Lviv State University of Life Safety*. 2017. No. 15. P. 33–38.

10. Husak O. M. Information technology increasing the informativeness of digital images of epicentres of forest fires. *Scientific Bulletin of the National Forestry University*. 2017. No. 27. C. 177–181.  
*Academic papers certifying testing of the dissertation materials:*
11. Kaminsky R. M., Husak O. M. Psycho-physical aspects of the processing of visual information provided on the monitor. *ITEP - 2011 : International Conference Proc.*, Chernivtsi, 23–24 February 2011. Chernivtsi, 2011. P. 34.
12. Husak O. M. The Efficiency of information perception of a human operator. *ITEP – 2012 : International Conference Proc.*, Chernivtsi, 28–31 March. 2012. Chernivtsi, 2012. P. 73.
13. Polyanskii P. V., Husak Ye. M. Optical correlation aspect of holography: from ghost-imaging to static phase-conjugation holographic associative memories. Eleventh International Conference on Correlation Optics. 2013 : SPIE Proc, Vol. 9066, 99660H.
14. Vykylyuk Y. I., Husak O. M. Ways to Improve objects recognition and classification in satellite images. *Natural Hazards Links between Science and Practice* : International Conference Proc., Belgrade, Serbia, Oct 8–11 2013. Belgrade, 2013. P. 12.
15. Husak O. M. Principles of engineering and psychological support of the operator's activities in the systems «man-machine». *European science of XXI century* : International Conference Proc., Przemysl, Poland, 07–15 may 2013. Przemysl, 2013. P. 72-75.
16. Husak O. M. Peculiarities of production and realization of experiment on studying of psychophysical features of the operator in systems processing of visual images. *Applied research and development–2013*. International Conference Proc., Prague, 27.07–05. August. 2013. Prague, 2013. P. 3–5 .
17. Husak O. M. Application of methods of mathematical morphology when constructing mathematical models of fire spread. *ITEP – 2014 : International Conference Proc.*, Chernivtsi, 3–4 April. 2014. Chernivtsi, 2014. P. 41–42.

18. Husak O.M. Integration of higher education into the national innovation system (analysis of studying the experience of France) / O.M. Husak // *Problems of formation and development of innovation infrastructure: theses of international reports*. Sciences. Prakt.konf., Lviv, May 19-21, 2011 Lviv, 2011. - p. 424-426.
19. Vykyuk Y. I., Husak O. M. Methods and means of improving the information content of remote sensing data of the Earth. *System Analysis and Information Technologies* : International Conference Proc., Kyiv, 30 May 2016. Kyiv, 2016. P.334.
20. Vykyuk Y. I., Husak O. M. Information technology for early detection of forest fires. *System Analysis and Information Technologies* : International Conference Proc., Kyiv, 22 May 2017. Kyiv, 2017. P.261.
21. Husak O. M. Information technology for early detection of forest fires. ITEP – 2014 : International Conference Proc., Chernivtsi, 27 April. 2017 p. Chernivtsi, 2017. C. 135–136.
22. Vykyuk Y. I., Husak O. M. Ways to improve the effectiveness of forest fire monitoring. *System Analysis and Information Technologies* : International Conference Proc., Kyiv, 21 May 2018. Kyiv, 2018. P.216.



## ЗМІСТ

ВСТУП		19
РОЗДІЛ 1	АНАЛІЗ ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ	26
	1.1. Терміни та означення галузі інформаційних технологій протипожежного моніторингу лісу	26
	1.2. Аналіз предметної області	29
	1.3. Моделі, методи, інформаційні технології протипожежного моніторингу лісу	48
	Висновки до розділу 1	54
РОЗДІЛ 2	МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ОПРАЦЮВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ, ОТРИМАНОЇ ВІД БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ	55
	2.1. Обґрунтування вибору оптимальних математичних методів опрацювання відеопотоків	55
	2.2. Методологічні основи автоматичної адаптації параметрів вейвлет-перетворення та частоти опрацювання кадрів до технічних характеристик пристроїв керування	77
	2.3. Розроблення методу опрацювання відеопотоків	85
	Висновки до розділу 2	90
РОЗДІЛ 3	ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ СПОВІЩЕННЯ ПРО НЕБЕЗПЕКУ ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ	91
	3.1. Дослідження інформаційно-технічних характеристик безпілотних літальних апаратів	91
	3.2. Дослідження інформаційно-технічних характеристик пристроїв керування безпілотними літальними апаратами	104

3.3. Розроблення інформаційної технології сповіщення про небезпеку лісових пожеж	108	
Висновки до розділу 3	115	
<b>РОЗДІЛ 4</b>	<b>АПРОБАЦІЯ РОЗРОБЛЕНИХ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ</b>	117
4.1. Інформаційна система визначення осередків лісових пожеж	117	
4.2. Апробація методів та засобів раннього виявлення осередків лісових пожеж	125	
4.3. Ефективність функціонування інформаційної технології	129	
Висновки до розділу 4	140	
<b>ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ</b>	143	
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b>	145	
<b>ДОДАТКИ</b>	165	

## ВСТУП

**Обґрунтування вибору теми дослідження.** Протипожежний захист лісів є однією з основних складових гарантування безпеки національних природних багатств, оскільки наслідки лісових пожеж є катастрофічними як для біосфери, так і для атмосфери, гідросфери, літосфери.

В основі технології охорони лісів від пожеж лежать засоби запобігання та раннього виявлення лісових пожеж. Ефективність їх діяльності є запорукою швидкого реагування аварійних бригад та недопущення переростання епіцентру лісової пожежі в широкомасштабну екологічну катастрофу.

Попри наявний арсенал сучасних засобів протипожежного моніторингу та протипожежної охорони лісу, через відсутність можливості вчасного оперативного виявлення та знешкодження, лісові пожежі з незначних осередків переростають в екологічні катастрофи.

Тому питання протипожежного захисту лісів сьогодні залишається відкритим та потребує детального вивчення, а сучасні інформаційні технології, що не забезпечують у повній мірі вирішення питання надійного раннього виявлення осередків лісових пожеж, підлягають удосконаленню.

Як відомо ефективність захисту лісів від пожеж насамперед залежить від раннього виявлення їх осередків та своєчасного оповіщення про небезпеку відповідних служб. Тому розробка та дослідження моделей, методів, інформаційних технологій раннього виявлення осередків лісових пожеж, орієнтованих на мобільність та оперативність є сучасною актуальною науково-прикладною задачею.

Пропонована інформаційна технологія, суть якої полягає у залученні додаткових неспеціальних технічних ресурсів, власниками яких є прості користувачі, до складу інформаційних технологій раннього виявлення осередків лісових пожеж, покликана усунути протиріччя між високим рівнем

витрат на розробку високотехнологічних протипожежних засобів та їх недостатньою ефективністю.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційну роботу виконано в межах науково-дослідної роботи Приватного вищого навчального закладу «Буковинський університет» – «Розвиток методів і засобів інформаційних технологій складних стохастичних соціально-економічних систем в умовах невизначеності різних типів», Державний реєстраційний № 0112U008316.

**Мета і завдання дослідження.** Метою дисертаційної роботи є розроблення інформаційної технології раннього виявлення лісових пожеж за допомогою безпілотних літальних апаратів на основі розширення їх інформаційно-технологічних можливостей, що надає додаткову можливість отримувати оперативну інформацію про виникнення лісової пожежі.

**Досягнення мети роботи передбачає розв'язання таких завдань:**

1. Здійснити огляд інформаційно-технологічного забезпечення та математичного апарату моделей, що використовуються в інформаційних, інформаційно-пошукових та експертних системах підтримки прийняття рішень, призначених для моніторингу та протипожежного захисту лісів.

2. Вдосконалити математичні методи автоматизованої обробки інформації переданої з борту безпілотного літального апарату, з метою адаптації їх до технічних характеристик пристроїв керування.

3. Розробити математичний метод обробки відеопотоків для автоматизованого пошуку осередків лісових пожеж з використанням паралельних розрахунків у фоновому режимі.

4. Розробити інформаційну технологію сповіщення рятувальних служб в разі виявлення осередку лісової пожежі залученими безпілотними літальними апаратами..

5. Провести натурні експерименти з верифікації результатів, отриманих в ході тестування розробленої інформаційної технології.

*Об'єкт дослідження:* процеси моніторингу стану пожежної безпеки лісу.

*Предмет дослідження:* математичні моделі, методи та інформаційні технології раннього виявлення осередків лісових пожеж.

**Методи дослідження:** з метою вирішення задач розпізнавання осередків лісових пожеж використано такі математичні методи: метод еквалізації гістограм для покращення інформативності отриманих знімків, метод вейвлет-аналізу для зменшення розмірності знімків та зменшення шуму, метод нечіткої кластеризації для визначення точок кластеру пожежі, мережі Петрі для формалізації функціонування інформаційної технології, методи паралельних розрахунків для підвищення ефективності та швидкості розрахунків. Для реалізації алгоритмів перетворення зображень та для дослідження ефективності обробки зображень використано високорівневу мову програмування MatLab.

**Наукова новизна** одержаних результатів. У процесі розв'язання поставлених задач автором отримано такі наукові результати:

**Вперше:**

– розроблена інформаційна технологія сповіщення про пожежну небезпеку залученими неспеціалізованими безпілотними літальними апаратами у випадку виявлення осередку лісової пожежі, яка базується на розширенні їх інформаційно-технологічних можливостей, що дасть змогу додатково інформувати рятувальні служби, що дозволяє покращити ефективність пожежної безпеки лісу;

– розроблений метод обробки відеопотоків для автоматизованого пошуку осередків лісових пожеж у фоновому режимі з використанням паралельних обчислень, що забезпечує розподіл та оптимізацію використання ресурсів безпілотних літальних апаратів та пристроїв керування.

### **Удосконалено:**

– метод вейвлет-перетворення та частоти обробки кадрів шляхом автоматичної адаптації його параметрів до технічних характеристик пристроїв керування, що дало можливість вести протипожежний моніторинг у фоновому режимі, використовуючи стандартні пристрої керування безпілотними літальними апаратами – планшети, мобільні телефони тощо;

– метод автоматичного виявлення небезпеки лісової пожежі на основі автоматичного визначення відносної кількості точок зображення, що належать до нечіткого кластеру неприродних кольорів, що дало можливість підвищити оперативність визначення осередків пожежі на цифрових зображеннях.

**Практичне значення одержаних результатів.** Розроблена інформаційна технологія визначення осередків лісових пожеж дає можливість:

– розширити функціональні інформаційно-технологічні можливості залучених безпілотних літальних апаратів за рахунок мультипроцесорної та мультимашинної архітектури, що забезпечить своєчасне сповіщення про осередок лісової пожежі та дасть змогу запобігти широкомасштабній лісовій пожежі;

– підвищити ефективність інформаційних систем протипожежного моніторингу лісових насаджень шляхом використання залучених безпілотних літальних апаратів, обробки та виведення інформації в on-line режимі, що дасть змогу вирішити інформаційно-технологічне завдання забезпечення оперативності отримання інформації про наявність осередків лісових пожеж;

– створювати системи підтримки прийняття рішень на основі розширення функціональних інформаційно-технологічних можливостей неспеціалізованих інформаційно-технічних ресурсів, що можуть бути залучені до складу систем оцінки поточної оперативної пожежної обстановки, прогнозування пожежної небезпеки, проведення робіт з

класифікації лісів за ступенем пожежонебезпеки, розрахунку оптимізації часових, фінансових і технічних витрат для організації робіт з гасіння та ліквідації наслідків лісових пожеж, що забезпечить екологічну стійкість лісових господарств.

Результати дисертаційного дослідження впроваджено та використовуються під час відпрацювання тактико-спеціальних навчань з ліквідації великих лісових пожеж на території Чернівецької області та моніторингу лісових масивів в пожежонебезпечний період підрозділами Управління Державної служби надзвичайних ситуацій (ДСНС) України в Чернівецькій області (Акт впровадження – вих. №85673, від 20.12.2017 р. виданий Відділом реагування на надзвичайні ситуації Управління ДСНС України у Чернівецькій області), в діяльності сектора з обслуговування комп'ютерної техніки Чернівецької обласної ради в системах підготовки операторського персоналу в сенсі методичного доповнення до існуючих методів оцінювання ефективності операторської діяльності, надання можливості здійснення якісного підбору операторського персоналу, оптимізації роботи людини-оператора як складової частини сучасної інформаційної системи (Акт впровадження – вих. №108/Т від 17. 12.2015 р.), а також в освітній діяльності кафедри комп'ютерних систем і технологій Приватного вищого навчального закладу «Буковинський університет» при викладанні курсів «Системи розпізнавання образів», «Нейронні мережі», «Інтелектуальний аналіз даних», «Операційні системи», «Чисельні методи», «Крос-платформне програмування», «Розробка інтелектуального інтерфейсу «людина-система», «Інформаційні технології паралельних розрахунків», «Технології розподілених систем і паралельних обчислень», та при виконанні курсових та магістерських кваліфікаційних робіт (Акт впровадження № 185/К від 02.05. 2018 р.).

### **Особистий внесок здобувача**

Безпосередньо автором здійснено:

- інформаційний пошук та аналіз літературних даних за темою дисертації;
- вивчення можливостей практичного застосування методів голографічної асоціативної пам'яті для виявлення малих змін в об'єктній сцені; зокрема осередків лісових пожеж;
- аналіз ефективності визначення оператором джерел лісових пожеж за супутниковими знімками;
- застосування методики вейвлет-аналізу для обробки супутникових знімків лісових пожеж;
- аналіз ролі психофізичних аспектів при опрацюванні візуальної інформації, наданої на моніторі;
- аналіз шляхів вдосконалення процесів розпізнавання об'єктів на супутникових знімках;
- вивчення методів і засобів підвищення інформативності даних дистанційного зондування Землі;
- розробка інформаційної технології раннього виявлення лісових пожеж;
- пропозиція шляхів та методів підвищення ефективності протипожежного моніторингу лісу.

Співавторами наукових праць є науковий керівник та науковці, спільно з якими проведені дослідження. У наукових працях, опублікованих у співавторстві, дисертанту належить фактичний матеріал і основний творчий доробок.

Співавторами наукових праць дисертанта захищені такі дисертації:  
 Полянський П. В. «Нелінійно-голографічна асоціативна пам'ять фазового спряження», Чернівці, 2000. 361 с., Виклюк Я. І. «Розвиток методів і засобів математичного моделювання об'єктів туристичної галузі», Львів, 2011. 339 с,  
 Камінський Р. М. «Моделювання інтелектуальної діяльності людини-оператора як системи опрацювання зображень», Львів, 2007. 343 с.,  
 «Исследование электрических и оптических свойств твердых растворов



P<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub>Se», Чернівці, 1982. 155 с.

Постановка мети та завдань, обговорення результатів проведені разом з науковим керівником.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати дисертаційної роботи доповідались на міжнародних та українських конференціях і семінарах, зокрема на Міжнародній конференції SPIE (Чернівецький національний університет ім. Юрія Федьковича, 2013 р.), Міжнародній науково-технічній конференції «Системний аналіз та інформаційні технології» (Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», 2016-2017 р.р.), Міжнародних науково-практичних конференціях «Інформаційні технології, економіка і право. Шляхи та перспективи розвитку (ІТЕП)» (2014-2017 р.р.); наукових семінарах у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя (2016 р.), Львівському державному університеті безпеки життєдіяльності (2018 р.).

Результати дисертаційного дослідження регулярно доповідались на наукових семінарах кафедри інформаційних систем і технологій Приватного вищого навчального закладу «Буковинський університет».

**Публікації.** Основні результати роботи викладено в 22 опублікованих працях, у тому числі 7 статтях у наукових фахових виданнях України та 3 статтях – в наукових періодичних виданнях інших держав, що індексуються у наукометричних баз даних, у 12 публікаціях – у збірниках тез конференцій.

Структура й обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел та 4 додатків. Загальний обсяг дисертації становить 190 сторінок, у тому числі основного тексту 144 сторінки. Дисертація містить 13 таблиць і 24 рисунки. **Бібліографічний список налічує 176 найменувань.**

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ

Розділ присвячений загальному аналізу методів та шляхів вирішення проблеми протипожежного захисту лісів, аналізу застосування інформаційних технологій для вирішення завдань виявлення лісових пожеж, визначенню проблем і формуванню завдань дисертаційного дослідження.

Наведені основні означення та терміни. Розглянуто сфери використання сучасних інформаційних технологій, виявлено їх слабкі місця та недоліки, оцінено можливості вдосконалення їх інформаційно-технологічного забезпечення.

#### **1.1. Терміни та означення галузі інформаційних технологій протипожежного моніторингу лісу**

*Інформаційна технологія (ІТ)* — це комплекс методів і процедур, за допомогою яких реалізуються функції збору, передачі, опрацювання, зберігання та доведення до користувача інформації в організаційно-управлінських системах із використанням обраного комплексу технічних засобів. Сучасна інформаційна технологія орієнтована на застосування найширшого спектра комп'ютерних та комунікацій засобів. Основу сучасної інформаційної технології складають розподілена комп'ютерна техніка, «дружнє» програмне забезпечення та сучасні засоби комунікації.

*Лісова пожежа* – це некерований багатостадійний процес горіння лісових матеріалів у відкритому просторі на покритій лісом площі. Для виникнення лісової пожежі потрібні принаймні дві умови: наявність сухого лісового горючого матеріалу (6–25 % вологості) та джерело вогню.

*Моніторинг лісових пожеж* – система спостережень і контролю за пожежною небезпекою в лісі за умови сухої погоди, станом лісових горючих

матеріалів, джерелами вогню і лісовими пожежами з метою своєчасного розроблення і проведення заходів щодо запобігання лісовим пожежам, зменшення втрат від них.

**Кінцевий інформаційний продукт інформаційної системи раннього виявлення лісових пожеж** – методика виявлення активних джерел пожеж у лісових масивах та степах, представлена як сукупність процедур опрацювання зображення.

**Система централізованого пожежного спостереження** — комплекс технічних засобів, призначений для передавання у заданому вигляді повідомлень про виникнення пожеж і технічний стан установок пожежної автоматики (пожежогасіння, пожежної сигналізації, димовидалення) з об'єкта протипожежного захисту на пункт зв'язку чергових частин пожежно-рятувальних підрозділів, а також їх прийом, опрацювання, передача і реєстрація.

**Безпілотний літальний апарат (БПЛА)** – повітряне судно, керування польотом якого і контроль за яким здійснюються дистанційно за допомогою пункту дистанційного пілотування, розташованого поза повітряним судном, або повітряне судно, що здійснює політ автономно за відповідною програмою.

**Безпілотна авіаційна система** – цільова авіаційна система, що включає літальний апарат без екіпажу, засоби наземного забезпечення, підготовки і застосування відповідно до призначення літального апарата.

**Інформаційне забезпечення** – сукупність процесів з підготовки і надання спеціально підготовленої інформації для вирішення управлінських, наукових, технічних та інших завдань у відповідності з етапами їх розв'язання.

Призначення підсистеми інформаційного забезпечення полягає у своєчасному формуванні й видачі інформації для прийняття управлінських рішень, адже від якості інформаційного забезпечення значно залежить якість прийнятих управлінських рішень.

**Математичне забезпечення** – це сукупність математичних методів, моделей і алгоритмів опрацювання інформації, що використовуються під час розв’язання функціональних задач з отриманням необхідних результатів. Математичне забезпечення включає засоби моделювання процесів управління, методи оптимізації досліджуваних процесів та прийняття рішень (методи багатокритеріальної оптимізації, математичного програмування, математичної статистики, теорії масового обслуговування та ін.).

**Програмне забезпечення** – складова частина комп’ютерної техніки, сукупність програм з даними і документації на них, що забезпечує її функціонування. До складу програмного забезпечення входять базові (загальносистемні) та прикладні (спеціальні) програмні продукти. Базові програмні засоби служать для автоматизації взаємодії людини і комп’ютера, організації типових процедур опрацювання даних, контролю і діагностики функціонування технічних засобів. Прикладне програмне забезпечення являє собою сукупність програмних продуктів, призначених для автоматизації вирішення функціональних задач інформаційної системи.

**Перетворення зображень** – застосування різних послідовних технологій, які змінюють вигляд зображень та якість для кращого огляду, сприйняття, аналізу і розпізнавання, а також приведення до прийняттого вигляду й до подальшого застосування.

**Вейвлети** —узагальнена назва математичних функцій певної форми, які є локальними і в часі, і по частоті, в яких усі функції отримуються із однієї базової, змінюючи її шляхом зсуву або розтягу.

**Вейвлет-перетворення** –перетворення, що розглядають функцію (взяту як функція від часу) у термінах коливань, локалізованих за часом (простором) і частотою. На відміну від звичайних спектральних перетворень, вейвлет-аналіз дозволяє з однаковою точністю апроксимувати як гладкі функції, так і функції з різкими випадками, що дає можливість визначати незначні об’єкти. В якості базисних функцій, що утворюють ортогональний базис, можна використовувати широкий набір вейвлетів.

**Кластерний аналіз** — задача розбиття заданої вибірки об'єктів на підмножини, що називаються кластерами, так, щоб кожен кластер складався з схожих об'єктів, а об'єкти різних кластерів істотно відрізнялися. Завдання кластеризації відноситься до статистичної обробки, а також до широкого класу завдань навчання без вчителя.

**Гістограма зображення** – дискретна функція  $H$ , визначена на множині значень  $[0; 2^{b_{pp}}]$ , де  $b_{pp}$  — кількість біт, що відводиться для кодування яскравості одного пікселя.

**Гістограмні методи** – методи поелементного перетворення зображень, метою яких є зміна закону розподілу ймовірностей яскравостей пікселів, що описує зображення.

**Еквалізація (вирівнювання) гістограм** – перетворення зображень, яке призводить до вирівнювання інтегральних площ рівномірно розподілених по діапазону яскравостей.

## 1.2. Аналіз предметної області

На сучасному етапі проблема виникнення лісових пожеж є однією з найактуальніших і найзбитковіших для лісових господарств багатьох країн світу. Вона стосується не лише слабо розвинених країн, а й країн з високим рівнем технічного розвитку.

Щорічно на Землі виникає до 400 тисяч лісових пожеж, що пошкоджують близько 0,5% загальної площі лісів, викидають в атмосферу мільйони тонн продуктів згоряння, забирають сотні життів [1-3].

За даними міжнародних агенцій у 2017 році через неконтрольовану спеку й необережність людей пожежі в окремих регіонах за своїм масштабом побили багаторічні рекорди. Так, одна із найпотужніших за останні кілька років лісових пожеж охопила Сполучені Штати Америки. Найбільші

осередки займань у Каліфорнії, Юті та Аризоні – там вогонь знищив біля 20000 гектарів лісу [4].

Пожежники Бурятії декілька місяців намагались локалізувати осередки загоряння. За даними МНС, у зоні пожежі опинились понад дві тисячі гектарів лісу, а в регіоні запроваджено режим надзвичайної ситуації.

Широкомасштабна лісова пожежа спалахнула на Півдні Італії. Горів навіть схил вулкана Везувій. Італійські ЗМІ повідомляють, що частина пожеж – підпали, влаштовані місцевими злочинними угрупованнями, які борються за земельні ділянки або результат необережного поводження туристів з вогнем.

У чотирьох регіонах Португалії – Лейрії, Коїмбрі, Каштелу Бранко та Браганче – наприкінці червня 2017 року вирували лісові пожежі, що за даними поліції забрали життя 62 людей. Екстремально спекотна і вітряна погода призвела до того, що вогонь поширився на велику територію за лічені години. При цьому влада регіону не встигла попередити населення про небезпеку, оскільки вогонь швидко знищив станції мобільного зв'язку та телефонні лінії

Міністерство надзвичайних ситуацій Франції декілька днів поспіль намагалося локалізувати пожежу, причиною якої, імовірно, став кинутий недопалок.

Через пожежі, що вирували влітку 2017 року в Хорватії та Чорногорії, в деяких регіонах було евакуйовано і місцевих жителів, і туристів [3].

Для України охорона лісів від пожеж також є однією з найскладніших і найактуальніших проблем, що вирішуються працівниками лісової галузі. Щорічно в Україні фіксують близько 25 тис. лісових пожеж на площі 30 тис. га [4]. І ця проблема щороку набуває більшої актуальності, що пов'язане з кліматичними змінами – підвищенням середньорічної температури повітря, веденням бойових дій в зоні АТО, а також наслідками Чорнобильської катастрофи [5,6].

На державному рівні вживаються заходи з охорони, захисту, раціонального використання і відтворення ресурсів лісу. Сьогодні у підпорядкуванні Центрального органу виконавчої влади у галузі лісового господарства України – Державного агентства лісових ресурсів (надалі – Держлісагентства) перебуває 73% лісів країни, які служать основою економічної системи лісового господарства та забезпечують безперервність виконання лісами еколого-економічних функцій (природоохоронних, захисних, санітарно-гігієнічних, оздоровчих, ресурсних) [7].

Звідси випливає основне завдання Держлісагентства – розроблення та організація державних та регіональних програм у сфері охорони, захисту, раціонального використання й відтворення ресурсів лісу [6, 8].

Одним із пріоритетних напрямків діяльності у роботі усієї лісової галузі є ведення лісового господарства на засадах збалансованого розвитку, забезпечення охорони лісів від пожеж, зменшення кількості пожеж та мінімізації їх руйнівних наслідків.

Велику роль у цій діяльності відіграють системи та технології моніторингу лісових ресурсів, який є складовою частиною державної системи моніторингу навколишнього природного середовища. Нормативно-законодавча база моніторингу лісів визначається Лісовим кодексом України, Законами України «Про охорону навколишнього природного середовища» та «Про рослинний світ». У відповідності із Положенням про державну систему моніторингу довкілля, затвердженим постановою Кабінету Міністрів України від 30 березня 1998 р. № 391, на Держлісагентство покладено проведення моніторингу земель лісового фонду, лісової рослинності і мисливської фауни [9].

Україна приєдналася до панєвропейського процесу захисту лісів та підписала Страсбурзьку резолюцію S1 щодо проведення моніторингу лісових екосистем (Резолюція «Європейська мережа постійних ділянок моніторингу лісових екосистем»). Необхідність проведення моніторингу лісів зумовлена потребами виконання низки інших міжнародних зобов'язань

України, зокрема таких, як Конвенції ООН про широкомасштабне транскордонне забруднення повітря, Конвенція ООН про охорону біологічного різноманіття, Рамкова конвенція ООН про зміну клімату. Моніторинг лісів в Україні проводиться узгоджено з вимогами Міжнародної Спільної Програми оцінки та моніторингу впливу забруднення повітря на ліси в регіоні Європейської Економічної Комісії ООН (UNECE ICP Forests). Законодавством ЄС програма UNECE ICP Forests визначена основною програмою моніторингу лісів, яка охоплює усі країни регіону Європейської економічної комісії ООН (UNECE). Впроваджується програма UNECE ICP Forests [9]. Однак, незважаючи на всі зусилля, як свідчить статистика (Табл. 1.1), лісові пожежі в Україні продовжують завдавати значних збитків [7].

Таблиця 1.1

**Статистичні дані про збитки, заподіяні лісовими пожежами**

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Кількість лісових пожеж, одиниць	3240	2526	2163	1113	2003	3813	1249
Площа лісових земель, охоплена пожежами, га	3668	1049	3479	418	13778	14691	1249
Збитки, заподіяні лісовими пожежами, тис. грн	26728,4	3215,9	56062,7	1376,2	51701,8	20164,5	8619,2

Загальні суми збитків, заподіяних лісовими пожежами в Україні за період 2010-2016 років, наведені на рисунках 1.1, 1.2.

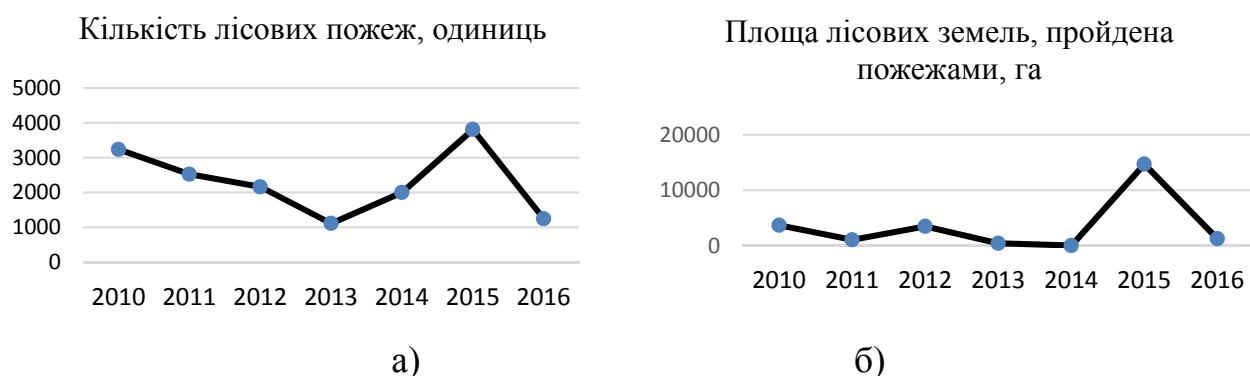


Рисунок 1.1 – Статистичні дані про лісові пожежі в Україні за роками



Як видно з рисунка 1.1 (а), в 2014 та 2015 роках кількість лісових пожеж була найбільшою, а в 2015 році спостерігалась найбільша за весь час площа займання (б).

Загальні суми збитків, заподіяні лісовими пожежами в Україні, наведені на рисунку 1.2.

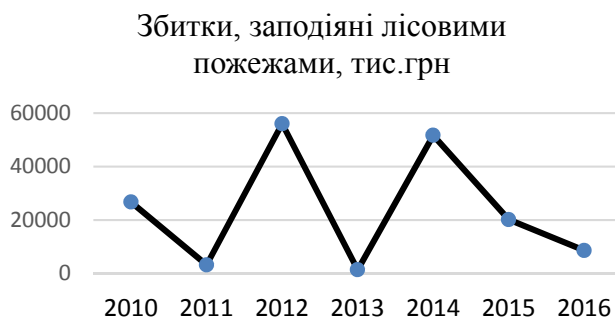


Рисунок 1.2 – Загальні суми збитків, заподіяні лісовими пожежами в Україні

Попри наявний арсенал сучасних засобів протипожежного моніторингу та протипожежної охорони лісу, через відсутність можливості вчасного виявлення та знешкодження, лісові пожежі з незначних осередків часто швидко переростають в екологічні катастрофи (рис.1.3), адже при швидкості поширення вогню по фронту 3 м/хв, за сприятливих умов зовнішнього середовища площа лісової пожежі через 2 години після виникнення може зрости в 10 разів [4,11].



Рисунок 1.3 – Наслідки несвоєчасного виявлення епіцентрів лісової пожежі

Для наочності представлення проведено узагальнення та наведено класифікацію засобів виявлення та ліквідації лісової пожежі у відповідності із класами пожежної небезпеки (Рис. 1.4.):

- засоби попередження, моніторингу та раннього виявлення пожежі;
- засоби боротьби з пожежею;
- засоби інформування про високий – «червоний» клас небезпеки.

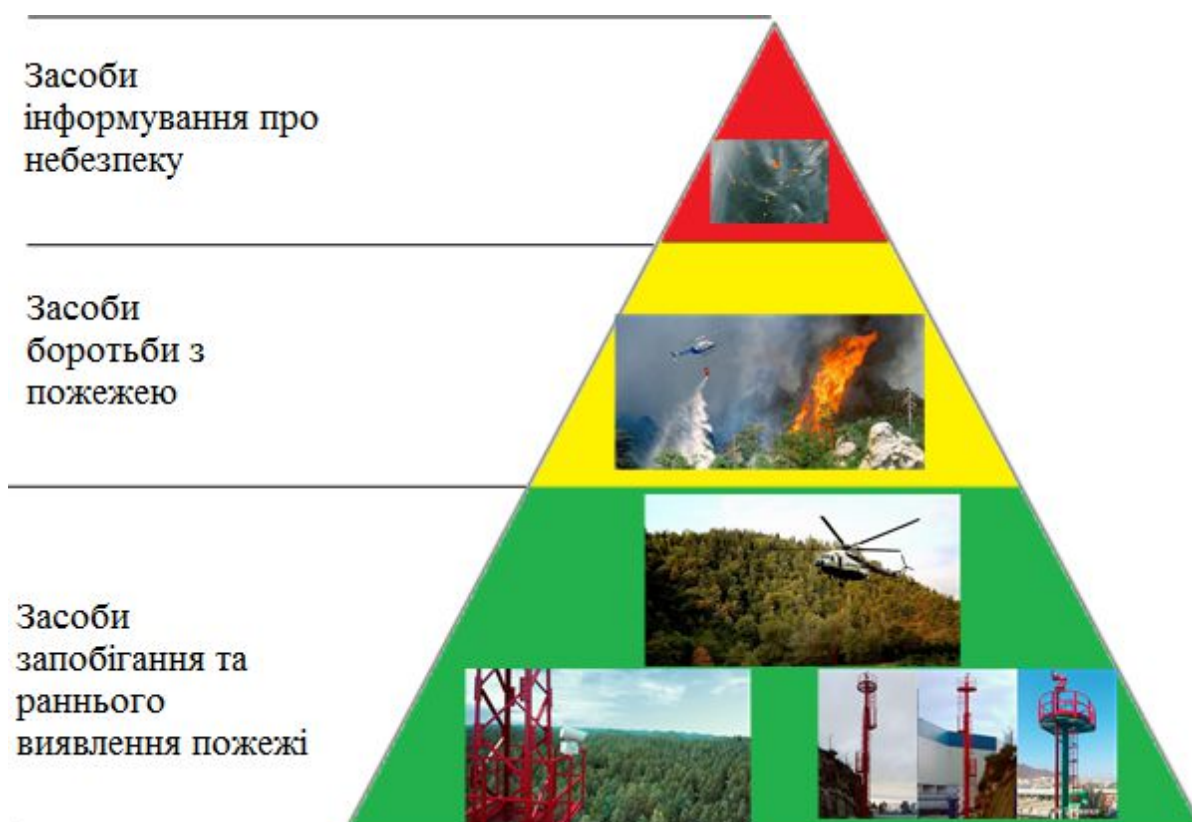


Рисунок 1.4 – Класифікація засобів виявлення та ліквідації лісових пожеж

Як видно з наведеної схеми, в основі технології охорони лісів від пожеж лежать засоби запобігання та раннього виявлення лісових пожеж (перший нижній рівень піраміди). Ефективність їх діяльності є запорукою швидкого реагування аварійних бригад та недопущення переростання епіцентру лісової пожежі в широкомасштабну екологічну катастрофу (другий, третій рівні).

Таким чином, лісовій пожежі легше запобігти, ніж вести боротьбу з нею, залучаючи значні технічні засоби та людські ресурси.

Відсутність надійних універсальних засобів розвідки осередків лісових пожеж на ранніх стадіях загоряння призводить до переростання малих осередків в широкомасштабні катастрофи. Тому питання протипожежного захисту лісів сьогодні залишається відкритим та потребує детального вивчення, а наявні інформаційні технології, що не забезпечують в повній мірі вирішення питання раннього виявлення осередків лісових пожеж, підлягають удосконаленню.

Значному підвищенню пожежної небезпеки сприяє постійне зростання рекреаційного навантаження на ліси. Як правило, пожежна небезпека в лісових масивах посилюється навесні та наприкінці літа під впливом людського фактора та погодних умов. За даними статистичних показників Українського науково-дослідного інституту цивільного захисту (УкрНДЦЗ) за останні роки спостерігається тенденція до збільшення лісових пожеж, основною причиною яких є необережне поводження людей з вогнем. За даними статистики понад 98% пожеж виникає через масові порушення вимог пожежної безпеки з боку населення [11].

Особливо гостро це питання постає під час найбільш засушливого літнього періоду в місцях, на які припадає найбільше рекреаційне навантаження – в приміських лісових масивах, заповідниках, під час етнографічних, пісенних фестивалів, що проводяться на природі, народних гулянь, туристичних зльотів. Для того, щоб учасники таких заходів не стали винуватцями або заложниками лісової пожежі, для особистої та суспільної безпеки, в програму проведення заходів завжди включені вимоги та суттєві обмеження, що стосуються безпечного поводження з вогнем. Так, купуючи квиток на будь-який з численних open-air фестивалів («Polyana Music Fest», Zaxid Fest, «Писанка», «РОК Булава», «Заліщики Фест» тощо), учасник автоматично погоджується з правилами перебування, встановленими на території проведення фестивалю. У випадку порушення цих правил квиток

автоматично анулюється, а адміністрація залишає за собою право вигнати порушника [10]. Однак, незважаючи на усі заходи безпеки, що впроваджуються організаторами, щорічно спостерігається різке збільшення кількості лісових пожеж у період свят і вихідних днів, коли велика кількість громадян виїжджає в ліс.

У 2017 році Верховна Рада України внесла зміни до деяких законодавчих актів щодо імплементації європейських екологічних норм про охорону середовища рідкісних видів тварин і рослин №2604. Зокрема, за порушення правил пожежної безпеки в лісах штрафи для громадян збільшені з 1–3 неоподаткованих мінімумів до 5–15. Якщо необережне поводження з вогнем призводить до пожежі, громадяни України повинні заплатити штраф у розмірі 15–50 неоподаткованих мінімумів [10,11].

У Держлісагентстві постійно попереджають, що туристи та усі інші відвідувачі лісів зобов'язані виконувати правила пожежної безпеки в лісі та повідомляти лісогосподарське підприємство, територіальний підрозділ рятувальної служби, місцеві органи влади у разі виникнення лісової пожежі [11]. Однак, незважаючи на всі зусилля з боку уряду, проблема боротьби з лісовими пожежами, основною причиною яких в більшості випадків є люди, не втрачає своєї актуальності.

Таким чином, за офіційними статистичними даними, небезпека лісових пожеж в усьому світі залишається високою. Щорічно руйнівній силі вогню піддаються великі масиви лісів як в Україні, так і в усьому світі. Однією з основних причин є необережність у поводженні з вогнем. Значному підвищенню пожежної небезпеки сприяє постійне зростання рекреаційного навантаження на ліси.

Для виявлення і гасіння лісових пожеж у світовій практиці залучаються величезні ресурси, використовуються найсучасніші технології – від супутникового моніторингу і до найсучасніших систем відеоспостереження з елементами комп'ютерного зору, розробленими передовими вченими світу. Так, низка методів раннього виявлення лісових пожеж були реалізовані з

використанням сучасних геоінформаційних систем. Це, зокрема, методи на основі підходу «глобального моніторингу», запропонованого E.Chuviesco, що використовують системи дистанційного зондування Землі, методи мультиспектрального аналізу супутникових знімків, а також методи акустичного та радіоакустичного зондування, що дають змогу здійснювати дистанційні вимірювання температури та теплове зондування конкретної ділянки лісу, описані в дослідженні [12].

Методам геоінформаційного моделювання присвячені монографії вченого Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна С.В.Кострікова [13], а також дослідження Путренка В. В. [14].

На основі даних дистанційного зондування Землі створюються спеціальні веб-ресурси. Серед них – сайт Web Fire Mapper, де можна спостерігати зафіксовані на карті пожежі у режимі on-line. [16,17]. Подібні веб-ресурси, а також матеріали інвентаризації лісів та спеціальні карти горимості лісового покриву, що засвідчують можливість загорання, лягли в основу створення Європейської лісоінформаційної системи для боротьби з пожежами, яка інтегрувала дані космічної зйомки та можливості ГІС-серверних технологій. За даними аудиту фінансових органів ЄС, який був проведений у січні 2017 року, ця система була визнана однією з найбільш ефективних серед усіх, створених у JRC за кошти Єврокомісії [18].

Сьогодні розроблені оптичні та оптико-електронні методи опрацювання та підвищення інформативності космічних знімків, наведені в працях [19]. Зокрема, кореляційно-оптичний метод, викладений в цих дослідженнях, можливо застосовувати для відновлення неповних та спотворених зображень, якими є зображення осередків пожеж. В ході реалізації цього методу є можливість фізичного моделювання процесу розпізнавання складних образів та їх відновлення за асоціативним принципом із підвищеними інформаційними характеристиками засобами статичної нелінійної голографії [20-22]. Однак, основною проблемою широкого практичного застосування голографічної асоціативної пам'яті є

складність практичної реалізації, зокрема відсутність технології оптичних матеріалів, яка була б достатньо гнучкою для опрацювання даних в реальному часі.

У дослідженні вчених Мутлу М., Попеску С. К., Чжао К.Г. розглянуті аерозольні та наземні методи візуалізації радара (SAR), засновані на лідарній та супутниковій технологіях (Mutlu M., Popescu SC., Zhao KG та ін.) [25-27]. Дослідники запропонували новий підхід до тривимірних вимірювань стану зеленої біомаси на основі лідарної та супутникової технологій. Було доведено точність та доцільність використання технології LIDAR для визначення раптових змін у стані лісової біомаси, зокрема наявності осередків лісових пожеж та вигорілих ділянок. Недоліком системи на основі LIDAR- технологій слід вважати їх високу технологічність та дороговизну. Крім того, інфрачервоні лазери, що використовуються в багатьох системах LIDAR, не проникають крізь туман або дощ, а інформація, отримана за допомогою цих систем, потребує додаткового опрацювання.

В інших дослідженнях представлені сучасні системи спостереження та виявлення осередків загорання, засновані на використанні стаціонарних давачів. Зокрема, технології виявлення лісових пожеж на основі бездротових сенсорних мереж (WSN) були запропоновані в дослідженні Буабделла К., Нуреддін Г., Ларбі С. Ф. Фрау: «Використання бездротових сенсорних мереж для надійного виявлення лісових пожеж». Авторами запропонована ефективна інформаційна технологія, яка ґрунтується на використанні бездротових сенсорних мереж (WSN). Наведені результати засновані на реальних експериментальних підходах та свідчать про ефективність запропонованого методу [28].

Серед українських систем виявлення осередків лісових та інших ландшафтних пожеж можна виділити систему контролю пожеж на основі безпроводних сенсорних мереж, створену науковцями Тернопільського національного економічного університету, які розробили архітектуру безпроводної розподіленої, самоорганізованої і стійкої до відмов окремих

елементів сенсорну мережу для контролю безпеки лісових пожеж [29]. Запропонована структура системи контролю та спостереження за небезпечними для лісових пожеж ділянок забезпечує їх моніторинг на можливість виникнення пожеж та оперативне інформування аварійних служб у випадку активації задіяних сенсорів вимірювання температури, виявлення відкритого вогню, вуглекислого газу, диму, характерного звуку та ін. Вчені Покровський Р., Комяк В. розробили та запатентували комплексні системи раннього виявлення лісових пожеж, побудовані на принципі сенсорного панорамного огляду місцевості з функцією високоточного визначення вогнища пожежі. Використання технології безпроводних сенсорних мереж надає можливість моніторингу величезних ділянок лісу з мінімальним використанням різного типу обладнання [31,32].

В окремих дослідженнях представлені сучасні системи спостереження для виявлення вогнищ, засновані на використанні стаціонарних давачів. Зокрема, технології виявлення лісових пожеж на основі бездротових сенсорних мереж (WSN), архітектура яких розроблена вченими Ореховим А.А. (Національний аерокосмічний університет імені Жуковського), Плахтеєвим А. П. (Харківський національний автомобільний університет). Архітектура передбачає відеонагляд, а у «сліпих» і найбільш пожежонебезпечних зонах – використання давачів, об'єднаних в безпроводні сенсорні мережі [33,34].

Наведені вище розробки набувають особливої актуальності з огляду на необхідність пошуку ефективних методів запобігання, раннього виявлення та боротьби з лісовими пожежами, що виникають в зоні відчуження Чорнобильської АЕС на ураженій радіацією території. Однак недоліком цих систем є те, що вони призначені для ведення локального спостереження, фіксують епіцентри пожежі значної інтенсивності за висотою полум'я та за шлейфом диму, при цьому потребують значних фінансових витрат на експлуатацію (до додаткових витрат належить придбання необхідного додаткового кабельного обладнання та підсилювачів).

Особливе місце в дослідженні і застосуванні методів дистанційного протипожежного моніторингу займає зйомка у тепловому діапазоні. Можливості, принципи роботи, а також перспективи використання сучасних інформаційних технологій на основі термовізійних камер, описані в розробках професора інституту технічної фізики Військового технологічного університету А. Рогальського (Варшава) [33]. Методика виявлення лісових пожеж за допомогою тепловізійних камер була досліджена також у наукових працях Дюпої Дж., Вачета П., Марехала Дж, Мелендеса, Кастро в роботі «Пожежні явища та система Землі: Міждисциплінарне керівництво по пожежній науці». Під час численних лабораторних експериментів та польових досліджень з вивчення властивостей інфрачервоного випромінювання вченими була доведена доцільність використання методів зондування за допомогою систем, що використовують інфрачервоні тепловізійні камери для раннього виявлення осередків лісових пожеж та вивчення динаміки їх розповсюдження [34].

Все більше виробників пропонують термовізійні системи, призначені для встановлення їх на БПЛА з метою здійснення різних видів моніторингу. Використання БПЛА, обладнаних термовізійними камерами, є новим і перспективним методом детектування лісових пожеж, що здобув високу оцінку зарубіжних та вітчизняних спеціалістів. Існують компанії, що спеціалізуються саме на тепловізійних системах для БПЛА, як, наприклад, чеська компанія Workswell [35]. Оснащення БПЛА тепловізійною камерою значно розширює можливості використання систем теплобачення. Завдяки високій оперативності (при середній швидкості 56 кілометрів за годину за двадцять хвилин польоту БПЛА здатен охопити площу 1200 гектарів, виявляючи шлейф диму від лісової пожежі, багаття, вигорілих ділянок лісу), мобільності, високій контрольованості, стабільності, економічності використання БПЛА для моніторингових спостережень лісу вбачається оптимальним. Однак тепловізійне обладнання в умовах раннього лісопожежного моніторингу не є досконалим, оскільки на його роботу значний вплив справляє стороннє інфрачервоне випромінювання від нагрітих сонцем розташованих в зоні огляду об'єктів, яке здатне спотворювати



інформацію про наявність незначного осередку пожежі. Густий туман також може вплинути на роботу інфрачервоних давачів, оскільки краплі води перешкоджають проникненню інфрачервоного випромінювання. Крім того, встановлення та транспортування інфрачервоних камер потребує додаткових ресурсів [36, 41].

Основні переваги та недоліки кожного з методів наведено в таблиці 1.2.

Як свідчить аналіз, жоден з методів не є універсальним та не в змозі цілком розв'язати задачу протипожежного захисту лісів, про що свідчать дані статистичних показників Українського науково-дослідного інституту цивільного захисту (УкрНДІЦЗ).

Для усунення протиріччя між великою кількістю дороговартісних високотехнологічних протипожежних засобів, які залучаються для боротьби з лісовими пожежами, та їх недостатньою ефективністю, ми пропонуємо залучити до протипожежного моніторингу лісу БПЛА індивідуальних користувачів, активний розвиток яких ми спостерігаємо сьогодні.

Ідея залучення та можливого розширення інформаційно-технологічних можливостей БПЛА базується на проведеному нами огляді їх сучасних моделей та аналізі можливих сфер застосування.

Аналіз інформаційних джерел показав, що ринок виробництва БПЛА та технічних засобів для них є вельми перспективним. Активний розвиток БПЛА для вирішення задач моніторингу зумовлений низкою їх значних переваг над традиційними та космічними методами моніторингу, а саме – можливістю ведення спостереження за відсутності екіпажу на борту, достатньою тривалістю і дальністю польоту, маневреністю, спроможністю вести моніторинг вдень і вночі, у сприятливих і обмежених метеоумовах, відносно невеликою вартістю, малими витратами на експлуатацію, можливістю масового виробництва [37-42].

Детальному аналізу, класифікації, цільовому призначенню як у військовому, так і цивільному сегменті, сучасним розробкам, дизайну, еволюції безпілотних авіаційних систем присвячено працю [37], де наведено міжнародну класифікацію БПЛА, проведено аналіз БПЛА іноземного виробництва (Unmanned Aerial Vehicles, UAV), зокрема під час застосування в лісовому секторі.

Таблиця 1.2

### Основні способи виявлення лісових пожеж

Назва	Переваги	Недоліки
Патрулювання (наземне, авіапатрулювання)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Оперативність повідомлення при виникненні пожежі, достовірність цієї інформації.</li> <li>2) Швидка попередня оцінка можливих втрат.</li> <li>3) Можливість швидко віднайти причину пожежі.</li> <li>4) Прогнозування напрямку та швидкості розповсюдження.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Обмеженість площі території огляду, що знижує можливість оперативного виявлення вогнищ загорання, особливо при розвинутих нижніх ярусах рослинності.</li> <li>2) Обмеженість ведення патрулювання на ділянках зі слабо розвинутою транспортною мережею доріг.</li> <li>3) Небезпека для життя та здоров'я людини.</li> </ol>
Стаціонарні методи виявлення (спостережні пункти, стаціонарні давачі)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Оперативність повідомлення при виникненні пожежі.</li> <li>2) Відсутність впливу людського фактора під час фіксації ситуації при використанні давачів.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Необхідність установки давачів або спостережних пунктів</li> <li>2) Обладнання, що потребує значних матеріальних витрат як на первинну установку, так і на обслуговування.</li> <li>3) Виявлення пожежі значної інтенсивності за шлейфом диму або за висотою полум'я.</li> <li>4) Ненадійність роботи в екстремальних умовах.</li> <li>5) Недостовірність інформації через помилкове спрацювання температурних давачів.</li> </ol>
Аналіз та опрацювання даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Наявність безкоштовного відкритого доступу дає змогу проводити оперативний контроль лісових масивів на великих територіях.</li> <li>2) Набагато нижча вартість у порівнянні з патрулюванням і стаціонарними методами виявлення.</li> <li>3) Можливість віддаленого спостереження за процесом, достатня періодичність оновлення даних, прогнозування розвитку оперативної ситуації.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Недостатня інформативність зображень через наявність впливу завад та шумів у вигляді диму та хмар, турбулентностей атмосфери, складних рельєфів.</li> <li>2) Нестабільність умов зйомки, збої передачі сигналу.</li> </ol>
LIDAR-технології	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Точність цифрової моделі рельєфу місцевості.</li> <li>2) Продуктивність – вимірювання проводяться зі швидкостями від 10 000 до 80 000 лазерних імпульсів у секунду.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Система LIDAR є дорогою і високотехнологічною.</li> <li>2) Інфрачервоні лазери, що використовуються в багатьох системах LIDAR не проникають крізь туман або дощ.</li> </ol>
Моніторинг за допомогою БПЛА з термозійним обладнанням	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Оперативність.</li> <li>2) Висока контрольованість.</li> <li>3) Стабільність.</li> <li>4) Економічність.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Залежність достовірності отриманої інформації від шумів та завад.</li> <li>2) Необхідність збільшення логістичного навантаження</li> </ol>

За оцінками спеціалістів польської компанії Sky Tronic, яка поряд із провідними фірмами США, Китаю, Ізраїлю проводить дослідження в галузі проектування та виробництва БПЛА, загальна вартість технічних рішень в цій галузі оцінюється на суму понад \$130 млрд з річною швидкістю зростання на рівні 20% щороку. У 2023 році буде випущено 11,5 млрд таких апаратів. Їхніми виробниками будуть 400 фірм у Польщі та 100 тис. — в усьому світі. Сьогодні світовий ринок рішень для дронів для енергетичних та комунальних підприємств становить \$9,46 млрд на рік [39, 40].

Американський експерт Джон Уорден вважає, що до 2025 року близько 90% літаків будуть безпілотними, і тільки 10% – пілотованими, а пілоти будуть «золотим запасом» для найбільш важливих і важких завдань [36,38].

Сфери можливого застосування БПЛА проаналізовані у низці досліджень, у яких наводяться основні сфери застосування сучасних БПЛА та виділяють їх переваги [37-44]. До однієї з основних переваг БПЛА, на думку авторів, належить здатність виконувати завдання автоматично, що не потребує присутності виконавця в небезпечних умовах, спроможність виконувати монотонну роботу, яка потребує певних високофахових навичок і концентрації уваги. Серед додаткових переваг БПЛА порівняно з традиційною та космічною технологіями отримання зображень автори відзначають:

- невелику висоту зйомкою – від 10 до 200 метрів для отримання надвисокого розрізнення (одиниці й десяті долі сантиметра) на місцевості;
- точковість – можливість детальної зйомки невеликих об'єктів і малих ділянок там, де це цілком нерентабельно або технічно неможливо зробити іншими способами, наприклад, в умовах міської забудови;
- мобільність – не потрібні аеродроми або спеціально підготовлені злітні майданчики, БПЛА легко транспортуються легковими автомобілями (або переносяться вручну), відсутня складна процедура дозволів і узгодження польотів;

- високу оперативність – весь цикл, від виїзду на зйомку до одержання результатів, займає декілька годин;
- екологічну чистоту польотів – використовуються малопотужні бензинові або безшумні електричні двигуни, забезпечується практично нульове навантаження на навколишнє середовище.

Усі ці особливості та переваги дають змогу використовувати БПЛА за такими трьома напрямками цивільної діяльності:

- для забезпечення безпеки життя;
- в науково-дослідних цілях;
- в комерційних цілях [40-44].

Розширений спектр використання сучасних БПЛА наводиться в статті [37]. На підставі ґрунтового аналізу інформаційних джерел серед найбільш перспективних сфер застосування БПЛА автор зазначає контроль за станом лісових масивів, сільськогосподарських посівів, а також моніторинг небезпечних для людини об'єктів (зони відчуження навколо ЧАЕС, пожеж лісових масивів, шкідливих виробництв, складів зброї тощо), інформаційне забезпечення операцій рятувальних служб у зоні екологічних і техногенних катастроф (наприклад, зона ЧАЕС, пожежі на шкідливих виробництвах тощо).

Досвід ведення лісопожежного моніторингу за допомогою БПЛА як при погіршенні лісопожежної обстановки, так і в плановому режимі, описаний у дослідженні [38]. У ході польоту оператор отримує зображення, що передається з борту в режимі реального часу, опрацьовує інформацію про осередки займання і передає дані у відповідні служби.

У статті О.М. Алексеєва, Д.І. Бондарєва (Національний авіаційний університет) «Перспективи розвитку безпілотного та муніципального авіаційного транспорту України» приведено аналіз, систематизацію і кодування типів безпілотних літальних апаратів за існуючими класифікаціями. Показано перспективи розвитку муніципальної та безпілотної авіації, моделювання групового польоту БПЛА для

аерофотозйомки. порівняльний аналіз ефективності застосування групових польотів БПЛА за цільовим призначенням та застосування БПЛА у муніципальному транспорті [39].

У довідковому виданні науковців Харківського авіаційного університету описані загальні види та основні характеристики безпілотних літальних апаратів світових виробників. Наведено короткі відомості про історію їх створення, конструкцію апаратів, корисне навантаження, системи управління і контролю БПЛА, системи запуску і посадки, про замовників і розробників, а також тактико-технічні характеристики.

Ефективність застосування БПЛА для моніторингу трубопроводів, що експлуатуються в складних умовах Півночі, довели в публікації [43] автори П. В. Єфремов, К. А. Попов, Т. А. Капітонов та ін. У результаті ґрунтового аналізу переваг методу аеровізуального моніторингу БПЛА, автори дійшли висновку, що БПЛА є важливим засобом дистанційного моніторингу, який дає змогу отримувати важливі дані про стан об'єктів, розташованих на значній території.

Ефективність БПЛА для проведення аерофотозйомки зумовлюється швидкістю отримання інформації, оперативністю і своєчасністю, якістю зображень [44].

Результати та аналіз аерознімання з БПЛА сільських населених пунктів наведено в дослідженні [44, 48]. Авторами визначено проблеми, які виникають під час проведення аерознімального процесу, та можливості їх вирішення.

Використання БПЛА в повітряному просторі України не тільки можливе, але й необхідне. Цей факт створює підґрунтя для інноваційного розвитку вітчизняних авіапідприємств, розширення асортименту пропонованих послуг. Визначено, що дистанційно пілотовані дрони можуть виконувати завдання, які пілотовані системи не в змозі вирішити. Вони можуть надавати корисні повітряні комерційні послуги в різних галузях [51]. Зазначено, що застосування БПЛА в цивільному секторі на сьогодні

перебуває в очікуванні вирішення деяких технічних та організаційних проблем, без чого неможливе їх стабільне використання. На підставі проведеного дослідження авторами окреслено особливості впровадження БПЛА в діяльність вітчизняних авіапідприємств, уточнено основні напрямки їх застосування в різних галузях економіки, визначено основні заходи з вирішення проблем розвитку цього виду авіапослуг, що в підсумку забезпечує ефективний інноваційний розвиток діяльності авіакомпаній країни [44].

Окремі дослідження присвячені застосуванню БПЛА у військових цілях, зокрема в працях [46, 47] доводиться їх бойова ефективність, окреслюється широке коло військових та військово-технічних задач, які здатні розв'язати сучасні БПЛА, їх вплив на характер бойових дій, також перспективи їх застосування.

Використання БПЛА для супроводу багатьох видів діяльності – світова практика, яка набуває дедалі ширшого розповсюдження в Україні. Вона набула особливої популярності в останні роки разом з розвитком інформаційно-технічних можливостей БПЛА, які здатні швидко і ефективно задовольнити потреби в аерофотоскануванні – отриманні оперативної інформації з висоти пташиного лету [46-50].

Сучасні малі БПЛА вагою лише у декілька кілограмів вміщаються в рюкзаку і можуть виконувати складні завдання. Ці літальні апарати, розвиваючи швидкість 80–120 км/год та набираючи висоту до 500 м, можуть записувати зображення в якості 4К і передавати його в HD-розширенні. Дальність польоту новітніх масових БПЛА сягає 25 кілометрів. За необхідності вони можуть зависати в повітрі цілодобово. Крила й фюзеляжі БПЛА виготовляються із композитних матеріалів, армованих вуглеволокном. Якісний БПЛА може перебувати в повітрі декілька годин, підніматися на висоту до п'яти кілометрів і долати маршрут завдовжки до 500 кілометрів. На ньому також може бути встановлена система стабілізації, яка дає змогу успішно проводити польоти за швидкості вітру до 20 м/с (70 км/год) [50].

Сучасний ринок цивільної безпілотної техніки, спрямований на їх використання у сільському господарстві та при охороні лісів, вважається найбільш перспективним. Відповідно до нормативних документів Євросоюзу, розподіл споживчого попиту на цивільні БПЛА в період з 2015 по 2020 роки, виглядатиме наступним чином: 25% — пожежні БПЛА, 13% — дрони для сільського господарства й лісництва, 10% — для енергетики, 6% — для контролю земної поверхні, 1% — як засоби зв'язку. Дослідники американської організації AUVSI, що вивчає ринок БПЛА, дійшли висновку, що до середини XXI століття основними споживачами цивільної безпілотної продукції у світі стануть фермери та лісоохоронні господарства [51].

Однак, як свідчить статистика, 45% БПЛА не відповідають вказаній класифікації, а належать звичайним цивільним користувачам, що використовують їх для своїх власних потреб. Отже, майже половина всіх проданих дронів є потенційним сегментом для залучення до розробленої системи протипожежного моніторингу. Ідея залучення неспеціальних БПЛА ґрунтується на тій обставині, що він замінює собою цілу групу операторів, операторський кран та вертоліт, при цьому він у кілька разів мобільніший і забезпечує передачу інформації в режимі реального часу.

Таким чином, БПЛА сьогодні з успіхом застосовуються як у військових, так і в мирних цілях. Існує досвід їх застосування в ході лісопожежного моніторингу. Однак для його здійснення необхідна оптико-електронна система з високою роздільною здатністю та з декількома каналами виведення інформації: тепловізор, відеокамера, інфрачервона камера, мультиспектральна камера тощо [51-54].

Із сказаного вище можна зробити висновок, що сьогодні відсутні інформаційні системи та технології лісопожежного моніторингу, які б дали змогу без встановлення додаткового високотехнологічного обладнання, лише завдяки розширенню наявних інформаційно-технологічних можливостей стандартних неспеціалізованих БПЛА, власниками яких є індивідуальні користувачі, проводити ефективний протипожежний моніторинг лісу з

висоти. Створення такого мобільного інформаційно-технологічного сервісу на основі добровільної соціокомунікаційної ініціативи, доповнить існуючі методи протипожежного моніторингу лісу і допоможе підвищити їх ефективність, оскільки дозволить виявляти лісові пожежі на ранніх стадіях займання і одержувати інформацію про них раніше за офіційні джерела, не потребуючи державного фінансування.

### **1.3. Моделі, методи, інформаційні технології протипожежного моніторингу лісу**

Ефективне функціонування безпілотних літальних апаратів та виконання ними функціональних задач забезпечується комплексом сучасних апаратно-програмних засобів управління, до складу якого входить бортова та наземна апаратура, а також спеціальне програмне забезпечення.

Для виконання спеціальних завдань, зокрема для аерофотозйомки, БПЛА повинен розглядатися в сукупності з його оснащенням і корисним навантаженням, для чого введений термін «безпілотна авіаційна система» (БАС).

До корисного навантаження для задач аерофотозйомки належить цифрова фотокамера, як доповнення можуть використовуватися відеокамера, тепловізор, ІК-камера [51].

Під час цифрового опрацювання та передачі цифрових даних в апаратурі БПЛА, виникає широке коло проблем, основною з яких є недосконалість методів і алгоритмів цифрового опрацювання в оптико-електронних приладах, зокрема проблема опрацювання зображення в реальному масштабі часу. До проблем застосування цифрового опрацювання відеозображень в апаратурі БПЛА належить також недостатнє забезпечення моніторингу місцевості перспективною апаратурою БПЛА, значні вимоги до каналів зв'язку з БПЛА [53, 54].



Серед широко відомих фотограмметричних технологій опрацювання цифрових даних є програмний комплекс Inpho компанії Trimble. Це повнофункціональна фотограмметрична система, що дає змогу вирішувати широкий спектр завдань, пов'язаних з опрацюванням знімків. Перш за все, реалізована повна підтримка даних, що одержуються за допомогою БПЛА. Наприклад, для БПЛА Trimble UX5 або Trimble X100 в файл проекту Inpho автоматично через конвертор завантажуються знімки, інформація про камеру і дані про орієнтацію камери. Для інших безпілотних літальних систем використовуються стандартні функції імпорту. Вбудовані алгоритми є гарантом отримання надійних результатів навіть оператором без знання фотограмметрії і будь-якого досвіду в опрацюванні даних. У Inpho використовуються ефективні і надійні алгоритми інтерполяції, фільтрації шумів і збурень. Крім того існує можливість редагування і оцифровки структурних ліній, об'єктів тощо в 3D [55].

Недоліком цих алгоритмів є необхідність додаткового опрацювання отриманої інформації.

До сучасних програмних систем, що використовуються для опрацювання цифрових зображень, отриманих з борту БПЛА, належить програма PHOTOMOD UAS.[56] У програмі реалізовані такі основні можливості для опрацювання проектів БПЛА:

- попередня підготовка вихідних знімків;
- внутрішнє орієнтування знімків;
- взаємне орієнтування знімків;
- введення і вимірювання координат опорних точок;
- зовнішнє орієнтування знімків;
- моноекторизація;
- стереоекторизація;
- побудова ЦМР;
- створення ортофотоплану;
- створення цифрової карти місцевості;

- побудова тривимірної моделі міської забудови.

До недоліків роботи з програмою можна віднести те, що при роботі з нею існує обмеження на використання вихідних даних – як вихідні дані можуть використовуватися тільки знімки центральної проекції з розміром не більше 60 МП.

Для споживачів видових даних з борту БЛА актуальним є отримання кольорових і напівтонових чорно-білих зображень з розміром кадру 25 Мпкселів і більше з розрядністю до 12 біт на піксель, а також відеоданих з якістю Full HD 1080p [52, 53]. Стиснені видові дані можуть записуватися в бортовий реєстратор, що потребує їх стиснення зі значеннями коефіцієнта стиснення не менше десяти за умови збереження високої якості стиснених даних. Для забезпечення оперативності доставки стиснені видові дані повинні передаватися по радіоканалах, для яких характерні значна зміна умов радіозв'язку та вплив випадкових і навмисних помилок передачі з різними законами їх розподілу. Це обумовлює необхідність адаптації параметрів стиснених видових даних до швидкості передачі і режимів завадостійкості [54, 57].

У частині реалізації також суттєві труднощі викликає розроблення малогабаритних бортових засобів опрацювання і передачі високошвидкісних потоків стиснених даних за умови мінімізації енергоспоживання.

Одним з сучасних напрямів, який інтенсивно розвивається, є оперативне опрацювання видової інформації, що дає змогу значно знизити ресурси, які витрачаються на постановку задачі для операторів БЛА, а також вирішення задач пошуку і розпізнавання об'єктів для оператора-дешифрувальника. До групи зазначених оперативних завдань слід віднести такі: стабілізація відеопотоку; інтелектуальний вибір стоп-кадрів з мінімальним «змазуванням»; супровід рухомого об'єкта з визначенням швидкості і напрямку; селекція руху по відеопотоку; формування комплексного зображення, що відображає маршрут польоту, як правило з невеликого числа зображень; виявлення і розпізнавання об'єктів по

відеопотоку і статичним зображенням; планування маршрутів польотів БПЛА [57, 63].

Для забезпечення достатньої якості роботи, яка виражається з одного боку низьким числом помилкових виявлень, а з іншого – мінімальним обсягом пропусків руху за умови роботи в реальному масштабі часу, потрібні значні обчислювальні затрати, для ретельного аналізу відеопотоку на предмет змін між кадрами. Виявлення рухомих об'єктів у відеопотоці в реальному масштабі часу, без сумніву, є важливим завданням систем комп'ютерного зору.

Основна ідея пропонованого в статті [58] алгоритму полягає в тому, щоб застосувати підхід, який використовується при виявленні рухомих об'єктів за допомогою стаціонарних камер, до відеопотоку, який виходить після компенсації руху камери, встановленої на БПЛА. Цей метод дає змогу, з одного боку, досить ефективно виявляти рухомі об'єкти в разі використання рухомих камер, а з іншого – не призводить до занадто великої обчислювальної складності алгоритму, що дає змогу застосовувати його в реальному масштабі часу. Однак для реалізації цього методу необхідно додатково застосовувати операції компенсації руху камери.

Для вирішення завдання виявлення і розпізнавання об'єктів на оптико-електронних зображеннях і в відеопотоці з борту БПЛА, одним з перспективних напрямків також є застосування модельноорієнтованого підходу, оскільки формування представницької навчальної вибірки зображень об'єктів, є досить трудомістким і практично не реалізованим в короткий проміжок часу завданням.

Акустооптичні прилади управління параметрами електромагнітного випромінювання [59]. За допомогою акустооптичних приладів здійснюється управління основними характеристиками оптичного випромінювання – такими, як амплітуда, частота, фаза, поляризація і напрям поширення світлового потоку. Акустооптичні пристрої працюють з монохроматичним

світлом, а також і з немонохроматичним випромінюванням, що має суцільний або лінійчатий спектр.

Основною перевагою акустооптичних фільтрів є можливість швидкої електронної перебудови довжини хвилі відфільтрованого випромінювання. До інших переваг фільтрів належать: широкий діапазон електронної перебудови довжини хвилі; робота в реальному масштабі часу; компактність і мала вага; висока надійність, відсутність частин, що переміщуються; висока спектральна розрізнявальна здатність; малі світлові втрати; мале енергоспоживання; можливість селекції випромінювання по поляризації світла; широке поле зору, велика світлосила; можливість довільного доступу до світла, відфільтрованого за довжинами хвиль; можливість багаточастотного режиму роботи; комп'ютерне управління пристроєм; можливість опрацювання оптичних зображень. Беручи до уваги ці особливості роботи акустооптичних фільтрів, можна говорити про перспективність застосування даних приладів в аерокосмічних системах дистанційного контролю за об'єктами штучного та природного походження. Зокрема, акустооптичні фільтри доцільно включати в комплекс апаратури, яка встановлюється на безпілотних літальних апаратах. Такі літальні апарати можуть здійснювати розвідку і моніторинг поверхні землі, а також стану повітря з метою екології та безпеки для виявлення в навколишньому середовищі отруйних речовин і газів. Також представляється перспективним використання розроблених приладів для вирішення завдань у військовій та спеціальній техніці [59, 61]. До недоліків вказаних приладів можна віднести високу технологічність пристроїв та необхідність додаткового дообладнання ними комплексів, що встановлюються на безпілотних літальних апаратах.

Сучасний світовий тренд в галузі виявлення і розпізнавання полягає в застосуванні згорткових нейронних мереж [60]. Головною перевагою такого підходу в порівнянні з описом просторових ознак, є те, що алгоритм по суті сам знаходить інформативні ознаки. Основне завдання розробника полягає у виборі топології мережі і налаштуванні великої кількості її параметрів [60].

Згорткові нейронні мережі можуть бути застосовані не тільки для розпізнавання об'єктів, але і для їх виявлення. Варто зазначити, що для цього типу класифікаторів і можливості виявлення, необхідною умовою є наявність представницької бази із 172 зображень для навчання. Одним з можливих варіантів вирішення цієї проблеми, крім моделювання, є багаторазове клонування з деформаціями наявних зображень об'єктів [61].

Проведені дослідження показали, що застосування згорткових нейронних мереж для розпізнавання з застосуванням модельних оптичних зображень на сьогодні не є успішним. Основна причина полягає в недостатній дослідженості області комп'ютерного моделювання стосовно задачі формування навчальної вибірки.

Дослідження науковців Житомирського військового інституту імені С.П. Корольова Національного авіаційного університету присвячені методам і алгоритмам опрацювання та передачі цифрових даних з борту БПЛА, особливостям їх функціонування, а також проблемі їх опрацювання в режимі реального часу. Авторами розглянуто існуючі математичні методи цифрового опрацювання відеозображень апаратурою безпілотного літального апарата, здійснено огляд, систематизацію та аналіз існуючих методів і алгоритмів цифрового опрацювання зображень, досліджено практичні та теоретичні проблеми їх використання [52].

Дослідженням в галузі підвищення ефективності методів цифрового опрацювання відеозображень, переданих з борту БПЛА, присвячені публікації [57,63], в яких розглядаються методи і алгоритми цифрового опрацювання в оптико-електронних приладах; напрямки забезпечення моніторингу місцевості перспективною апаратурою БПЛА [58,59]; вимоги до каналів зв'язку з БПЛА та визначені найбільш перспективні шляхи їх реалізації; аналізуються сучасні радіолінії зв'язку з БПЛА, наводяться приклади їх реалізації [62, 63].

## Висновки до розділу 1

1. Аналіз офіційних статистичних даних показав, що небезпека широкомасштабних лісових пожеж в усьому світі залишається високою, що пов'язано з пізнім виявленням осередків лісових пожеж. Переважна їх кількість виникає через масові порушення вимог пожежної безпеки з боку населення, в період найбільшого рекреаційного навантаження на ліси. Для посилення заходів безпеки доцільним є залучення БПЛА індивідуальних користувачів, що у фоновому режимі здійснюватимуть додатковий моніторинг лісу та оповіщатимуть про небезпеку.

2. У результаті аналізу існуючих інформаційних систем та технологій раннього виявлення лісових пожеж було виявлено протиріччя між великою кількістю дороговартісних високотехнологічних протипожежних засобів та значним числом лісових пожеж, які вони не в змозі передбачити та вчасно виявити. Тому залучення додаткових засобів спостереження зможе підвищити ефективність протипожежного захисту лісу.

3. Результати аналізу сфер застосування сучасних БПЛА доводять, що при використанні відповідного програмного забезпечення, залучення безпілотних технічних засобів суттєво збільшує ефективність багатьох видів моніторингу і вони з успіхом можуть бути задіяні до розв'язку задач раннього виявлення осередків лісових пожеж.

4. У результаті проведення аналізу наявних інформаційних систем управління БПЛА встановлено, що існує широкий спектр алгоритмів, які інтегровані в інформаційні системи та використовуються для вирішення широкого спектру задач навігації та пошуку осередків лісових пожеж, однак всі вони розраховані на спеціалізовані дороговартісні БПЛА і не використовують існуючі технічні ресурси індивідуальних користувачів.

5. Аналіз математичних методів та алгоритмів, що використовуються при розробці інформаційних систем управління БПЛА, а також методів і алгоритмів цифрового опрацювання зображень, переданих з борту БПЛА, дав змогу встановити, що жодна з ІС не вирішує в повному обсязі задачі моніторингу об'єктів у фоновому режимі. Тому існує необхідність розроблення математичних методів опрацювання зображень за допомогою паралельних розрахунків і адаптації їх до технічних характеристик пристроїв керування БПЛА.

## **РОЗДІЛ 2**

### **МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ОПРАЦЮВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ, ОТРИМАНОЇ ВІД БПЛА**

Другий розділ присвячений удосконаленню математичних методів автоматизованого опрацювання інформації, переданої з борту БПЛА, для вирішення інформаційно-технологічної задачі виявлення осередків лісових пожеж. Вдосконалено метод адаптації параметрів вейвлет-перетворення цифрових зображень до технічних характеристик пристроїв керування БПЛА. Вдосконалено метод автоматичного виявлення небезпеки лісової пожежі на основі автоматичного визначення відносної кількості точок зображення, що належать до нечіткого кластера неприродних кольорів. Розроблений метод опрацювання відеопотоків на основі розпаралелювання математичних розрахунків, що забезпечує розподіл та оптимізацію використання ресурсів БПЛА та пристрою керування.

#### **2.1. Обґрунтування вибору оптимальних математичних методів опрацювання відеопотоків**

Одним із шляхів покращення ефективності функціонування інформаційної системи раннього виявлення осередків лісових пожеж є залучення до моніторингу лісових пожеж БПЛА звичайних користувачів. Передбачається розширити функціональні можливості неспеціалізованих БПЛА таким чином, що в ході виконання своїх вузьких спеціальних завдань (картографічної зйомки, інспекції полів, визначення стану іригаційних споруд тощо, екстрим-зйомки, мас-медіа тощо), вони у фоновому режимі будуть моніторити ліс на предмет пошуку осередків лісових пожеж та, у разі фіксації підозрілих об'єктів, інформувати відповідні служби ДСНС.

Однак однією із особливостей їх застосування є відсутність на борту спеціалізованого технічного обладнання, на кшталт тепловізорів, для автоматичного виявлення осередків запалювання. Зазвичай такі апарати обладнані лише відеокамерою із роздільною здатністю класу HD та FullHD. Пропускна здатність процесора, що опрацьовує відеопотік, в середньому – 60 мегабіт за секунду. При роздільній здатності 4k, 2k та 2,7k (2716x1524) максимально доступна частота кадрів – 30 FPS. Оскільки FullHD-кадр несе в чотири рази меншу кількість інформації, то для формату FullHD доступна вчетверо більша кадрова частота — до 120 FPS. Такі характеристики забезпечують оперативність опрацювання відеопотоків і дають змогу висунути гіпотезу про можливість розширення інформаційно-технічних можливостей сучасних БПЛА без додаткового спеціального відеообладнання для вирішення прикладної задачі пошуку осередків лісових пожеж [64-68]. Для цього необхідно підвищити інформативність часто зашумлених і нечітких (внаслідок наявності шумів і спотворень у вигляді гілок, переміщення приймача, турбулентності атмосфери тощо) кадрів, які передаються з борту БПЛА. Це дасть змогу вдосконалити систему протипожежного моніторингу завдяки зменшенню кількості помилок при ідентифікації пожежі в автоматичному режимі. Таким чином, інформаційним ресурсом розробленої нами інформаційної системи є відеокадри, отримані з борту БПЛА, інформативність яких підвищується після опрацювання за допомогою методів цифрового опрацювання зображень [68, 69].

Відповідно до поставленої задачі оптимізації процесу розпізнавання осередків лісових пожеж, ми проаналізували задачі цифрового опрацювання зображень, які незалежно від їх типу можна звести до невеликої кількості основних:

1. Фільтрація та покращення візуального сприйняття зображення на тлі завад, які по можливості необхідно послабити.
2. Відновлення втрачених ділянок.
3. Знаходження об'єктів та їх ідентифікація на деякому фоні.



4. Оцінка геометричних трансформацій та суміщення зображень.
5. Оцінка параметрів.
6. Стиснення зображень.
7. Правильна передача кольорів по всьому діапазону.

Аналізуючи кадри відеопотоку, отримані в реальних умовах моніторингу лісу (рис. 2.1), ми дійшли висновку про те, що правильна передача кольорів не впливає на швидкість та безпомилковість розпізнавання, а в деяких випадках навіть перешкоджає йому, оскільки кольори шуканого об'єкта та фону можуть збігатися.

У таких випадках доцільним є приглушення одних кольорів і насичення інших, адже поліпшення зображення полягає в зміні його властивостей, яка дає змогу більш комфортно та суб'єктивно сприймати це зображення, а не просто досягнути повної ідентичності з реальним [69,70].

Проблеми оцінки геометричних трансформацій, суміщення, стиснення зображень в нашому випадку також не є визначальними, оскільки досліджувані зображення отримані за допомогою надійних неперенавантажених каналів передачі даних.



Рисунок 2.1 – Відеокадр, отриманий з борту БПЛА під час моніторингу лісу.

Оскільки в запропонованій ІТ остаточне прийняття рішення лежить на людині-операторі, то для підвищення інформативності відеоінформації, що надходить з борту БПЛА, ми праналізували відомі методи сучасної комп'ютерного опрацювання цифрових зображень, що виникли в результаті прагнення створити універсальні і одночасно предметно-адекватні моделі і процедури для різних прикладних задач [70-74]. Таким чином було

розвинуто систему опрацювання цифрових зображень, отриманих з борту БПЛА шляхом комбінування методів, які виявилися найбільш ефективними для вирішення основних задач, які має вирішувати інформаційна технологія в автоматичному режимі.

Вибір оптимальних математичних методів опрацювання відеопотоків, ґрунтується на наведених нижче перевагах та недоліках сучасних методів опрацювання цифрової інформації.

*Лінійне контрастування.* Зображення, які вводяться у комп'ютер, часто є малоконтрастними. При сприйнятті зображення кількісною оцінкою реакції зорової системи на величину світлового збудження є його контраст – локальний і узагальнений. Тому логічно використати ці кількісні характеристики зображення як основу для побудови методів перетворення зображень з метою підвищення їх візуальної якості та оцінки, незалежної від суб'єктивного сприйняття. Таке перетворення дає змогу підвищити детальність спостережуваної картини в обраному діапазоні яскравостей [71,72].

*Переваги методу:* таке перетворення дає змогу підвищити детальність спостережуваної картини; швидкість опрацювання зображень.

*Недоліки:* підвищення контрастності є одним із глобальних методів, однак використання лише глобальної інформації часто є недостатнім, оскільки глобальні підходи викликають ефект насичення інтенсивності.

*Перетворення зображення в негатив* – поелементне перетворення зображення, що дає змогу сформувати негатив вихідного зображення [5].

*Переваги:* таке перетворення підвищує вирізнення білих і сірих деталей на темному тлі. Чим вища яскравість сигналу, тим меншою є насиченість внаслідок більш широкого діапазону спектра відбитого випромінювання. Такий тип опрацювання зображення є особливо ефективним для посилення білих або сірих деталей на фоні темних областей, що покращує візуальне сприйняття, коли темні області мають порівняно великі розміри, зокрема для полегшує аналіз знімків у медицині [72, 86].

*Недоліки:* Негативне зображення дезорієнтує спостерігача і виключає можливість швидкого безпомилкового виокремлення об'єкта.

Хоча вся інформація про форму залишається незмінною, сильне і неприродне спотворення властивостей пігментації погано розпізнають, отже, людський мозок активно використовує властивості пігментації для розпізнавання [86].

*Виділення меж* – межі та краї областей сильно пов'язані, оскільки часто існує значний перепад яскравості на межах областей. Тому методи виокремлення меж використовуються як основа для методів кластеризації.

*Недоліки:* знайдені краї часто бувають розірваними. Проте для того, аби виділити об'єкт на зображенні, потрібні замкнені межі області. Крім того, перетворення областей зображень у випадку складних контурів потребує додаткового застосування топологічних перетворень [87].

*Логарифмічне перетворення.* Логарифмічне перетворення змінює яскравість пікселів зображення за логарифмічним законом. Особливість логарифмічного перетворення є здатність стискати динамічний діапазон зображень, які містять значні варіації значень сигналів пікселів .

*Переваги:* цей метод варто застосовувати у випадках значних перепадів яскравості у межах одного зображення для покращення видимості деталей для візуального сприйняття.

*Степеневе перетворення (гама-корекція)* – гама-кодовані зображення зберігають відтінки більш ефективно. Оскільки гама-кодування перерозподіляє тональні рівні ближче до того, як їх сприймають наші очі, для опису обраного діапазону тонів потрібно менше біт. Однак, гама-кодування ускладнює процес запису і демонстрації зображень в цілому. Кодоване зображення потребує застосування «корекції гами» на етапі перегляду, яка насправді приводить зображення у відповідність з вихідної освітленістю [75, 78].

*Кусково-лінійне перетворення*: різні діапазони яскравості розтягуються або стискаються за різними законами. Головною перевагою є можливість формування дуже складної функції перетворення.

*Недоліки*: це перетворення потребує введення великої кількості параметрів, що не завжди зручно. Крім того, функція повинна монотонно зростати і залишатися однозначною для виключення можливості появи помилкових деталей на зображенні.

*Перетворення гістограм (еквалізація) зображення*.

Еквалізація гістограми призводить до вирівнювання інтегральних площ рівномірно розподілених по діапазону яскравостей.

Одним із методів підвищення контрастності зображення, що дає змогу вирішити проблему покращення візуального сприйняття об'єктів, їх ідентифікації на деякому фоні, а також дає змогу краще оцінити розмір та форму об'єктів, є метод еквалізації (вирівнювання) гістограм. Метою еквалізації є вирівнювання частоти усіх рівнів яскравості по всьому зображенню, а результатом є гістограма, яка відповідає нормальному закону розподілу.

Результат опрацювання вхідного зображення можна описати рівнянням:

$$g(x,y) = T[F(x,y)], \quad (2.1)$$

де  $g(x,y)$  – вихідне зображення, отримане в результаті опрацювання,  $T$  – оператор перетворення над  $F(x,y)$ , який є визначеним у деякому околі точки,  $F(x,y)$  – вхідне зображення – кінцева дискретна кількість гістограм.

Головний підхід до визначення просторового околу точки  $(x,y)$  полягає у використанні квадратної або прямокутної області з центром в точці  $(x,y)$ . Перетворення  $T$  застосовується в кожній точці  $(x,y)$ . У результаті отримуємо вихідне значення  $g(x,y)$  для даної точки. У процесі обчислень використовуються тільки пікселі, розташовані всередині околу з центром, координати якого  $(x,y)$ .

Етапи процедури вирівнювання гістограми:

- 1) обчислення гістограми розподілу інтенсивностей елементів зображення;
- 2) побудова нормованої кумулятивної гістограми;
- 3) формування нового зображення.

Таким чином, попереднє перетворення породжує зображення, рівні інтенсивностей якого рівноймовірні і покривають увесь інтервал  $[0, 1]$ . Результатом процесу еквалізації зображення є збільшення динамічного діапазону рівнів інтенсивностей, що означає підвищення контрастності обробленого зображення.

Розглядаючи метод еквалізації (вирівнювання) гістограм, припустимо, що рівні яскравості на тестових зображеннях є неперервними величинами, розподіленими в діапазоні  $[0, 1]$ . Нехай  $f(x,y)$  – функція щільності розподілу ймовірностей (PDF, probability density function) рівнів яскравості цього зображення. Перетворення вхідних рівнів для отримання вихідних (опрацьованих) рівнів яскравості  $g(x,y)$ :

$$g(x, y) = T[f(x, y)] = \int_0^1 f(\omega) d\omega, \quad (2.2)$$

$$g(x, y) = T \begin{bmatrix} f(1,1) & f(1,2) & \dots & f(1,N) \\ f(2,1) & f(2,2) & \dots & f(2,N) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f(M,1) & f(M,2) & \dots & f(M,N) \end{bmatrix} = \int_0^1 f(\omega) d\omega = \begin{bmatrix} \int_0^1 f_{1,1}(\omega) d\omega & \int_0^1 f_{1,2}(\omega) d\omega & \dots & \int_0^1 f_{1,N}(\omega) d\omega \\ \int_0^1 f_{2,1}(\omega) d\omega & \int_0^1 f_{2,2}(\omega) d\omega & \dots & \int_0^1 f_{2,N}(\omega) d\omega \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \int_0^1 f_{M,1}(\omega) d\omega & \int_0^1 f_{M,2}(\omega) d\omega & \dots & \int_0^1 f_{M,N}(\omega) d\omega \end{bmatrix}, \quad (2.3)$$

де  $\omega$  – змінна за якою ведеться інтегрування. Таким чином, попереднє перетворення породжує зображення, рівні яскравості якого рівноймовірні і покривають увесь інтервал  $[0, 1]$ . Результатом процесу еквалізації зображення є збільшення динамічного діапазону рівнів яскравості, що означає збільшення контрастності опрацьованого зображення [71, 72].

*Переваги:* гістограмне опрацьовання є простою і для програмної, і для апаратної реалізації, тому є зручною для застосування в алгоритмах для опрацьовання зображень в реальному часі. Використовуючи інформацію, яка міститься в гістограмі, можна знайти функцію перетворення для досягнення

найкращого контрасту для візуального сприйняття, що може бути реалізовано простим обчисленням. Отже, гістограми, як інструмент опрацювання зображення, доцільно використовувати для забезпечення функціонування приладів у масштабі реального часу та для забезпечення автоматизації покращення зображення. Також методи цифрового опрацювання зображень взагалі і опрацювання гістограм зокрема можуть бути здійснені локально, тобто відносно певного елемента зображення. Крім того, зручно знаходити статистичні параметри з локальних гістограм. Локальні математичне сподівання і дисперсію використовують для локального опрацювання зі зміною контрасту, яку доречно застосовувати для зображень, де якість однієї частини задовільна, а інша може містити непомітні одразу деталі. Подібні проблеми постають при розробці приладів, які формують зображення для подальшого сприйняття оператором, або при покращенні знімків у різноманітних галузях.

*Поелементне перетворення.* У цьому випадку забезпечується незалежне опрацювання за яскравістю і за кольором. Зберігаються характеристики кольоровості зображення.

Виділення об'єктів за кольором проводиться з використанням колірних моделей, воно за характером є складнішим, ніж просте виділення за яскравістю, але дає змогу добитися кращих результатів у тих випадках, коли об'єкти з однаковими характеристиками яскравості відрізняються за кольором.

*Переваги:* можна використовувати інформацію складової ВЧ зображення, що міститься в компоненті насиченості. Перетворення з апаратно-орієнтованого колірною координатного простору в простір, орієнтований на користувача, яким є, зокрема, простір HLS, дає змогу виконувати перетворення над зображенням, не порушуючи балансу білого.

Процес перетворення зображень з метою зменшення або повного усунення аномальних значень яскравості точок на зображенні (дискретних

сигналах) називається фільтрацією. Існують дві групи методів фільтрації – просторові та амплітудно-частотні (або просто частотні) [91–92].

*Просторова фільтрація зображень.* Просторові методи є простішими для програмної реалізації і мають високу швидкодію, але при цьому є менш контрольованими та характеризуються досить обмеженими можливостями. Оператор просторової фільтрації має лінійну структуру і визначає лінійну згортку околу дослідженої точки з деякою просторовою матрицею або відцентрованою функцією:

$$g(x, y) = \sum_{s=-\frac{m-1}{2}}^{\frac{m-1}{2}} \sum_{t=-\frac{n-1}{2}}^{\frac{n-1}{2}} w[s, t] f(x + s, y + t), \quad (2.4)$$

де  $m, n$  - розміри просторового фільтра;

$w[s, t]$  – матриця оператора лінійної згортки;

$f[x, y]$  – початкова яскравість пікселя з координатами  $[x, y]$ ;

$g[x, y]$  – яскравість пікселя після фільтрації.

Як видно з формули, дія оператора визначається і обмежується розміром просторового фільтра та набором апріорно заданих значень матриці згортки. До того ж, потрібно використати деякі додаткові прийоми для опрацювання «країв» зображення.

*Лінійна просторова фільтрація* широко застосовується для придушення шумів в зображенні, для компенсації нерівномірності чутливості, створення ефектів розмиття зображень. Вона також широко застосовується в задачах виділення контурів на зображенні, підкреслення верхніх просторових частот.

При лінійній фільтрації обчислюється лінійна комбінація відліків сигналу.

*Основна перевага:* простота реалізації.

*Недоліки:* у результаті застосування лінійних згладжувальних фільтрів відбувається придушення шумів, але одночасно розмиваються межі між областями з різною амплітудою сигналу.

*Нелінійна просторова фільтрація.* Сигма-фільтр призначений для придушення шумів на зображенні зі збереженням контурів (різких меж областей).

Для зменшення розмиття меж при нелінійній фільтрації виконують нелінійні перетворення відліків сигналу в околі елементів, що визначаються маскою фільтра.

*Медіанний фільтр* характеризується тим, що медіанна фільтрація краще зберігає межі зображення, ніж будь-яка лінійна фільтрація. Медіанні фільтри пригнічують імпульсні шуми.

Недоліки: при збільшенні маски фільтра можна втратити інформацію про малорозмірні ділянки зображення і отримати спотворення меж областей, особливо у кутових положеннях [73-77].

При частотній фільтрації виконують пряме і зворотне просторово-частотне перетворення.

Частотні методи потребують більшого часу виконання та значних комп'ютерних ресурсів. Вони складніші для програмної реалізації, але характеризуються чудовими можливостями щодо керування процесом фільтрації, без особливих зусиль змінюючи параметри вихідного зображення. При частотній фільтрації виконують пряме і зворотне просторово-частотне перетворення.

*Дискретне перетворення Фур'є.* Пряме двовимірне дискретне перетворення Фур'є перетворює зображення, задане в просторовій координатній системі  $(x, y)$ , в двовимірне дискретне перетворене зображення, задане в частотній координатній системі  $(u, v)$ .

Найбільш популярним інструментом для частотної фільтрації дискретних обмежених за часом сигналів є дискретне перетворення Фур'є [92–93]. При застосуванні цього методу реальні значення сигналу намагаються апроксимувати комплексним тригонометричним рядом:



$$f(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} C(n) e^{ink \frac{2\pi}{N}} \quad (2.5)$$

де  $N$  – розмір дискретного сигналу,  $C(n)$  – комплексний коефіцієнт при тригонометричних функціях з індексом  $n$ , тобто амплітуди при тригонометричних функціях відповідної частоти,  $f(k)$  – значення дискретного сигналу у момент часу  $k$ .

Для обчислення комплексних коефіцієнтів використовуються інтегральні частотні характеристики всього дискретного сигналу:

$$C(n) = \sum_{k=0}^{N-1} f(k) e^{-ink \frac{2\pi}{N}} \quad (2.6)$$

Зміст фільтрації полягає в обмеженні набору вагових коефіцієнтів  $C(n)$  при відновленні (апроксимації) сигналу  $f(k)$ .

$$\bar{C}(n) = \begin{cases} C(n), & n1 \leq n \leq n2; \\ 0, & n \notin [n1, n2] \end{cases} \quad (2.7)$$

де  $[n1, n2]$  – потрібний діапазон частот для фільтрації. Маніпулюючи параметрами  $n1, n2$ , можна отримати частотний фільтр з потрібною дією – високочастотний, низькочастотний або смугоподібний фільтр.

Для реалізації частотних фільтрів із використання перетворення Фур'є розроблені швидкодіючі алгоритми, які покращують швидкісні параметри оператора. Обмежене застосування частотних фільтрів на базі дискретного перетворення обумовлено деякими особливостями перетворення. По-перше, для застосування фільтра потрібно мати повний образ сигналу, що неможливо забезпечити при синхронній динамічній фільтрації реальних сигналів. По-друге, за початковим образом отримуємо повний збалансований частотний образ, в якому завжди враховані специфічні локальні характеристики [77, 161].

Цих недоліків позбавлені фільтри, які побудовані на базі вейвлет-перетворень [78].

*Вейвлет-перетворення* сигналів є узагальненням спектрального аналізу, типовим представником якого є класичне перетворення Фур'є. Це перетворення так само, як і перетворення Фур'є, є комплексним.

Технологія використання вейвлет-перетворення пов'язана з можливістю розпізнавання локальних особливостей зображень шляхом видалення шумів, присутність яких є однією із основних проблем в умовах зйомки лісових пожеж.

Однак, порівняно з перетворенням Фур'є, вейвлет-перетворення має беззаперечні переваги при опрацюванні складних сигналів, оскільки на відміну від звичайних спектральних перетворень, дає змогу з однаковою точністю апроксимувати як гладкі функції, так і функції з різкими випадками, та визначати незначні об'єкти. Оскільки вейвлет-перетворення представляє собою згортку сигналу зображення з вейвлет-функцією, що зміщується відносно координат, цей метод близький за змістом до методів на основі фільтрації. Завдяки тому, що вейвлети працюють як з частотними, так і з просторовими характеристиками сигналів і здатні представляти їх локальні особливості, вейвлет-перетворення можна застосовувати для аналізу тонких особливостей складних сигналів і зображень, стиснення зображень та очистку їх від шуму. Крім того, попереднє вейвлет-опрацювання значно зменшує кількість вхідної інформації, що важливо для роботи в режимі реального часу [79].

Під час опрацювання цифрових зображень вейвлетне перетворення реалізується в такій послідовності:

1. Обчислюється двовимірне вейвлетне перетворення зображення.
2. Вносяться зміни в коефіцієнти перетворення.
3. Обчислюється обернене вейвлетне перетворення.

Опис прямого і оберненого дискретного вейвлет-перетворення  $G(u,v,...)$  отриманого при попередньому опрацюванні зображення  $g(x,y)$  розмірами  $M \times N$  наведено в [16]. Його можна виразити таким рівнянням:

$$G(u, v, \dots) = \sum_{x, y} g(x, y) j_{u, v, \dots}(x, y) \quad (2.8)$$

де  $x, y$  – просторові змінні, а  $u, v, \dots$  – змінні в перетвореній області. Знаючи  $G(u, v, \dots)$ , за допомогою узагальненого дискретного перетворення можна побудувати функцію  $g(x, y)$ :

$$g(x, y) = \sum_{u, v, \dots} G(u, v, \dots) h_{u, v, \dots}(x, y). \quad (2.9)$$

Члени  $j_{u, v, \dots}(x, y)$  та  $h_{u, v, \dots}(x, y)$  – прямі та обернені ядра перетворення. Вони визначають природу, обчислювальну складність та практичну користь цієї пари перетворень. Коефіцієнти перетворення  $G(u, v, \dots)$  – коефіцієнти розкладання функції  $g$  в ряд по  $h_{u, v, \dots}(x, y)$ . Ядро оберненого перетворення визначає множину функцій розкладання для розкладання в ряди функцій  $g(x, y)$  [77-80].

*Недоліки:* під час вейвлет- опрацювання зображень слід враховувати, що попереднє опрацювання підвищує ступінь схожості первинних та синтезованих зображень, а для підвищення інформативності зображень слід використовувати вейвлети Добеші високих порядків, наприклад, четвертого порядку, бо порівняно з вейвлетами Добеші першого порядку їх використання забезпечує найкращі показники інформативності синтезованих зображень [84].

Переваги та недоліки морфологічних методів опрацювання цифрових зображень наведені нижче.

*Бінаризація.* Застосовується для виділення області об'єкта інтересу, присутнього на зображенні, визначення його розмірів і площі.

*Недоліки:* бінаризації піддається зазвичай не початкове зображення, а деяке похідне, отримане після виділення будь-яких властивостей. Необхідність створення додаткового зображення ускладнює опрацювання в оперативній ситуації і визначення епіцентру пожежі.

*Метод водорозділу.* Розподіл дотичних предметів на зображенні є одним з важливих завдань опрацювання зображень. Часто для вирішення цього завдання використовується так званий метод маркерного водорозділу. При реалізації цього методу виконуються такі основні процедури:

1. Обчислюється функція сегментації. Вона стосується зображень, де об'єкти розміщені в темних областях і є важко помітними.
2. Обчислення маркерів переднього плану зображень. Вони обчислюються на підставі аналізу зв'язності пікселів кожного об'єкта.
3. Обчислення фонових маркерів. Вони є пікселями, які не є частинами об'єктів.
4. Модифікація функції сегментації на підставі значень розташування маркерів фону і маркерів переднього плану.
5. Обчислення на підставі модифікованої функції сегментації [81, 82].

Наступний метод опрацювання цифрових зображень – *кластеризація*, необхідність якої виникає під час аналізу зображень і полягає в розділенні пікселів зображень на групи (кластери) за ступенем «схожості».

У задачах кластеризації відбувається віднесення об'єкта до одного з заздалегідь визначених класів. Розподіл об'єктів за кластерами здійснюється при одночасному формуванні кластерів. Кластеризація дає змогу згрупувати подібні дані, що полегшує вирішення ряду задач Data Mining: вивчення даних, полегшення аналізу [82, 83].

Результатом визначення кластерів і розбиття за ними даних є створення підсумкової моделі даних. Великої популярності при вирішенні задач кластеризації набули алгоритми, засновані на пошуку оптимального розбиття множини даних на кластери. Ці алгоритми намагаються згрупувати дані в кластери таким чином, щоб цільова функція алгоритму розбиття сягала екстремуму (мінімуму). Найбільш популярним алгоритмом кластеризації такого типу є алгоритм k-середніх.

*Алгоритм k-середніх (k-means)*. Ідея методу полягає у визначенні центрів  $k$  кластерів та віднесення до кожного кластера об'єктів, що найбільш близько розташовані до цих центрів.

Метрика відстані загалом має вигляд:

$$d_A^2\left(m_{j,c}^{(i)}\right) = \left\|m_{j,c}^{(i)}\right\|_A^2 = \left(m_{j,c}^{(i)}\right)^l A\left(m_{j,c}^{(i)}\right), \quad (2.10)$$

де матриця  $A$  визначає спосіб обчислення відстані.

Алгоритм  $k$ -середніх, також званий швидким кластерним аналізом, є найбільш поширеним серед неієрархічних методів [96]. На відміну від ієрархічних методів, що не потребують попередніх припущень щодо числа кластерів, для можливості використання цього методу необхідно мати гіпотезу про найбільш ймовірну кількість кластерів.

Алгоритм  $k$ -середніх будує  $k$  кластерів, розташованих на можливо великих відстанях один від одного. Основний тип завдань, які вирішує алгоритм  $k$ -середніх – наявність припущень (гіпотез) щодо числа кластерів, і при цьому вони повинні бути різні настільки, наскільки це можливо. Вибір числа  $k$  може базуватися на результатах попередніх досліджень, теоретичних міркуваннях або інтуїції.

Загальна ідея алгоритму: задане фіксоване число  $k$  кластерів спостереження зіставляються кластерам так, що середні в кластері (для всіх змінних) максимально можливо відрізняються один від одного.

*Переваги* алгоритму  $k$ -середніх: простота використання, швидкість використання, зрозумілість і прозорість алгоритму.

*Недоліки* алгоритму  $k$ -середніх: алгоритм занадто чутливий до викидів, які можуть спотворювати середнє. Можливим вирішенням цієї проблеми є використання модифікації алгоритму – алгоритму  $k$ -медіани. До недоліків алгоритму  $k$ -середніх можна віднести і те, що він повільно працює на великих базах даних. Можливим вирішенням цієї проблеми є використання вибірки даних.

У контексті розглянутої задачі, метод передбачає вибір фіксованої

множини геометричних «центрів» областей і «протягування» до даних центрів інших точок зображення, яскравість яких відрізняється від яскравості вибраних точок менше за задане порогове відхилення.

*Алгоритм Fuzzy c-Means.* Одним із способів, що набули широкого поширення у використовуваних в даний час алгоритмах нечіткої кластеризації, є опис взаємозв'язку даних через їх належність до деяких еталонних зразків – центрів кластерів. У цих алгоритмах нечіткість проявляється в описі кластерів як нечітких множин, що мають ядро в центрі кластера. Цей алгоритм є узагальненням попереднього алгоритму. Його відмінність полягає в тому, що кластери тепер є нечіткими множинами і кожна точка належить різним кластерам з різним ступенем приналежності. Сума належностей елемента даних всім кластерам простору розбиття дорівнює одиниці:

$$u_{ij} \in [0;1], \sum_{i=1}^c u_{ij} = 1; 0 \leq \sum_{j=1}^d u_{ij} \leq d. \quad (2.11)$$

Точка належить до того чи іншого кластера за критерієм максимуму належності [82, 83].

Це методи, що базуються на застосуванні різних типів нейронних мереж (НМ).

Архітектура штучних НМ має деяку схожість з природними нейронними мережами. Вони призначені для вирішення різних завдань, можуть істотно розрізнятися алгоритмами, однак вони дають змогу просто й ефективно вирішити завдання відтворення образів за неповної та спотвореної інформації [87].

Нейромеревеві методи забезпечують швидке і надійне розпізнавання зображень. Легкість побудови програмних і апаратних моделей роблять ці мережі привабливими для багатьох застосувань. Невисока ємність мереж (кількість запам'ятовування образів) пояснюється тим, що мережі не просто запам'ятовують образи, а дають змогу їх узагальнювати, наприклад, за

допомогою мережі Хеммінга можлива класифікація за критерієм максимальної правдоподібності [88].

Навчання позбавляє необхідності вибирати ключові ознаки, їх значимість і відносини між ознаками. Але все ж вибір вихідного представлення вхідних даних (вектор в  $n$ -мірному просторі, частотні характеристики, вейвлети тощо), істотно впливає на якість рішення і є окремою темою. Нейронні мережі мають хорошу узагальнюючу здатність, тобто можуть успішно поширювати досвід, отриманий на кінцевому навчальному наборі, на безліч образів.

Розроблені нейромереві модулі використані для створення системи пошуку інформації, яка самостійно будує модель інтересів користувача і з поточної інформації вибирає таку, що найбільше його цікавить [89, 90, 168].

Нейромереві методи забезпечують швидке і надійне розпізнавання зображень.

Одна з переваг нейронних мереж, яка є також і недоліком при реалізації їх на послідовній архітектурі, – це те, що всі елементи можуть функціонувати паралельно, тим самим істотно підвищуючи ефективність вирішення завдання, особливо при опрацюванні зображень. Крім того, що нейронні мережі дають змогу ефективно вирішувати багато завдань, вони надають потужні гнучкі та універсальні механізми навчання, що є їх головною перевагою перед іншими методами (імовірнісні методи, лінійні роздільники, вирішальні дерева тощо). Навчання позбавляє необхідності вибирати ключові ознаки, їх значимість і відносини між ознаками. Але все ж вибір вихідного представлення вхідних даних (вектор в  $n$ -мірному просторі, частотні характеристики, вейвлети тощо), істотно впливає на якість рішення і є окремою темою. Нейронні мережі мають гарну узагальнюючу здатність (кращу ніж у вирішальних дерев), тобто можуть успішно поширювати досвід, отриманий на кінцевому навчальному наборі, на всю множину образів [90].

*Недоліки:* відбувається нове підвищення складності об'єктів опрацювання інформації, з якими людина може впоратися лише шляхом

підвищення рівня інтелектуалізації технічних засобів. При застосуванні цих методів до зображень тривимірних об'єктів виникають труднощі, пов'язані з просторовими поворотами і зміною умов освітленості [88-91].

Перспективним методом опрацювання цифрових зображень є використання *алгоритму швидко зростаючого нейронного газу* (fast Autonomous Growing Neural Gas, fAGNG) [91]. На відміну від існуючих алгоритмів, алгоритм fAGNG вводить декілька нейронів на кожній ітерації. Кількість доданих нейронів і згенерованих вхідних даних можуть встановлюватися автономно і динамічно.

*Переваги:* гнучкість та швидка адаптація, висока якість представлення вхідного простору дають змогу використовувати моделі, створені на основі даного алгоритму в умовах реального часу. Можливість виявляти зміни. Скорочення обчислювальної складності опрацювання зорової інформації завдяки використанню пам'яті для зберігання попередніх обчислень.

Недоліки: в умовах обмеженості часу не вдається виробити оптимальну топологічну карту для кожного набору вхідних даних [91, 129].

Аналіз результатів кореляційно-оптичного підходу до проблеми голографічної асоціативної пам'яті [92, 93] показав, що метод оптичної голографічної асоціативної пам'яті придатний для виявлення малих змін в об'єктній сцені, що важливо, зокрема, при ранній реєстрації лісових пожеж. Цей метод доцільно застосовувати у випадку неповних спотворених зображень – зокрема, зображення осередків пожеж. У ході реалізації цього методу автори показали можливість фізичного моделювання процесу розпізнавання складних образів та їх відновлення за асоціативним принципом. Детектування й локалізація змін здійснюється за перепадом інтенсивності по полю зображення (ефект інверсії яскравостей у фантомному зображенні безопорної голограми): яскравість зображення зміненої ділянки виявляється вищою, причому тим більшою, чим менші зміни у порівнянні з еталонним зображенням [96].



*Переваги:* фізичне моделювання процесу розпізнавання складних образів та їх відновлення за асоціативним принципом дає можливість:

- 1) відновлення цілого за його фрагментом;
- 2) виявлення помилок на зображенні (за перепадом контрасту);
- 3) асоціативне відновлення відбувається з «Корекцією помилок».

Причому як амплітудних помилок (втрата частини інформації), так і фазових помилок (втрата контрасту). Крім того, можливе відновлення зображення і при цьому підвищення його контрастності.

Оператор при розпізнаванні здійснює реконструкцію зображення, відновлює його за спотвореною або неповною версією. Це суттєво при виявленні початкової стадії пожежі, коли різниця між яскравостями та контрастом тла і осередку пожежі є малою.

У випадку спроби відновлення інформації голографічним методом між джерелом опромінення та об'єктом немає необхідності розміщувати складні установки, адже передача відбувається у вільному просторі.

*Недоліки:* основною проблемою широкого застосування голографічної асоціативної пам'яті є розроблення належної технології оптичних матеріалів, яка була б достатньо гнучкою і для створення архівів (постійної) пам'яті і для опрацювання даних в реальному часі [97–100].

*LIDAR-технологія (Light Detection and Ranging)* – технологія, суть якої полягає в отриманні даних про віддалені предмети за допомогою опрацювання сигналу відбитого світла. Як джерело світла використовується лазер, головними властивостями якого є когерентність, висока щільність і миттєва потужність випромінювання. Поверхня землі знімається з літака, що летить на висоті близько 2,5 км. Щільність отриманих даних – 1 точка на 2,5 метрів. Похибка в точності отримання даних не перевищує 10–12 см. Системи є достатньо продуктивними – вимірювання проводяться зі швидкостями від 10 000 до 80 000 лазерних імпульсів на секунду. Застосування LIDAR – технології в системах протипожежного моніторингу лісів забезпечує точність цифрової моделі рельєфу місцевості, що дає змогу

виявити найменші вигорілі ділянки лісу. На відміну від пасивних інфрачервоних систем, які розпізнають тільки теплові аномалії, LIDAR виявляє дими за аномаліями, що породжуються частками горіння, зміною хімічного складу та прозорості повітря і з успіхом може бути використаний для раннього визначення та оповіщення про лісові пожежі. Технологія з радіусом виявлення димів в 20 км була вперше заявлена у 1990 р., активний пошук оптимальних конфігурацій систем ведеться і в наш час [59, 115].

До недоліків систем на основі LIDAR-технологій слід віднести їх високу технологічність та дороговизну. Крім того, інфрачервоні лазери, що використовуються в багатьох системах LIDAR, не проникають крізь туман або дощ, а інформація, отримана за допомогою цих систем, потребує додаткового опрацювання [103].

Отже, можна прийти до висновку, що не існує одного конкретного математичного методу, який дасть змогу вирішити всі поставлені завдання. Для зручності аналізу всі розглянуті методи були консолідовані в таблицю 2.1 із зазначенням переваг та недоліків кожного за такими критеріями:

- збільшення яскравості та контрасту;
- фільтрація;
- відновлення втрачених ділянок;
- знаходження об'єктів та їх ідентифікація на деякому фоні;
- правильна передача кольорів по всьому діапазону;
- оцінка геометричних трансформацій та суміщення зображень;
- оцінка параметрів;
- стиснення зображень.

У результаті попереднього аналізу методів опрацювання цифрових зображень, а також з урахуванням психофізичних властивостей людського зору, з цілого ряду задач розпізнавання ми виокремили ті, розв'язок яких призведе до суттєвого підвищення інформативності знімків в умовах спостереження за лісовими пожежами. Оскільки досліджувані знімки містять значні завади та шуми у вигляді диму та хмар, турбулентностей атмосфери,

складних рельєфів, а також отримані в нестабільних умовах зйомки, збоїв передачі сигналу, що може призводити до втрати важливих інформативних фрагментів, то основними задачами опрацювання є підвищення контрастності, фільтрація, відновлення втрачених ділянок, їх ідентифікація на деякому фоні. В окремих випадках може бути корисним знаходження та оцінка геометричних параметрів об'єктів.

*Правильна передача кольорів по всьому діапазону* не впливає на швидкість та безпомилковість розпізнавання, а іноді навіть перешкоджає йому, оскільки кольори шуканого об'єкта та тла можуть збігатися. У такому разі доцільним є приглушення одних кольорів і насичення інших, адже поліпшення зображення полягає в зміні його властивостей, яка веде до більш комфортного суб'єктивного сприйняття цього зображення, на відміну від досягнення повної ідентичності з реальним.

*Проблема оцінки геометричних трансформацій, суміщення, стиснення зображень* у нашому випадку також не є визначальними, оскільки досліджувані зображення отримані за допомогою надійних неперевантажених каналів передачі даних. Таким чином, нами був визначений перелік основних задач, які має вирішувати запропонована інформаційна технологія в автоматичному режимі.

У відповідності із поставленими задачами, були обрані методи, використання яких дозволяє їх вирішити, тобто досягти максимального ефекту підвищення інформативності цифрових зображень в заданих умовах. Як видно з таблиці 2.1., досягнення цього ефекту можливе лише шляхом комбінації декількох математичних методів. Зокрема, послідовним використанням таких математичних методів: підвищення контрастності зображення (К), вейвлет-перетворення (В), кластеризація (Кл). Послідовне використання зазначених методів дасть змогу розв'язати всі вищенаведені задачі. Однак вони потребують вдосконалення та адаптації з урахуванням мультиплатформних та апаратних характеристик пристроїв керування БПЛА. Надалі, в ході дослідження, ефективність кожного з обраних методів та їх комбінацій була перевірена експериментально.

Таблиця 2.1

**Основні методи комп'ютерного опрацювання зображень, що використовуються з метою покращення якості сприйняття**

Основні методи комп'ютерного опрацювання зображень, що використовуються з метою покращення якості сприйняття людиною		Чи забезпечують перелічені методи вирішення основних задач розпізнавання людиною-оператором об'єктів на космічних та аерофотознімках								
		Збільшення яскравості та контрасту	Фільтрація	Відновлення втрачених ділянок	Знаходження об'єктів та їх ідентифікація на деякому фоні	Правильна передбача кольорів по всьому зображенню	Оцінка геометричних трансфор- мацій та суміщення зображень	Оцінка параметрів	Стиснення зображень	
Перетворення яскравості	Лінійне контрастування	+	-	-	+	-	+	+	-	
Перетворення яскравості та просторова фільтрація	Перетворення зображення в негатив	+	-	+	-	-	-	-	-	
	Виділення меж	+	-	-	+	-	+	-	-	
	Логарифмічне перетворення	-	-	-	+	+	+	-	-	
	Степене перетворення (гамма-корекція)	-	-	-	+	+	+	-	+	
	Кусково-лінійне перетворення	-	+	-	+	-	-	-	-	
	Перетворення гістограм (еквалізація)	+	-	-	+	+	+	-	-	
	Поелементне перетворення	-	-	-	+	+	-	-	-	
	Просторова фільтрація Лінійна просторова фільтрація Нелінійна просторова фільтрація (сигма-фільтр, медіанний фільтр)	+	+	-	-	-	+	+	-	
Опрацювання в частотній області. Частотна фільтрація зображень. (пряме і зворотне просторово-частотне перетворення)	Дискретне перетворення Фур'є.	+	+	+	+	-	-	+	+	
	Вейвлет-перетворення	-	+	+	+	+	+	+	+	
	Низькочастотна фільтрація.	-	+	-	+	-	-	-	+	
	Високочастотна фільтрація.	-	+	-	+	-	-	-	-	
Морфологічні методи	Бінаризація	-	-	-	+	-	+	+	-	
	Метод водорозділу	-	-	+	+	-	-	+	-	
Кластеризація	-	-	-	+	-	+	+	-		
Використання алгоритму швидкозростаючого нейронного газу	-	-	+	+	-	+	+	-		
Нейромережеві технології	+	-	-	+	+	+	+	-		
Метод оптичної голографічної асоціативної пам'яті	+	-	+	+	+	+	+	-		
LIDAR-технологія	-	-	-	+	+	+	+	-		

Таким чином, було удосконалено систему опрацювання цифрових зображень з метою раннього виявлення на них осередків лісових пожеж.

## **2.2. Методологічні основи автоматичної адаптації параметрів вейвлет-перетворення та частоти опрацювання кадрів до технічних характеристик пристроїв керування**

Задачі, які має виконувати БПЛА, можуть бути розділені на такі етапи:

- проведення відеозйомки;
- передача відеосигналу на пульт керування;
- аналіз зображень на предмет виявлення осередку пожежі;
- у разі виявлення осередку пожежі – передача на центральний пульт

ДСНС оригіналу та опрацьованого фото (відео), GPS-координат осередку пожежі.

Актуальним є питання аналізу зображень на предмет виявлення осередку пожежі у фоновому режимі. У попередньому підрозділі були визначені математичні методи, що можуть бути покладені в основу інформаційної технології раннього виявлення осередків лісових пожеж з метою подальшого розвитку та вдосконалення системи протипожежного моніторингу. Однак необхідно удосконалити ці методи шляхом адаптації їх за критерієм швидкість/точність, що залежить від пристрою керування. Для реалізації цього функціонування ІТ реалізовується в два етапи. На першому етапі відбувається адаптація параметрів математичних моделей під технічні характеристики пристроїв керування. Після чого система переходить на другий етап функціонування – безпосередній пошук осередків лісових пожеж. В загальному прийняття рішення на основі відеопотоку з БПЛА може бути представлене за допомогою структурної схеми (рис. 2.2).

Принцип прийняття рішення складається з таких послідовних етапів:

1. Отриманий з квадрокоптера відеопотік розкладається на серію окремих кадрів. Як показав проведений аналіз математичних методів, перетворення контрастності не займає багато обчислювального часу, тому, незалежно від етапу роботи, кожен окремий кадр проходить попереднє опрацювання за допомогою перетворення контрастності.

2. У разі перебування ІТ на першому етапі, відбувається адаптація параметрів вейвлет-перетворення під технічні характеристики пристрою керування (цей розрахунок є довготривалим).

3. Кожен кадр піддається вейвлет-перетворенню.

4. У разі перебування ІТ на першому етапі, проводиться навчання нейронної мережі на тестових кадрах. Для визначення об'єкта запалювання запропоновано використати методи кластеризації, що розділять всю множину кольорів відеоряду на 3 кластери: природні, неприродні (на кшталт осередку пожежі) та неприродні (на кшталт намету чи одягу людей).

Прийняття рішення на основі навченої нейронної мережі чи нечіткої логіки та донавчання останньої. Оскільки перший етап роботи запропонованої інформаційної технології (навчання та адаптація), фактично представляє собою розширений варіант другого етапу, проведемо спочатку формалізацію другого етапу функціонування інформаційної технології. Як було зазначено вище, функціонування інформаційної технології на другому етапі включає в себе послідовне опрацювання кожного кадру методами підвищення яскравості та контрасту, вейвлет-перетворення та кластеризації, завдяки чому підвищується інформативність цифрових зображень зашумлених осередків лісових пожеж - після опрацювання шуканих деталей - осередки пожеж - можуть бути безпомилково розпізнані. Раннє виявлення джерела запалювання забезпечує своєчасність прийняття рішення про наявність небезпеки і унеможливорює переростання осередку пожежі в широкомасштабну катастрофу.

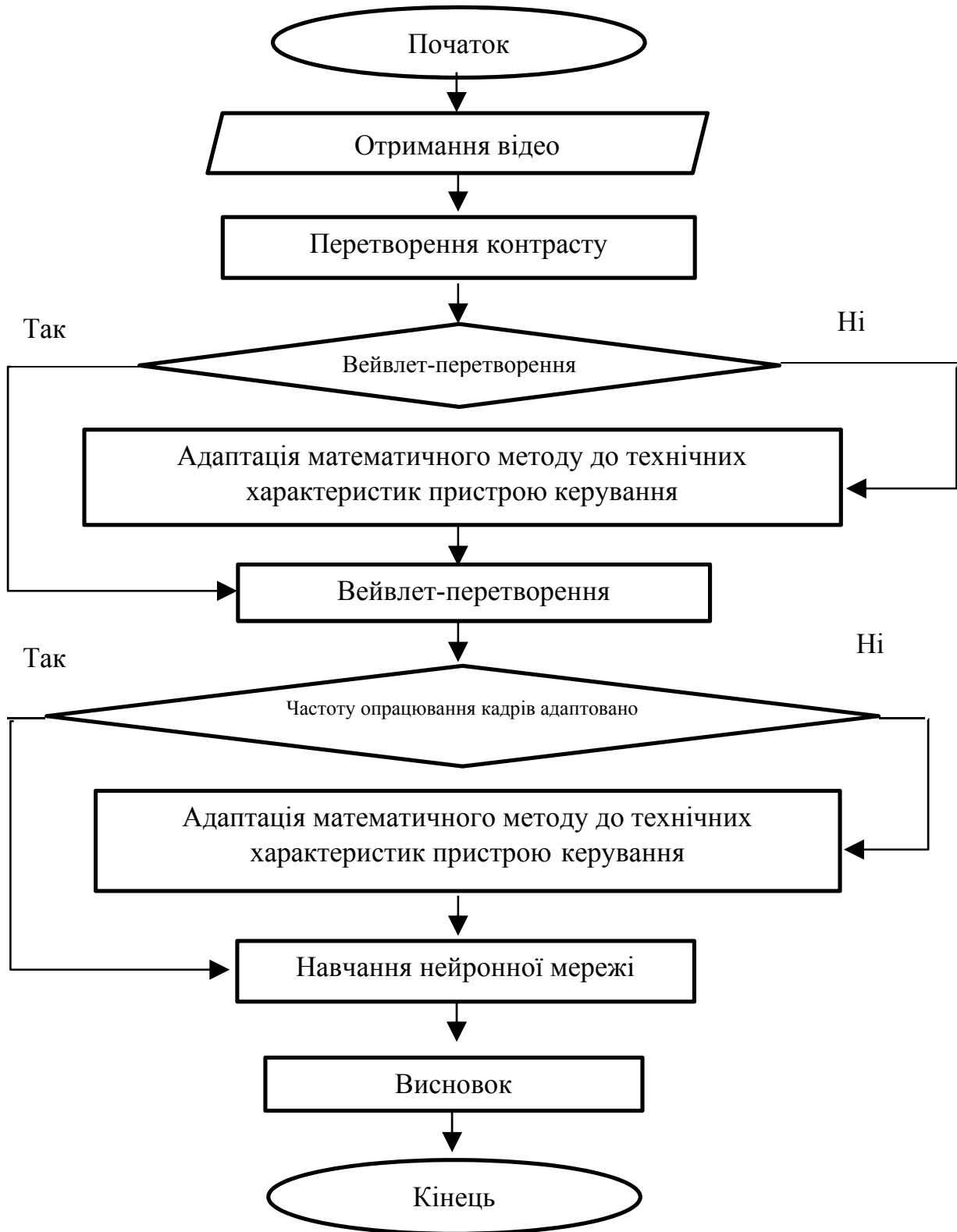


Рисунок 2.2 – Схема прийняття рішення про наявність осередку лісової пожежі

В загальному необхідно знайти функціональну залежність типу:

$$\text{Connect :Video}^i \rightarrow \text{Operator} . \quad (2.12)$$

Ця функціональна залежність перетворює отриманий відеопотік на сигнал, зрозумілий оператору (опрацьоване відео).

Оскільки опрацювання сигналу проходить у режимі реального часу, то схему прийняття рішень зручно представити у вигляді мереж Петрі (рис. 2.3), що представляє собою спрямований граф, кожен вузол якого – результат математичного перетворення, а гілки графа процес перетворення одного вузла в інший, що займає відповідний час  $t$ .

Представлення процесу у вигляді мережі Петрі наведено на рисунку 2.3.

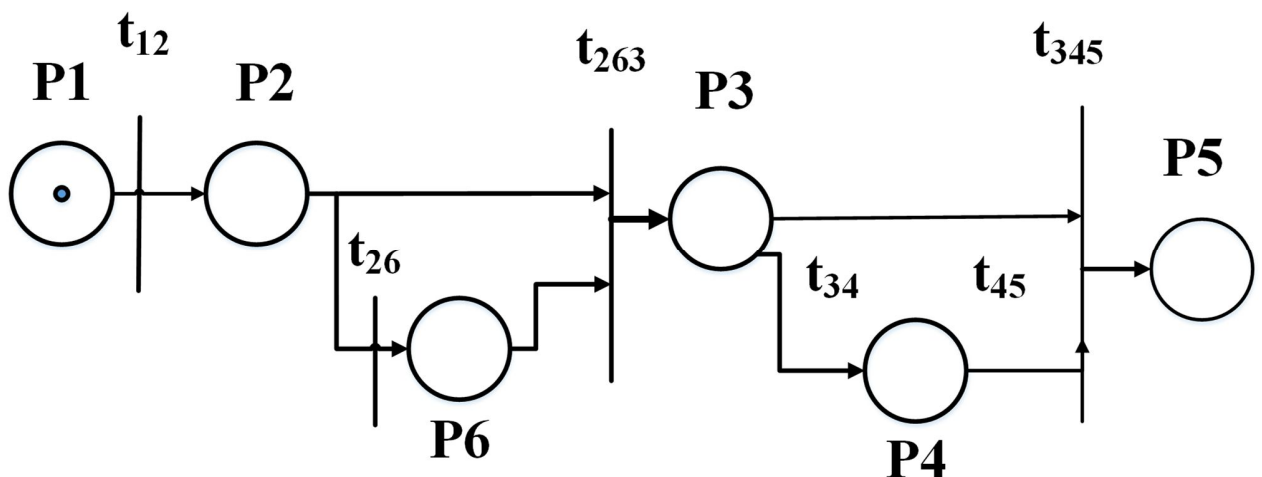


Рисунок 2.3 – Мережа Петрі прийняття рішення про наявність осередку лісової пожежі

$$P = \{ p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6 \} \quad \text{позиції;}$$

$$T = \{ t_{12}, t_{26}, t_{263}, t_{34}, t_{45}, t_{345} \} \quad \text{переходи.}$$

P1 – отримання відео;

P2 – перетворення контрастності;

P3 – вейвлет-перетворення;



P4 – навчання нейронної мережі;

P5 – кластеризація;

P6 – адаптація до технічних характеристик пристрою.

Її можна представити у вигляді кортежу окремих функціоналів, що реалізують три вищезазначені етапи перетворення кадрів зображення:

$$S(\text{Operator}) = \langle \text{Etap}_1, \text{Etap}_2, \text{Etap}_3 \rangle \quad (2.13)$$

Для цього відеопотік розкладається на множину кадрів:

$$\text{Video}^i = \left\{ \text{Cadr}_1^i, \text{Cadr}_2^i \dots \text{Cadr}_{n_i}^i \right\} \quad (2.14)$$

Кожен окремий кадр проходить перетворення контрасту:

$$\text{Etap}_1: \text{Cadr}_j \xrightarrow{\text{перетворення контрасту}} \text{Cadr}_j' \quad (2.15)$$

Результатом є кадр (фото), що володіє кращим контрастом та яскравістю. Далі проводиться Фур'є перетворення:

$$\text{Etap}_2: \text{Cadr}_j' \xrightarrow{\text{вейвлет-перетворення}} \overline{\text{Cadr}_j'} = (C'_{j1}, C'_{j2}, \dots, C'_{jn}). \quad (2.16)$$

У результаті отримуємо множину квантованих зображень оригінального кадру з меншою роздільною здатністю. Далі перетворений кадр подається на вхід нейронної мережі, що розділяє його на вищезазначені кластери:

$$\text{Etap}_3: \overline{\text{Cadr}_j'} \xrightarrow{\text{кластеризація } k\text{-means, } c\text{-means}} \text{Class}_k \quad (2.17)$$

В якості методу перетворення контрастності була обрана еквалізація гістограм. Це дає змогу з великою швидкістю і без додаткових налаштувань підвищити контрастність знімка, що містить задимлене чи зашумлене зображення відповідно до якого:

$$\text{Cadr}_j' = \int_0^1 f(\omega)_{\text{Cadr}_j} d\omega, \quad (2.18)$$

де  $f(\omega)_{Cadr_j}$  – функція щільності розподілу ймовірностей рівнів яскравості кадру, що опрацьовується.

Для зменшення розміру зображення з мінімізацією втрати інформації, що є необхідною умовою для підвищення швидкості навчання нейронної мережі, в якості наступного етапу опрацювання було обране вейвлет-перетворення. Основною ідеєю цього методу є заміна множини базових тригонометричних функцій, при яких враховуються інтегральні характеристики всього сигнального ряду, новими функціями, що максимально враховують поведінку сигналу в околі дослідженої точки і обмежують вплив значень сигналу на точки віддалені від дослідженої точки сигналу. Основними критеріями налаштування перетворення слугували тип вейвлет-функції та процент нульових вейвлет-коефіцієнтів:

$$\vec{Cadr}'_j \left( C'_{j_1}, C'_{j_2}, \dots, C'_{j_n} \right) = WF(Cadr'_j, F_w, Z) \quad (2.19)$$

де  $F_w$  – вейвлет-функція,  $Z$  – процент нульових коефіцієнтів,  $n$  – рівень квантування,  $C'_{j_1}, C'_{j_2}, \dots, C'_{j_n}$  – квантовані зображення кадру  $Cadr'_j$ .

Для визначення осередків запалювання були протестовані (розділ 4) різні види методів кластеризації. Основна гіпотеза використання цих методів полягала в тому, щоб розділити кольори кадрів на кластери природного та неприродного походження. Перевагою цього підходу є швидкість прийняття рішення та відсутність прив'язки до контурів шуканого об'єкта, а отже, є можливість визначення осередків пожеж крізь гілки та інші завади. У якості методів були обрані: метод  $k$ -середніх ( $k$ -means), алгоритм fuzzy c-means та карти Кохонена. Під час тестування було встановлено, що для цього класу задач карти Кохонена показали найдовший час навчання. Методи  $k$ -means та fuzzy c-

means показали приблизно однакові показники часу навчання, однак для автоматичного аналізу зручним виявився fuzzy c-means:

$$\overset{\rightarrow}{Class}_j(\mu_1, \mu_2, \mu_3) = FC(C'_{j1}), \quad (2.20)$$

де  $C'_{j1}$  – квантоване зображення першого рівня вейвлет-перетворення,  $FC$  – функція кластеризації,  $\mu_1, \mu_2, \mu_3$  – матриці функцій належності точок зображення до кластеру 1, 2, 3 відповідно.

Критерієм для автоматичного повідомлення про небезпеку було запропоновано визначення відносної кількості точок зображення, що належать до нечіткого кластера неприродних кольорів  $\alpha$ -рівня:

$$Signal = \begin{cases} 1, & \frac{\sum_{p=1, \mu_2 p > \alpha}^m 1}{m} > P \\ 0, & \frac{\sum_{p=1, \mu_2 p > \alpha}^m 1}{m} \leq P \end{cases}, \quad (2.21)$$

де  $m$  – кількість точок зображення  $C'_{j1}$ ,  $P$  – порогове значення точок зображення, що належать до другого кластеру  $\alpha$ -рівня.

Рішення про автоматичне інформування диспетчерського пункту ДСНС приймається, якщо протягом серії з  $S$  послідовних кадрів  $Signal$  буде дорівнювати одиниці.

Для ефективної роботи та прийняття рішення необхідно знайти оптимальне співвідношення між точністю визначення осередку пожежі та часом обробки. Оскільки опрацювання відеопотоків відбувається на пристроях користувачів, то основним завданням є адаптація математичних методів під конкретні швидкісні характеристики пристроїв.

Як було зазначено вище, до математичних моделей, які потребують багато часу для розрахунку, слід віднести вейвлет-аналіз та процес навчання нейронної мережі. Оскільки процес донавчання залежить від множини кадрів і може

відбуватись на окремому ядрі пристрою керування, а перше навчання буде відбуватись на першому етапі функціонування інформаційної технології, то адаптувати цей математичний апарат не доцільно. Вейвлет-аналіз ж проводиться окремо для кожного кадру в режимі реального часу, тому саме для реалізації цього математичного методу на конкретному пристрої необхідно адаптувати його параметри.

Перший етап функціонування ІТ може бути формалізований у вигляді мереж Петрі (рис.2.4).

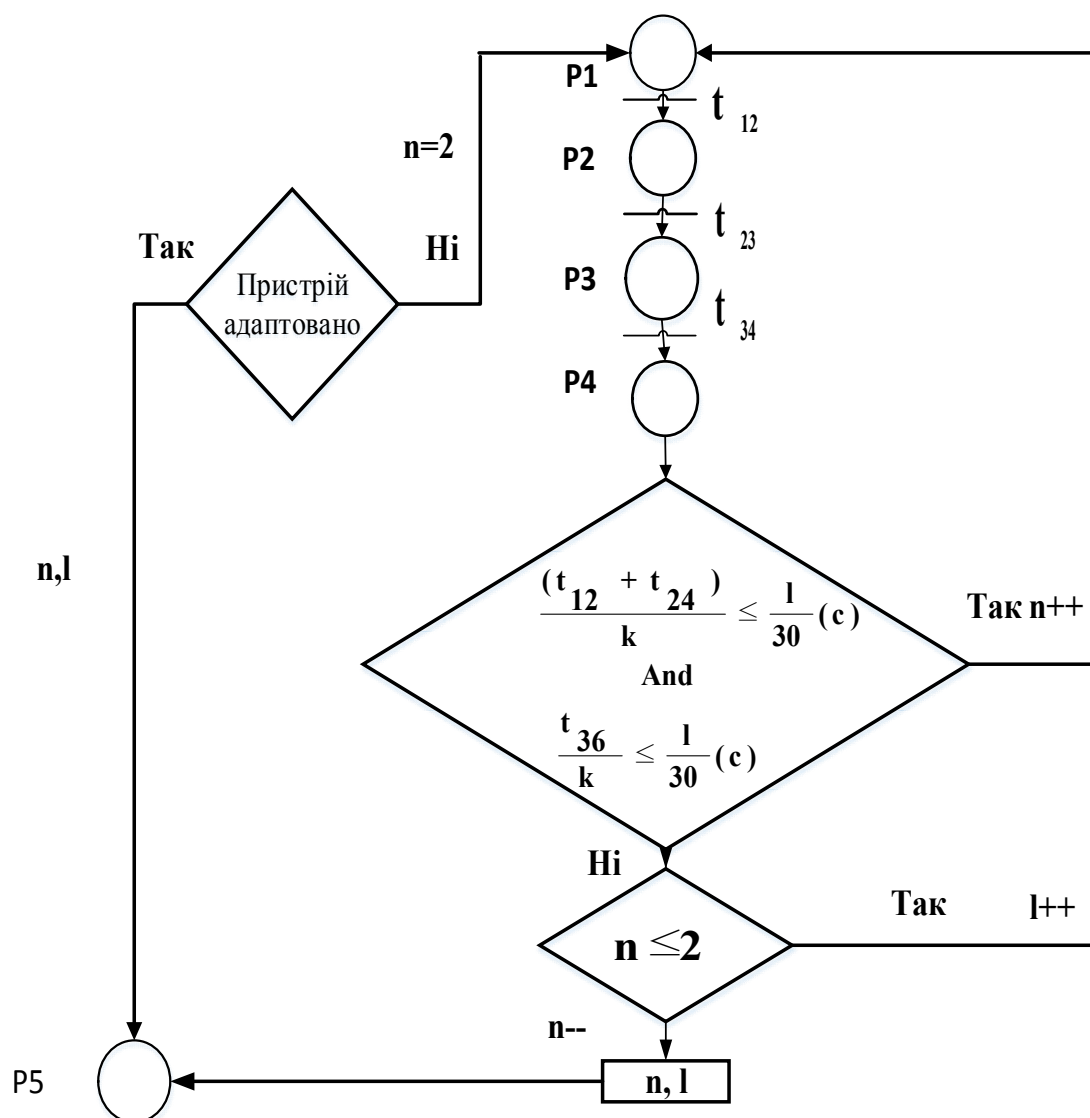


Рисунок 2.4 – Мережа Петрі методу адаптації параметрів вейвлет-перетворення до технічних характеристик пристроїв керування

Перший крок адаптації параметрів моделі (рис 2.3. Р6) відбувається на серії з  $k$  кадрів, які проходять всі етапи опрацювання: Р1– отримання відео; Р2– перетворення контрастності; Р3– вейвлет-перетворення; Р4– навчання нейронної мережі; Р5– кластеризація; Р6– адаптація до технічних характеристик пристрою.

Кількість рівнів вейвлет-перетворення на першому проході задається рівним 1. Частота опрацювання кадрів  $l=1$ . Після першого проходження оцінюється час попереднього опрацювання  $t_{12}+t_{23}$  зображень та час кластеризації  $t_{45}$ , що не повинен перевищувати тривалість одного кадру ( $1/30$  с). У випадку, якщо ці часи є меншими за тривалість одного кадру, кількість рівнів вейвлет-аналізу збільшується на 1 і алгоритм повторюється. Якщо при  $n=1$  умови не виконуються, це означатиме, що пристрій керування є повільним і приймається рішення опрацювання кожного  $l$ -го кадру. Отже, в результаті адаптації визначаються 2 характеристики: кількість рівнів вейвлет-перетворення ( $n$ ) та частота опрацювання кадрів ( $l$ ).

Таким чином, було знайдене оптимальне співвідношення між точністю визначення осередку пожежі та часом опрацювання, розроблено метод адаптації математичних методів опрацювання зображень до технічних характеристик пристроїв керування БПЛА, що необхідно для ефективної роботи в фоновому режимі та вчасного прийняття рішення.

### **2.3. Розроблення методу опрацювання відеопотоків**

Як було показано вище, процес прийняття рішень складається з послідовних етапів розрахунку за допомогою різних типів математичного апарату. Для розв'язання такого класу задач не достатньо одного потужного процесора. Як показано в роботах [103–105], вони досить ефективно

розпаралелюються на окремі блоки, за розв'язання кожного з них відповідає окреме ядро чи процесор. Зокрема переваги паралельних обчислень втілені в гетерогенній процесорній архітектурі HSA (Heterogeneous System Architecture) консорціуму HSA Foundation, яка об'єднує скалярні обчислення на CPU, паралельні обчислення GPU і оптимізоване опрацювання сигналів DSP через когерентний доступ до пам'яті.

Один з них – метод Хаара розпізнавання образу. Цей метод є багатоступеневим аналізом відеопотоку з метою ідентифікації осіб. Його суть полягає в тому, що опрацювання груп пікселів зображення проходить в кілька етапів (каскадів).

Швидкодія алгоритму досягається тим, що в рамках кожного каскаду дані для опрацювання залежно від їх типу відразу ж розподіляються між CPU і GPU без будь-якого копіювання в пам'яті або непотрібного використання кеша. В результаті ми отримуємо більш високий рівень продуктивності, ніж у випадку з використанням тільки CPU або GPU. Продуктивність HSA перевищує продуктивність сучасних платформ в 2,5 раза. При цьому гетерогенна архітектура споживає в 2,5 раза менше енергії.

Завдяки використанню паралельних алгоритмів з'явилася можливість реалізації алгоритмів одночасного спостереження за об'єктами в відеопотоці. При цьому процес відбувається в реальному масштабі часу, а відео є повноцінним 30fps. Реалізація такого алгоритму на сучасних багатоядерних CPU CUDA дає приріст продуктивності у 2–3 рази.

Розвиток багатопроцесорних архітектур та технологій паралельних обчислень стимулює розширення їх застосування, зокрема для інформаційно-вимірjuвальних систем, які повинні забезпечити контроль параметрів і характеристик технологічного обладнання в особливих умовах експлуатації.

Показовим є досвід використання подібних сучасних інформаційно-вимірjuвальних систем в сукупності з безпілотними авіаційними комплексами і

створення на їх основі нового класу безпілотних авіаційних вимірювальних систем, здатних проводити дистанційний моніторинг техногенно небезпечних об'єктів, в тому числі Чорнобильської атомної електростанції, атомної електростанції Фукусіма тощо. Такі системи здатні забезпечити спостереження та збір вимірювальної інформації в автоматичному режимі на великих ділянках навколо об'єктів контролю, у шкідливих для людини умовах і важкодоступних ділянках місцевості. Більшість з цих функцій можуть бути реалізовані за допомогою дистанційної участі оператора в процесі вимірювань [106].

Основним недоліком такого підходу є те, що необхідно створювати спеціалізоване апаратне забезпечення, яке є достатньо дорогим і орієнтованим на розв'язання одного класу задач. Тому такі підходи йдуть врозріз концепції залучення неспеціалізованих БПЛА зі стандартним обладнанням. Однак основні принципи функціонування таких систем можуть бути використані як основа запропонованої ІТ.

Як було зазначено вище, процес прийняття рішень можна розбити на серію інформаційно незалежних частин, для прискорення опрацювання даних був розроблений метод автоматизованого пошуку осередків лісових пожеж із використанням паралельних розрахунків у фоновому режимі, що забезпечує розподіл та оптимізацію використання ресурсів БПЛА (рис. 2.5). Оскільки більшість сучасних пристроїв керування оснащені чотириядерними і більше процесорами, то метод був оптимізований саме для них. Алгоритм розрахунку згідно із запропонованим методом, виглядає таким чином:

*Етап навчання та адаптації.* Для серії кадрів тривалістю  $\Delta t_1$ :

- кожен кадр отриманого відеопотоку проходить попереднє опрацювання (підвищення контрастності та вейвлет-перетворення) на першому ядрі процесора та наповнює навчальну вибірку, яка буде використана для навчання нейронної мережі;

- по закінченні  $\Delta t_1$  початкова навчальна вибірка подається на друге ядро для навчання нейронної мережі, що триватиме протягом часу  $\Delta t_2$ ;
- поки триває навчання нейронної мережі, перше ядро доповнює навчальну вибірку на основі наступних кадрів;
- по закінченні часу  $\Delta t_2$  навчена нейронна мережа надсилається на третє ядро процесора, де відбувається кластеризація та оцінка часу розрахунку;
- після оцінки часу, модифікуються параметри вейвлет-перетворення  $n$  та частоти опрацьованих кадрів  $l$  та повторюються всі кроки, поки не будуть визначені оптимальні параметри методу для конкретного пристрою керування.

*Етап прийняття рішень* складається з циклів донавчання та кластеризації:

- кожен цикл триває стільки часу, скільки необхідно для донавчання нейронної мережі і модифікується в ході функціонування алгоритму;
- після завершення навчання та адаптації, а також на початку кожного циклу навчена нейронна мережа передається на третє ядро для проведення кластеризації кадрів та формування вихідного відеоряду. Відеодані для цього надходять в режимі реального часу з першого ядра;
- отримана доповнена навчальна вибірка з першого ядра передається на донавчання на друге ядро, після чого формує наступну навчальну вибірку.
- друге ядро проводить донавчання мережі. Після закінчення навчання цикл повторюється.

Структурна схема функціонування розподілених розрахунків наведена на рисунку 2.5. У разі виявлення осередку лісової пожежі, згідно з формулою (2.19), вихідний відеоряд разом з оригіналом та GPS-координатами пересилається на пульт ДСНС, де оператор підтверджує чи спростовує наявність осередків лісової пожежі і приймає рішення про вживання спеціальних заходів чи залучення додаткових БПЛА для дообстеження території.



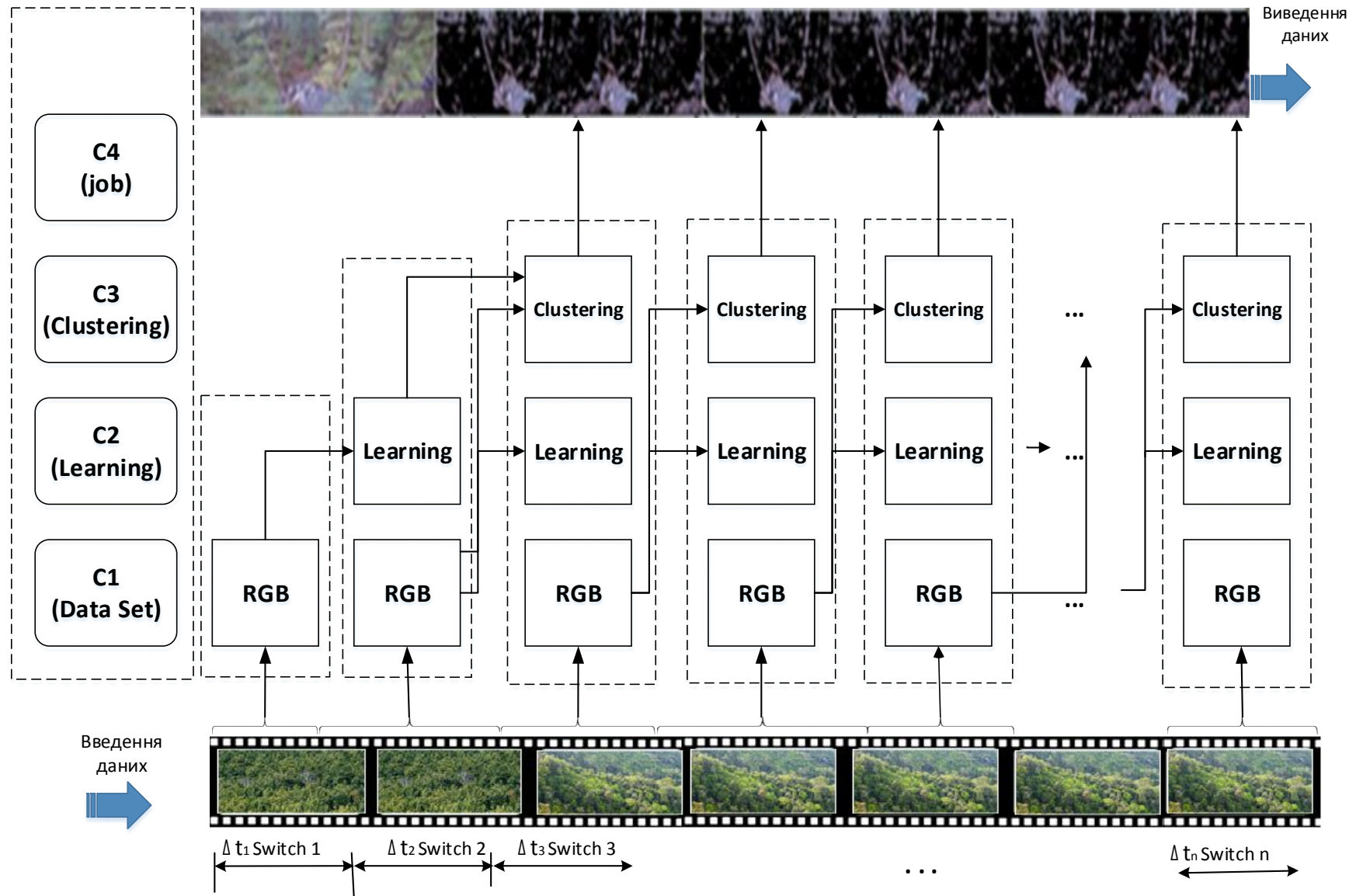


Рис.2.5. Структурна схема функціонування розподілених розрахунків визначення осередків лісових пожеж

Отже, розроблений метод автоматизованого пошуку осередків лісових пожеж та сповіщення ДСНС з використанням паралельних обчислень розрахований на використання пристроїв керування із чотириядерними процесорами у фоновому режимі, що забезпечує розподіл та оптимізацію використання ресурсів БПЛА та пристрою керування.

## Висновки до розділу 2

1. Досліджено основні математичні методи комп'ютерного опрацювання зображень, отриманих з борту БПЛА, що дало змогу обґрунтувати вибір множини найбільш ефективних методів що можуть служити основою для ІТ пошуку осередків лісових пожеж у фоновому режимі.
2. Удосконалено метод автоматичної адаптації параметрів вейвлет-перетворення та частоти кадрів до технічних характеристик пристроїв керування БПЛА, що дає змогу налаштувати параметри пристроїв керування БПЛА за критерієм швидкість-якість розпізнання для безперебійного функціонування інформаційної системи у фоновому режимі.
3. Удосконалено метод автоматичного повідомлення про небезпеку шляхом визначення відносної кількості точок зображення, що належать до нечіткого кластеру неприродних кольорів  $\alpha$ -рівня, що дає змогу автоматизувати функціонування інформаційної системи у фоновому режимі.
4. Розроблено метод опрацювання відеопотоків для автоматизованого пошуку осередків лісових пожеж у фоновому режимі та сповіщення ДСНС з використанням паралельних обчислень, розрахована на використання пристроїв керування з не менше як чотириядерними процесорами у фоновому режимі, що забезпечує розподіл та оптимізацію використання ресурсів БПЛА та пристрою керування.

### **РОЗДІЛ 3**

## **ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ СПОВІЩЕННЯ ПРО НЕБЕЗПЕКУ ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ**

У третьому розділі розглядаються шляхи вдосконалення системи протипожежної охорони лісу, проводиться огляд та аналіз інформаційно-технічних характеристик БПЛА та пристроїв управління і на основі цього аналізу розробляється інформаційна технологія, покликана підвищити ефективність моніторингу лісових пожеж. Пропонована технологія заснована на розширенні наявних інформаційно-технологічних можливостей залучених неспеціалізованих БПЛА.

### **3.1. Дослідження інформаційно-технічних характеристик БПЛА**

Розширення інформаційно-функціональних можливостей БПЛА, що здійснюють моніторинг у фоновому режимі, дасть можливість без використання додаткового обладнання, шляхом розподілу наявних ресурсів (працюють лише відеокамери, що входять до базової комплектації) здійснювати додатковий протипожежний моніторинг лісів, що є особливо актуальним в період найбільшого рекреаційного навантаження – під час пісенних фестивалів, спортивних змагань, туристичних походів, основними учасниками яких є молодь, що прагне новітніх розваг, в тому числі – власники та активні користувачі БПЛА. Передбачається розширити функціональні можливості БПЛА таким чином, щоб паралельно до виконання своїх вузьких спеціальних завдань (розваги, екстрим-зйомка, репортажі про хід фестивалю, спортивні змагання тощо), вони у фоновому режимі могли б здійснювати протипожежний моніторинг лісу та, у разі фіксації осередків пожежі, надсилати сигнал про небезпеку до відповідних

служб ДСНС, створюючи фактично мобільний пункт додаткового спостереження.

Для визначення сегменту можливих залучених БПЛА було проаналізовано та визначено набір тих технічних характеристик, необхідних для їх інтеграції в систему протипожежного моніторингу лісу [114, 115, 162].

На БПЛА покладається завдання повітряної розвідки епіцентрів лісових пожеж і передача сигналу про небезпеку. Відповідно до поставлених задач, до БПЛА та пристроїв мобільного керування висуваються такі вимоги: апарат має бути швидким, маневреним, мати можливість протистояти вітру, значний радіус польоту і бути відносно недорогим, можливість повернення на точку запуску у разі втрати управління; визначення місця знаходження по GPS; зависання на місці для фотозйомки; можливість обминати перешкоди; передача відео в реальному часі з можливістю запису на ноутбук, планшет або мобільний телефон. Основні інформаційно-технологічні характеристики сучасних моделей БПЛА наведені в таблиці 3.1.

Сьогодні безпілотні літальні апарати можна поділити на 3 групи: міні-БПЛА, БПЛА із середнім та великим радіусом польоту.

#### *Основні характеристики міні-БПЛА:*

Тривалість польоту може варіюватися від 3 до 10 хвилин. Цей показник є надмірно коротким, однак користувач має справу з компактним і дуже зручним пристроєм. Другий важливий момент стосується відстані, на яку діє пульт дистанційного управління безпілотним літальним апаратом. Тут показники теж не є великими – стандартний міні-БПЛА підтримує зв'язок на відстані 40–50 м. При цьому трапляються апарати, керовані і на 20 м, і на 80 м, що для цього класу є це максимальною дальністю керування. Наступна важлива характеристика – це час зарядки. Він може становити до 1 год, але в більшості випадків варіюється в діапазоні 30–40 хв. І ще один важливий параметр – це габарити. Суворих обмежень для сегменту міні-БПЛА немає, тому розміри можуть дуже різнитися. Наприклад, є моделі з зразковими параметрами 4x4x25 см, а є апарати вдвічі більші.

Таблиця 3.1

### Основні інформаційно-технологічні характеристики сучасних моделей БПЛА

Характеристики \ Модель	DJI Phantom 2 Vision+	DJI Phantom 4	Typhoon Q500	Flying 3D X6 Plus 5.8G FPV, FreeX MCFX	DJI Inspire 1 v2.0	Parrot Drone3.0 RC
Час польоту (хв)	25	28	25	25	20	15
Дальність передачі даних від оператора управління (км)	1	5	4	5	5	2
Частота Wi-Fi (ГГц)	2,4	2,4	2,4	2,4; 5	5	2,4; 5
Максимальна швидкість	54 м/с	72 км/год	50 км/год	100 км/год	79 км/год	75
Висота (м)	500	500	400	500	50	200
Якість відеозапису	1080p	4К (або 1080p)	1080p	1080p	4К (або 1080p)	1080p
Якість передачі відео	720p	720p	1080p	1080p	720p	720p
Частота (кадрів за секунду)	30	30 (або 120)	60	24–60	24 – 30 (або 24–60)	30
Фото (Мп)	12	12	12	12	14	14

Стосовно функціональності і можливості відеозйомки, то загалом БПЛА, є високотехнологічними пристроями, тому й набір функцій у них постійно розширюється. З останніх доповнень варто виділити наявність акселерометра і гіроскопа, кілька режимів швидкісного обертання гвинтів, осьову стабілізацію і здатність виконання 3D-трюків. Найбільш привабливим опціоналом вважається відеокамера, за допомогою якої користувач може фіксувати «картинку», доступну для огляду самим дроном. Зрозуміло, міні-БПЛА не в змозі забезпечити високоякісне фото- і відеозображення відмінної якості, хоча певні технічні досягнення в цьому напрямку. Сьогодні представники початкового класу забезпечуються модулями на 0,3 Мп, але в старших версіях все частіше з'являються камери на 2 Мп і більше. Також є спроби реалізувати можливість прямої трансляції, але в цьому випадку збільшуються і габарити БПЛА.

Отже, можна зробити висновок, що функціонал міні-БПЛА не дасть змоги наразі вирішити задачі пошуку осередків пожеж у фоновому режимі. Тому залучення таких апаратів до запропонованої ІТ є сумнівним.

*Основні характеристики БПЛА середнього радіусу дії:*

У середньому такий безпілотний літальний апарат має довжину 25 см. Висота стандартної моделі дорівнює 10 см. Гвинти використовуються різного діаметра. У цьому випадку багато залежить від потужності двигуна. Також до стандартної комплектації БПЛА входять акумулятори. Залежно від їх ємності змінюється час польоту. Радіус дії пристрою в середньому становить 3000–3500 метрів. Приймачі використовуються як низької, так і високої частоти. Для відправки сигналу на пульт застосовується передавач. Камери моделей встановлюються на 2 і 4 Мп.

До найбільш популярних слід віднести:

- 1) Syma X5SW

Технічні характеристики: управління через радіоканал, дальність управління до 150 м. Акумулятор ємністю 500 мА·год дає змогу здійснювати польоти тривалістю до 5,5 хв. Вага – 1216 г.

Камера зовнішня в комплекті, розширення матриці – 2 Мп, роздільна здатність відеозйомки – 720р.

## 2) DJI Phantom 3 Standard

Технічні характеристики: максимальна висота польоту – 6 км, максимальна швидкість польоту – 16 м / с, вбудований датчик GPS, управління через радіоканал, є функції автопілота, проходження за оператором, повернення в точку зльоту, дальність управління до 1 км, Wi-Fi. Акумулятор ємністю 4480 мА·год дає змогу здійснювати польоти тривалістю до 25 хв. Вага– 1216 г.

Камера: зовнішня в комплекті, розширення матриці 12 мп, кут огляду 94 °, роздільна здатність відеозйомки – 1080р, роздільна здатність фотозйомки 4000x3000.

## 3) DJI Phantom 3 Professional

Технічні характеристики: максимальна висота польоту – 6 км, максимальна швидкість польоту – 16 м/с, вбудовані датчики GPS і ГЛОНАСС, управління через радіоканал, є функції автопілота, проходження за оператором, повернення в точку зльоту, дальність управління до 2 км, Wi-Fi. Акумулятор ємністю 4480 мА·год дає змогу здійснювати польоти тривалістю до 23 хв. Вага – 1280 г.

Камера: зовнішня в комплекті, розширення матриці – 12,4 мп, кут огляду 94°, роздільна здатність відеозйомки – 4К (2160р), роздільна здатність фотозйомки – 4000x3000.

## 4) DJI Phantom 4

Технічні характеристики: максимальна висота польоту – 6 км, максимальна швидкість польоту – 20 м/с, вбудовані датчики GPS і ГЛОНАСС, управління через радіоканал, є функції автопілота, проходження за оператором,

повернення в точку зльоту, система ухилення від перешкод, дальність управління – до 3,5 км, Wi-Fi. Акумулятор ємністю 5350 мА·год дає можливість здійснювати польоти тривалістю до 28 хв. Розміри: 289,5x289,5x196 мм, вага – 1380 г.

Камера: зовнішня в комплекті, розширення матриці 12,4 Мп, кут огляду – 94°, роздільна здатність відеозйомки – 4К (2160р), роздільна здатність фотозйомки – 4000x3000.

#### 5) DJI Phantom 4 Pro

Технічні характеристики: максимальна висота польоту – 6 км, максимальна швидкість польоту – 20м/с, вбудовані датчики GPS і ГЛОНАСС, управління через радіоканал, є функції автопілота, проходження за оператором, повернення в точку зльоту, дальність управління – до 3,5 км, Wi-Fi. Акумулятор ємністю 5870 мА дає можливість здійснювати польоти тривалістю до 30 хв. Вага – 1388 г.

Камера: зовнішня в комплекті, розширення матриці 20 мп, кут огляду 84°, роздільна здатність відеозйомки – 4К (2160р), роздільна здатність фотозйомки – 5472x3648.

Phantom 4 Pro отримав поліпшену камеру з більшою матрицею, здатною записувати відео в 4К зі швидкістю 60 кадрів/с, а також робити 14 фотографій на секунду в режимі серійної зйомки. Камера дрона була істотно перероблена: вона отримала однокуюмкову CMOS матрицю з роздільною здатністю в 20 мегапікселів (у попередній моделі було 12,4). Об'єктив складається з восьми лінз, об'єднаних у сім груп. Вперше в камері DJI подібного розміру використаний механічний затвор, що дає змогу знімати динамічні сцени без ефекту «желе».

Дрон розпізнає перешкоди в п'яти напрямках і здатний уникати зіткнень у чотирьох (Phantom 4 бачив перешкоди тільки перед собою). Це значно полегшує роботу оператора, даючи змогу знімати більш складні сцени.



Вбудований дисплей з діагоналлю 5,5 дюйма і роздільною здатністю Full HD (1080p) має яскравість 1000 кд/м<sup>2</sup>, що у два рази яскравіше за більшість планшетів. Додаток DJI GO 4 встановлено безпосередньо в дисплей, так що є можливість оновлювати прошивку, редагувати і ділитися відзнятим матеріалом без допомоги смартфона або планшета. Пульт працює протягом п'яти годин від однієї батареї. Вбудована технологія передачі сигналу Lightbridge транслює відео високої якості на відстані до 7 км. Збільшена ємність акумулятора, що дає можливість проводити більше часу в польоті [71].

#### *Основні характеристики дронів великого радіуса дії:*

Як правило, такі дрони мають розбірну конструкцію, на відміну від дронів середнього радіуса дії, та дають змогу модифікувати дрон до потреб конкретного користувача. Їх класифікують за потужністю:

#### *Моделі на 2 кВт*

Рама БПЛА складається із трьох стійок. Двигун встановлюється в середній частині пристрою. Передавачі для моделі застосовуються тільки 2Гц. Рама має довжину не більше 22 см. Для стабілізації пристрою в польоті застосовується демпфер із датчиком висоти

Камера у моделі кріпиться на кронштейні.

#### *Моделі з мотором на 3 кВт*

У цих дронах двигун встановлюється на підкладці. Найчастіше використовується датчик висоти конденсаторного типу. Частота роботи приймача – 3 Гц. Для стабілізації моделі в польоті використовується стабілітрон. Фюзеляж складається із пластикової рами на чотири стійки. Довжина становить близько 23 см. Висота польоту БПЛА при потужності мотору 3 кВт дорівнює не більше 12 см. Ємність акумуляторів не перевищує 200 А·год

#### *БПЛА на 5 кВт*

Зібрати БПЛА 5 кВт з великим радіусом дії досить складно. Приймачі для них підходять тільки дротяного типу. Камера в цій моделі розташовується під двигуном. Кронштейн для неї підбирається поворотного типу.

БПЛА з великим радіусом дії і камерою FPV на три стійки зустрічаються дуже часто. Мотори для зазначених пристроїв підбираються невеликої потужності. Для стабілізації пристрою в польоті встановлюється селектор.

БПЛА на чотири гвинта з камерою FPV, яка кріпиться на пластиковому каркасі. Діаметр гвинтів становить близько 33 см. Двигун використовується на 22 кВт. Гранична частота приймача не повинна перевищувати 3 Гц.

До найбільш популярних моделей великого радіуса дії слід віднести: моделі Yuneec Turphoon Q500 4K, обладнані камерою 4K, тривалістю польоту 25 хвилин, дальністю керування – до 800 метрів. Система FPV надає оператору можливість в режимі реального часу переглядати зображення, які захоплює камера. До цього класу квадрокоптерів належать також дрони DJI Mavic Air, DJI Mavic Pro, DJI Mavic 2, DJI Phantom 4 Pro, DJI Phantom 4 Advanced. Усі вони обладнані камерами 4K, системами FPV, час їх польоту становить від 20 до 30 хвилин, дальність керування – від 1 до 8 км.

Як видно з таблиці 3.1, найпопулярніші БПЛА середнього та великого радіусу дії цілком задовольняють вимогам, які необхідні до внесення їх в запропоновану інформаційну технологію.

Для визначення ефективності пропонованої інформаційної технології та необхідної кількості залучених БПЛА для надійного сканування території проведення масових заходів у лісі був проведений аналіз площі, яку може просканувати один БПЛА при його залученні до моніторингу у випадку надходження сигналу про небезпеку. Для проведення експерименту був обраний БПЛА найпопулярнішого класу DJU Phantom 4, інформаційно-технологічні характеристики якого представлені в таблиці 3.3 та на рис. 3.1. [72].

Таблиця 3.3

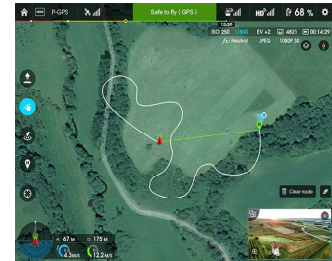
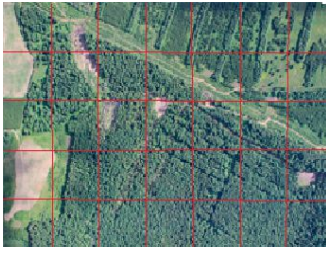
**Інформаційно-технологічні характеристики БПЛА DJI Phantom 4**

Тип	Квадрокоптер (4 гвинти)
1	2
Силова установка	Чотири безколекторних двигуни
Максимальна вертикальна швидкість	Набір висоти: 6 м/с; зниження: 4 м/с
Максимальна горизонтальна швидкість	20 м/с
Максимальна висота польоту	6000 м над рівнем моря, 500 м з точки злету
Батарея	81,3 Вт·год (5350 мА·год, 15,2 В)
Час роботи на одній підзарядці	Близько 28 хвилин
Вбудовані датчики	Акселерометр, датчик висоти, магнітометр, сонар
Тип управління	Wi-Fi (802.11g/n), радіоканал, пульт управління в комплекті
Передача даних	DJI Lightbridge
Дальність передачі відеосигналу	2000 м
Дальність управління з пульта	3500 м
Підтримка операційних систем	Android, iOS
Навігація	GPS, ГЛОНАСС
Автопілот	Є
Стеження за об'єктом	Є
Повернення до точки злету	Є
Робоча температура	от 0° до 40° С

Продовж. табл. 3.3

1	2
Дальність дії сонара	от 0,7 до 15 м
Габарити	289,5 x 289,5 x 196 мм
Маса	1380 г
Камера	
Сенсор	1/2,3'', 12,4 Мп
Максимальний розмір зображення	4000 x 3000
Формат фото	JPEG, RAW
Запис відео	до 4096 × 2160, 24/25р
Формат відео	MP4, MOV
Діапазон світлочутливості	ISO 100–3200
Об'єктив	$f/2,8$ , фокусна відстань 20 мм (в 35-мм еквіваленті), поле зору 94°.
Матриця об'єктиву	Розділова здатність – 20 МП Розмір матриці по діагоналі: 1 дюйм. Формат матриці (співвідношення сторін): 3:4. Ширина матриці: 12,8 мм. Висота матриці: 9,6 мм.
Збереження інформації	microSD/SDHC/SDXC макс. ємності 64 Гбайт, швидкість клас 10 та вище

Як видно з таблиці 3.3., максимальна висота польоту БПЛА становить 500м при тривалості безперервного польоту 28 хвилин. Отже, необхідно розрахувати площу лісу, яку може охопити цей БПЛА, перебуваючи на середній висоті в 200м (що є оптимальною для протипожежного моніторингу лісу з урахуванням висоти крон дерев та верхньої межі лісу Українських Карпат та Прикарпаття [73] за 15 хвилин польоту (що забезпечує надійний час польоту з поверненням в точку старту) при середній швидкості 10м/с (36 км/год).



Квадрокоптер DJI Phantom 4. Технічні характеристики та можливості

1. Система уникнення сутічок. Висота польоту – до 500м.
2. Управління за допомогою дотику до екрана.
3. Візуальне відстеження. Розумна система забезпечення польоту.
4. Подвійна навігаційна супутникова система і покращена система візуального позиціонування забезпечує більш безпечний і надійний політ
5. Система тривимірної стабілізації запобігає небажаним рухам камери під час польоту.
6. Час польоту - 28 хвилин.
7. Подвійний модуль компаса і подвійний блок інерціальних вимірювачів значно збільшують надійність.
8. Аеродинамічні характеристики. Гладка, обтічна аеродинамічна форма дозволяє Phantom 4 легко і рівно подорожувати у повітрі..
9. Високошвидкісний політ і хороша система гальмування. Квадрокоптер зможе розвивати швидкість до 72 км/год завдяки підтримці даних із супутників і системі візуального позиціонування.
10. Оптимізація режимів польоту. Можливість налаштувати політ у трьох режимах: супутникова навігація, розумне пересування, стабільне відео, висока швидкість.
11. Ціна – \$1541,82

Параметри камери та зйомки DJI Phantom 4:

1. Розмір зображення: 4000\*3000.
2. Формати фото: JPEG, RAW.
3. Відео (запис): 24/25 p; до 4096\*2160.
4. Формати відео: MOV, MP4.
5. Світлочутливість: ISO 100-3200.
6. Зберігання інформації: на носіях microSD, SDHC, SDXC. Максимально допустимі розміри — 64 Гбайти.
7. Об'єктив: поле зору 94° ;  $f/2,8$ ; фокусна відстань — 20 мм.
8. Камера знімає відео SlowMo (120fps) з роздільною здатністю FullHD і частотою 60 кадрів/сек, а в режимі сповільненої зйомки з роздільною здатністю 1080 і частотою 120 кадрів/с.
9. Передача даних в якості 720 HD з відстані 5 км з допомогою запрограмованої передачі відеоданих в HD.
10. Можливість самостійно налаштувати кадри з великої відстані з граничною точністю.

**Рисунок 3.1 – Інформаційно-технічні характеристики БПЛА DJU Phantom 4**

Розглянемо стандартну відеокамеру, що є в комплекті з БПЛА, розташовану під кутом  $90^\circ$  до поверхні Землі. Згідно з технічними характеристиками [149] кут огляду відеокамери становить:  $94^\circ$ .

Поле зору камери може бути представлено розбіжними променями. Ділимо отриманий трикутник посередині на два подібних прямокутних трикутники, таким чином, що висота польоту – це прилеглий катет ( $h$ ), половина ширини смуги зйомки ( $r$ ) а,  $b$  – протилежні катети. Завдання зводиться до знаходження протилежного катета прямокутного трикутника, якщо відомі протилежний кут ( $\alpha=94^0/2=47^0$ ) та прилеглий катет.

Скористаємося тригонометричним співвідношенням прямокутного трикутника (рис. 3.2),

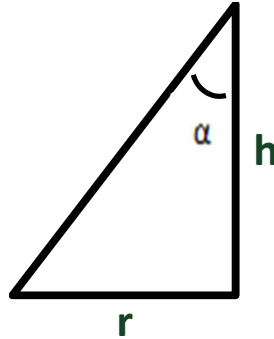


Рисунок 3.2 – Розрахунок радіуса покриття камери

Згідно з умовами задачі, отримуємо:

$$r = \frac{h}{\operatorname{tg}\alpha} = \frac{200}{\operatorname{tg}47^{\circ}} = \frac{200}{1,07} = 186,9 \text{ (мм)}, \quad (3.1)$$

де  $r$  – половина ширини смуги зйомки ( $r$ );

$h$  – висота польоту;

$\alpha$  – половина кута огляду відеокамери.

Отже, діаметр смуги покриття лінзою становить (рис. 3.3):

$$d=2r=186,9 \cdot 2=373,8 \text{ (м)}. \quad (3.2)$$

Враховуючи, що зображення проектується на ПЗС матрицю із співвідношенням сторін 3:4, що знаходиться у фокальній площині, реальна полоса сканування поверхні лісу буде меншою за діаметр покриття лінзою. Позначимо  $a$  і  $b$  відповідно як висоту та ширину ділянки лісу, що охоплює один кадр відеокамери (рис. 3.3). Тоді:

$$\frac{a}{b} = \frac{3}{4}; \Rightarrow a = \frac{3}{4}b, \quad (3.3)$$

$$d^2 = a^2 + b^2 = \left(\frac{3}{4}\right)^2 b^2 + b^2 = b^2 \left(\frac{9}{16} + 1\right) = b^2 \frac{25}{16}, \quad (3.4)$$

$$b = \sqrt{\frac{d^2 \cdot 16}{25}} = \frac{4}{5}d = \frac{4}{5} \cdot 373,8 = 299,04 \text{ (мм)} \quad (3.5)$$

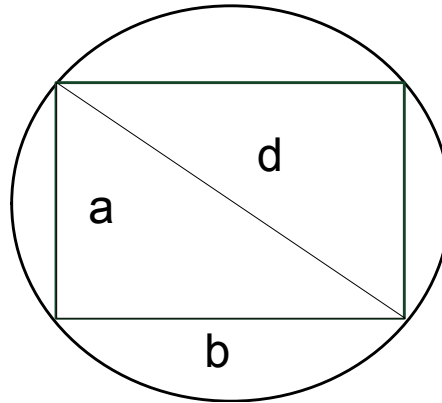


Рисунок 3.3 – Розрахунок полоси сканування камери БПЛА

Отже, максимальна площа, яку може просканувати цей БПЛА при швидкості  $v=10$  м/с за  $t=15$  хв, становить:

$$S = d \cdot v \cdot t = 299,04 \cdot 10 \cdot 15 \cdot 60 = 2691360 \text{ (м}^2\text{)} = 2,69 \text{ (км}^2\text{)}. \quad (3.6)$$

Виходячи з середнього значення площі території проведення фестивалю – 8 га ( $0,08 \text{ км}^2$ ), кількість залучених БПЛА може не перевищувати трьох одиниць.

Проведений аналіз технічних характеристик БПЛА дав змогу встановити та обґрунтувати мінімальний набір технічних характеристик, необхідних для їх інтеграції в систему протипожежного моніторингу. Для реалізації запропонованої технології підходять БПЛА середнього та великого класів, оскільки їх технічні характеристики, дають змогу використовувати їх для розв'язку поставлених задач.

### **3.2. Дослідження інформаційно-технічних характеристик пристроїв керування БПЛА**

Класично для керування БПЛА використовуються спеціалізовані пульти керування. Їх можна поділити на дві категорії:

1. Без можливості встановлення планшета чи смартфона.
2. З можливістю встановлення планшета чи смартфона.

Перша категорія пультив може містити, чи не містити вбудований екран. В обох випадках така категорія пристроїв керування не містить GSM модуля, тому не може бути використана для зв'язку з центральним пультом керування за допомогою протоколів Інтернет.

Друга категорія пультив може бути використана для запропонованої ІТ, оскільки смартфони та більшість планшетів мають вбудований GSM модуль.

Окрім того, БПЛА можна керувати безпосередньо із смартфонів, планшетів чи лаптопів.

За допомогою планшета (смартфона) оператор може повноцінно керувати польотним комплексом, перемикатися між різними робочими режимами платформи, переглядати зняті відеоролики і фотографії, а також використовувати можливості інтерактивної карти. Пілот може задати точний маршрут безпілотної платформи, якого вона дотримуватиметься. Для максимально точного пілотування оператор може використовувати контрольні точки, в рамках яких БПЛА буде літати і вести відеозйомку.

У пілота є можливість використовувати функціонал вбудованого редактора для роботи з отриманим відеоконтентом і фотографіями. Оператор має можливість поділитися матеріалом з глядачами, для чого достатньо включити режим стримінгу. Програма для БПЛА істотно спрощує процес



проведення аеровідеозйомки, оскільки платформа може працювати в автоматичному режимі.

Функція автопілота дає змогу літальному комплексу повернутися в точку вильоту в разі розрядки автономного джерела живлення або обриву керуючого сигналу.

З огляду на сказане вище, ми проаналізували ці пристрої за такими критеріями: можливістю управління БПЛА за допомогою телеметрії, наявністю 4 + ядерного процесора, наявністю GSM модуля.

До пристроїв, рекомендованих виробниками для управління БПЛА через телеметрію, належать: iPhone 5s, iPhone 6, iPhone 6 Plus, iPad Air, iPad Air Wi-Fi + Cellular, iPad mini 2, iPad mini 2 Wi-Fi + Cellular, iPad Air 2, iPad Air 2 Wi-Fi + Cellular, iPad mini 3, and iPad mini 3 Wi-Fi + Cellular. This app is optimized for iPhone 5s, iPhone 6, and iPhone 6 Plus Android: Samsung S5, Note 3, Sony Xperia Z3, Google Nexus 7 II, Google Nexus 9, Mi 3, Nubia Z7 mini [75].

Рекомендовані операційні системи: iOS 8.0 or later, Android 4.1.2 or later.

Основні технічні характеристики неспеціалізованих пристроїв, рекомендованих сучасними виробниками для управління БПЛА через телеметрію наведені в таблиці 3.2. Як видно з таблиці 3.2, практично всі ноутбуки на сьогодні не мають вбудованого GSM модуля, тому такі пристрої керування без спеціального вдосконалення не можуть бути використані в запропонованій інформаційній технології [114, 115, 156]. Більшість сучасних планшетів на ринку України, містить GSM модуль, тому вони та всі смартфони відповідають обраним критеріям і можуть бути використані для інтеграції в інформаційну технологію. Окрім того, всі сучасні смартфони та планшети обладнані багатоядерними процесорами достатньо потужними, щоб у фоновому режимі виконувати поставлені ІТ задачі фоновому виявленню осередку пожежі.

Таблиця 3.2

**Технічні характеристики неспеціалізованих пристроїв, рекомендованих виробниками для управління БПЛА  
через телеметрію**

	Ноутбуки (Toshiba Qosmio G40, Asus Vivobook E502NA Acer Aspire 5920. Apple MacBook)	Планшетні комп'ютери (Apple iPad Pro, Apple iPad Pro 2017, iPad Air, Google Nexus 9, Samsung Galaxy Tab E, Samsung Galaxy Note 10.1; Lenovo IdeaPad MiiX 320 (80XF004YRA)	Мобільні телефони, смартфони (iPhone 6, iPhone 6 Plus, iPhone 8X, Samsung Galaxy Note 3, Samsung Galaxy S7, Samsung Galaxy J7)
Операційна система	ANDROID 4.1 та вище, Linux, Windows 10, MacOS, OS X	IOS 10, Android 5.0 Lollipop, Android 4.4; Android 7.1	IOS 7, iOS 8.0 or later, Android 4.1.2 or later; Android 4.4.2; Android 7.0 (Nougat)
Центральний процесор	AMD A8-7410, (2.2 ГГц, 4 ядра); Intel Celeron N3350 (1.1 – 2.4 ГГц); Intel Core m3, Intel Core i7 (2.2 ГГц)	Apple A6X; Apple A9; Apple A7 (1,4 ГГц) + співпроцесор Apple M7; NVIDIA Tegra K1 Dual Denver(2.3ГГц); T-Shark2 (Quad 1.3GHz); Samsung Exynos 4412 (1,4 ГГц , 4 ядра, ARM Cortex-A9); Intel Atom X5 Z8355 (1,44 ГГц, , 4 ядра).	6/6 Plus: Apple A8 (64-bit), співпроцесор M8; 6s/6 SPlus: Apple A9 (64-bit), співпроцесор M9; Snapdragon 800 (2.3 ГГц, 4 ядра); Exynos 8890 (2,1 ГГц, 8 ядер); Exynos 8895 (2,3 ГГц+1,7 ГГц, 4+4ядра); Samsung Exynos 7870 (8 ядер, 1,6 ГГц)
Інтерфейс, комунікації, навігаційна система	Wi-Fi 802.11ac, Bluetooth 4.2.HDMI	Wi-Fi (802.11a/b/g/n); двоканальний (2.4GHz и 5GHz) и MIMO Bluetooth 4.0, CDMA	Wi-Fi (802.11 a/b/g/n (2,4 ГГц/5 Гц)) Bluetooth 4.0, GPS, A- GPS, ГЛОНАСС, Beidou.
GSM модуль	–	+ / –	+

Для функціонування ІТ на зазначених пристроях необхідно реалізувати фонову трансформацію отриманих відеоданих у кількісні показники, що визначають наявність, фото, відео та координати осередку пожежі, а також процес пересилання цієї інформації через GSM модуль до центрального пункту ДСНС. Це потребує розроблення спеціального програмного забезпечення, що дає змогу у зручній для користувача формі у фоновому режимі не тільки проводити запис відео з камер БПЛА, а й у фоновому режимі опрацьовують ці дані, проводять їх аналіз, не перевантажуючи операційну систему, що надає можливість вчасно виявити осередок лісової пожежі на ранній стадії загоряння та подати сигнал тривоги у відповідні служби.

Як показав проведений аналіз, програмне забезпечення ІТ має розроблятися для платформ iOS та Android.

Отже, запропонована в дослідженні інформаційна система дає змогу оперативно, з мінімальними витратами часу, коштів та людських ресурсів отримати інформацію про наявність осередків лісових пожеж, оскільки здатна зменшити час опрацювання зображень та залучити на безкоштовній основі цивільні БПЛА без жодних незручностей для їх власників, що в кінцевому результаті призводить до вдосконалення наявної системи охорони лісів від пожеж.

Проведений аналіз технічних характеристик пристроїв керування БПЛА дав змогу встановити та обґрунтувати мінімальний набір технічних характеристик, необхідних для ефективного функціонування розробленої інформаційної технології у фоновому режимі [156,157, 163].

### **3.3. Розробка інформаційної технології сповіщення про небезпеку лісових пожеж**

Як зазначалося в розділі 1, сьогодні існує величезна кількість засобів та технологій протипожежного моніторингу лісу, в тому числі, заснованих на використанні безпілотних літальних апаратів.

На основі даних дистанційного зондування Землі, метеорологічних прогнозів та прогнозів сонячної активності, а також даних наземних та авіаспостережень формується база знань експертних систем пожежної небезпеки [116, 117, 119, 121]. На її основі формується та оприлюднюється через Інтернет експертний висновок про ймовірність лісової пожежі. На основі цієї інформації держлісгоспи, що входять до сфери управління Держлісагентства, переводять в стан першочергової готовності протипожежні ресурси (техніку, засоби гасіння та інші ресурси). Однак, ця інформація часто буває недостатньо точною, оскільки на ймовірність виникнення лісової пожежі в окремому державному лісовому господарстві України, середня площа якого становить 3000–4000 га, можуть істотно впливати місцеві чинники – наявність або відсутність водойм, швидкість вітру, віддаленість або близькість від населених пунктів, залізниці тощо. На рівні лісництв також проводиться робота із запобігання лісовим пожежам – за результатами польових досліджень та багаторічних метеоспостережень формується база даних лісництва. На основі цих даних ведеться картографування місцевості із позначенням небезпечних ділянок, встановлюються відеосистеми, проводиться регулярне піше патрулювання лісу. Під час виявлення епіцентру пожежі інформація передається на диспетчерський пункт лісництва та оперативному черговому пожежної охорони району. В окремих випадках, для уточнення даних про координати пожежі, задіюються БПЛА, які виявляють пожежу за шлейфом диму.

Після отримання інформації про виникнення пожежі, оперативний черговий пожежної охорони у взаємодії з лісництвом спільно приймають рішення про виділення та застосування протипожежних засобів. Сьогодні час від моменту виявлення лісової пожежі до початку її локалізації становить до 6 годин і залежить від інтенсивності пожежі, можливості доступу до неї, наявності поблизу водойм, складів протипожежних засобів. За цей час пожежа, що розповсюджується з великою швидкістю, переростає у масштабну екологічну катастрофу і для її гасіння потрібно залучати великі технічні ресурси. Так, при швидкості поширення вогню по фронту 3 м/хв., при сприятливих умовах зовнішнього середовища площа лісової пожежі через 2 години після виникнення може зрости в 10 разів, а периметр – у 1,2 раза [118, 154]. Таким чином, усі ці засоби є розрізненими і недостатньо ефективними, тому існує нагальна потреба у пошуку шляхів їх вдосконалення. Одним з таких шляхів є створення на їх основі єдиної інформаційної системи, яка ґрунтується на сучасних інформаційних технологіях та методах протипожежного моніторингу лісу, забезпечує підвищення його ефективності без залучення додаткових високотехнологічних інструментів.

Наявні різноманітні методи моніторингу лісу можуть бути легко інтегровані в одну інформаційну систему протипожежного захисту.

Можлива структурна схема такої єдиної інформаційної системи запобігання лісовим пожежам представлена на рисунку 3.4. Залучені БПЛА працюють в автономному режимі (блок 2.3) і у разі необхідності інформують диспетчерський пункт через відкриті канали зв'язку.

Отже, як видно із представленої схеми, інтеграція залучених БПЛА до моніторингу лісу не вимагає технічно складних рішень.



Рисунок 3.4 – Функціональна схема інформаційно-технологічного забезпечення моніторингу лісових пожеж

Для реалізації цієї ідеї розроблена інформаційна технологія функціонування та інформування рятувальної служби. У загальному вигляді вона функціонує за таким принципом (рис.3.5):

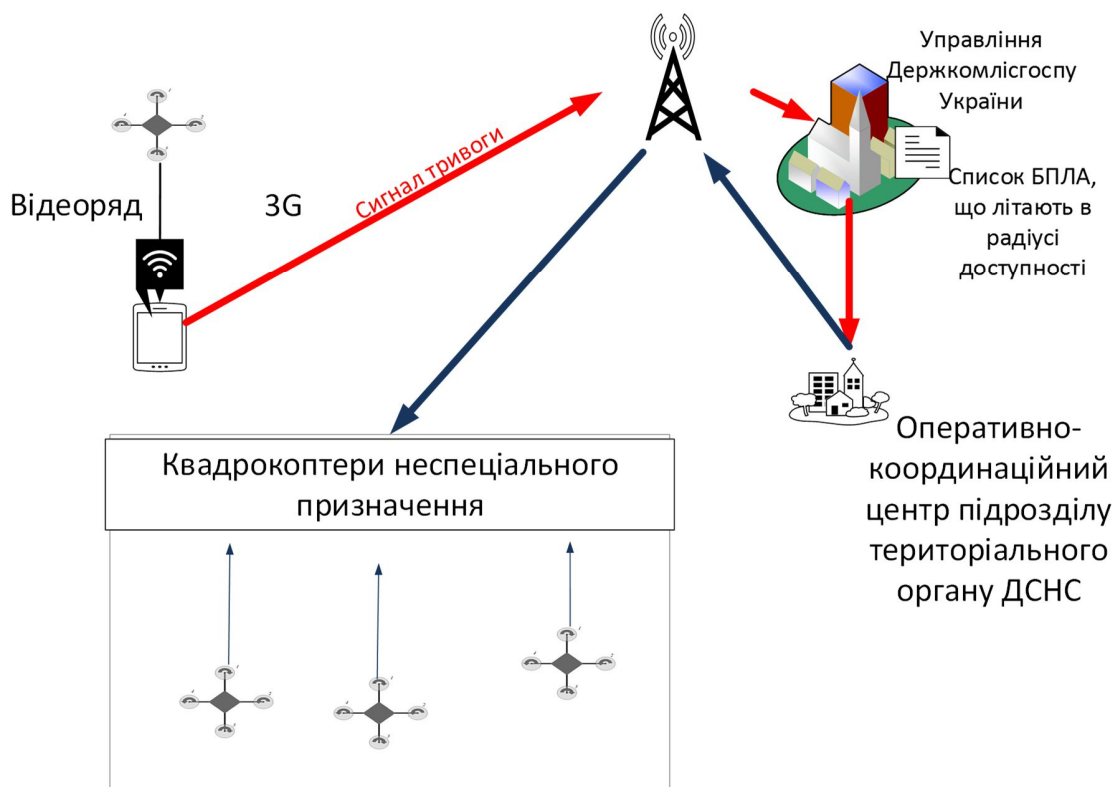


Рисунок 3.5 – Узагальнена схема функціонування безпілотних літальних апаратів в рамках розробленої інформаційної технології

Власнику БПЛА пропонується установити спеціально розроблену інформаційну систему і взяти участь у спеціальній програмі співробітництва. У рамках цієї програми, під час планових польотів, БПЛА паралельно виконують додаткову функцію – оповіщення про небезпеку займання лісу.

Користувач БПЛА запускає його над лісом і по Wi-Fi здійснює керування за допомогою одного із засобів телеметрії.

БПЛА в фоновому режимі сканує лісову поверхню і періодично надсилає інформацію про свої координати в відповідні підрозділи рятувальної служби, де формується список усіх активних на даний момент БПЛА.

У випадку виявлення осередку лісової пожежі, БПЛА засобами 3G зв'язку надсилає в центральний диспетчерський пункт рятувальної служби сигнал тривоги, що складається з оригінального цифрового зображення підозрілої ділянки, її опрацьованого зображення та її координат для того, щоб оператор зміг оцінити загрозу небезпеки виникнення лісової пожежі.

В цей час з центрального диспетчерського пункту рятувальної служби передається сигнал тривоги та список активних у цьому районі лісу БПЛА до місцевого оперативно-координаційного центру територіального органу підрозділу рятувальної служби для перевірки. У випадку, якщо інформація підтверджується, він надсилає активним у цьому місці БПЛА на пристрій керування інформацію з проханням змінити курс для підтвердження або спростування інформації про небезпеку.

Технічно функціонування залучених БПЛА у запропонованій інформаційній технології відбувається за таким алгоритмом (рис 3.6):

1. У ході польоту до центрального диспетчерського пункту рятувальної служби періодично надсилаються за допомогою GSM Internet протоколів зв'язку мобільних операторів GPS координати дрону, що дають змогу скласти перелік активних БПЛА у зоні контролю пунктів ДСНС.

2. Центральний диспетчерський пункт рятувальної служби формує динамічний список активних БПЛА та надсилає необхідні дані в регіональні диспетчерські пункти.

3. Камери БПЛА знімають відео, яке в режимі on-line надходить на вхід керуючого пристрою.

4. Отриманий відеоряд розбивається на окремі кадри у фоновому режимі.

5. Проводиться оцінка кожного кадру на наявність осередку запалювання у фоновому режимі.

6. У разі знаходження підозрілої ділянки:



- до центрального диспетчерського пункту рятувальної служби надсилаються GPS координати цієї ділянки, опрацьоване та оригінальне фото;
- інформується оператор БПЛА про наявність небезпечної ділянки з пропозицією змінити траєкторію руху для уточнення результатів опрацювання даних;
- центральний диспетчерський пункт фіксує в базі даних сигнал та перенаправляє дані до відповідного регіонального пункту. У разі підтвердження наявності лісової пожежі, регіональним диспетчерським пунктом лісництва мобілізуються наявні в даному лісництві сили боротьби з лісовою пожежею;
- для перевірки та уточнення цієї інформації оператором приймається рішення про залучення інших активних БПЛА, що виконують політ в радіусі доступності, із наявного динамічного списку. При цьому оператори активних БПЛА в зоні контролю ДСНС інформуються про наявність небезпечної ділянки з пропозицією змінити траєкторію руху для уточнення результатів опрацювання даних.

Вчасне виявлення епіцентру пожежі дає змогу знешкодити осередок пожежі, не витрачаючи час та потужні додаткові засоби пожежної охорони з районного або обласного центру. Консолідація даних в центральному диспетчерському пункті рятувальної служби підвищує контроль за діяльністю та прийняттям рішення регіональними відділеннями. Для отримання можливості фонових опрацювання сигналів, пристрої керування БПЛА мають бути обладнані багатоядерними процесорами, вільні ядра яких використовуються для фонових розрахунків, та GSM модулями зв'язку для передачі даних через мобільний Internet.

Схема функціонування залучених БПЛА у рамках розробленої інформаційної технології наведена на рис. 3.6.



Рисунок 3.6 – Схема інформаційних потоків в рамках розробленої інформаційної технології

Отже, створення такого мобільного інформаційно-технологічного сервісу на основі добровільної соціокомунікаційної ініціативи, дасть змогу вдосконалити систему лісопожежного захисту ДСНУ завдяки підвищенню ефективності виявлення лісових пожеж на ранніх стадіях запалювання, а також оперативності інформування про небезпеку відповідних служб. Інформація від залучених БПЛА в багатьох випадках може надійти навіть раніше ніж з офіційних джерел, при цьому від держави не вимагається жодних витрат.

### Висновки до розділу 3

1. Проведений аналіз технічних характеристик БПЛА дав змогу встановити та обґрунтувати мінімальні вимоги, необхідні для їх інтеграції в систему протипожежного моніторингу. Було встановлено, що для реалізації запропонованої інформаційної технології слід використовувати БПЛА середнього та великого класів, технічні характеристики яких дають змогу застосовувати їх для вирішення поставлених завдань.
2. Проведений аналіз технічних характеристик пристроїв керування БПЛА дав змогу встановити та обґрунтувати мінімальні вимоги, необхідні для функціонування розробленої інформаційної технології у фоновому режимі: по-перше, наявність 3G модуля для забезпечення можливості надсилання сигналу тривоги; а по-друге – не менше ніж чотириядерний процесор, для забезпечення можливості розпаралелювання процесу з метою опрацювання відео в фоновому режимі. На основі аналізу було встановлено, що для реалізації запропонованої інформаційної технології достатнє використання стандартних пристроїв управління – планшетів, смартфонів, оскільки всі вони обладнані модулем 3G зв'язку і переважна їх кількість обладнана чотири- та більше ядерними мікропроцесорами.

3. Розроблена інформаційна технологія, яка базується на розширенні наявних інформаційно-технологічних можливостей залучених неспеціалізованих БПЛА, що дало змогу покращити ефективність функціонування інформаційної системи моніторингу лісових пожеж.
4. Запропонована інформаційна технологія забезпечує підтримку технологію прийняття рішень у боротьбі з лісовими пожежами, оскільки дає змогу здійснювати додаткове протипожежне патрулювання, визначення осередків пожеж, вчасне інформування чергових диспетчерів лісопожежних сил, мінімізацію фінансових витрат.

*Результати експериментальних досліджень даного розділу наведено в таких публікаціях:*

1. Гусак О. М. Інформаційна технологія раннього виявлення осередків лісових пожеж. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*. 2017. № 15. С. 33–38.
2. Гусак О. М. Інформаційна технологія підвищення інформативності цифрових зображень епіцентрів лісових пожеж. *Науковий вісник Національного лісотехнічного університету*. 2017. № 27. С. 177–181.
3. Виклюк Я. І., Гусак О. М. Інформаційна технологія раннього виявлення лісових пожеж. *Системний аналіз та інформаційні технології (System Analysis and Information Technologies)* : матеріали міжнар. наук.-техн. конф., м. Київ, 22–25 трав. 2017 р. Київ, 2017. С.261.
4. Гусак О. М. Інформаційна технологія раннього виявлення осередків лісових пожеж. *Інформаційні технології, економіка та право – 2017* : матеріали міжнар. наук.-практ. конф., м. Чернівці, 27-28 квіт. 2017 р. Чернівці, 2017. С. 135–136.
5. Виклюк Я. І., Гусак О. М. Шляхи підвищення ефективності протипожежного моніторингу лісу. *Системний аналіз та інформаційні технології (System Analysis and Information Technologies)* : матеріали міжнар. наук.-техн. конф., м. Київ, 21–24 травня 2018 р. Київ, 2018. С.216.

## РОЗДІЛ 4

### АПРОБАЦІЯ РОЗРОБЛЕНИХ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ

У четвертому розділі проаналізовано функціональність інтелектуальної системи, яка дає змогу реалізувати розроблену інформаційну технологію. Проведені натурні експерименти з верифікації отриманих результатів.

Для реалізації алгоритмів перетворення та для дослідження ефективності попереднього опрацювання зображень створена інтелектуальна система у середовищі MatLab [83, 165]. Її особливістю є можливість керування потрібними діями в процесі опрацювання (зокрема, налагоджувати ступінь зміни контрастності, змінювати кількість кластерів), а також можливість порівняти ефективність використання різної комбінації математичних методів.

Експерименти проводились як для серії відеорядів, так і для статичних зображень.

#### **4.1. Інформаційна система визначення осередків лісових пожеж**

Для реалізації алгоритмів перетворення та для дослідження ефективності запропонованої інформаційної технології створена інтелектуальна система з GUI інтерфейсом. Її особливістю є можливість керування потрібними налаштуваннями в ручному режимі в процесі опрацювання (зокрема, налагоджувати ступінь зміни контрастності, керувати параметрами вейвет-перетворення, змінювати кількість кластерів тощо), а також порівняння ефективності використання різних комбінацій математичних методів [162-168].

Основним завданням цієї інформаційної системи є перевірка ефективності роботи математичних методів в рамках запропонованої інформаційної технології. Тобто перевірялась точність встановлення осередків

лісових пожеж, а також досліджувалась ефективність роботи людини-оператора, що має прийняти остаточне рішення на основі отриманих перетворених зображень [139, 140]. Також була оцінена швидкість та можливість працювати в режимі паралельних розрахунків. Оцінювались технічні можливості проведення цих розрахунків в режимі реального часу. Як було зазначено вище, інформаційна система працювала в Matlab, який є інтерпретатором, що негативно впливає на швидкість розрахунків. З іншого боку, розрахунки проводились на персональному комп'ютері ASUS F541NC-GO054T (90NB0E93-M00700), що має кращі швидкісні характеристики, ніж смартфон та планшет (табл.4.1).

Таблиця 4.1

**Інформаційно-технологічні характеристики комп'ютера  
ASUS F541NC-GO054T (90NB0E93-M00700)**

Тип	Ноутбук
Серія процесора	Intel Pentium Quad Core
Модель процесора	N4200
Кількість ядер	4
Базова частота процесора	1,1 ГГц
Діагональ дисплея	15,6 ''
Розділова здатність дисплея	1366 x 768 (HD Ready)
Об'єм ОЗУ	4 Гб
Об'єм жорсткого диска HDD	1000 Гб
Бездротові комунікації	Wi-Fi; Bluetooth
Операційна система	Windows 10

Інтерфейс користувача тестової інформаційної системи наведено на рисунку 4.1. Лістинг програмного модуля наведено в додатку Б. Інформаційна система має можливість завантажити обране відео, провести всі етапи опрацювання відеосигналу (перетворення контрастності, вейвлет-перетворення та кластеризацію двома методами  $k$ -means та  $c$ -means). Як було зазначено в третьому розділі, інші методи, такі як карти Кохонена, показали в тестових експериментах дуже довгий час розрахунку, тому вони не використовувались в інформаційній системі. Оскільки основним методом, який можливо адаптувати під параметри пристрою, був вейвлет-аналіз (метод еквалізації діаграм не має налаштувань, а навчання нейронних мереж не модифікувалось), проаналізуємо особливості його реалізації [162].

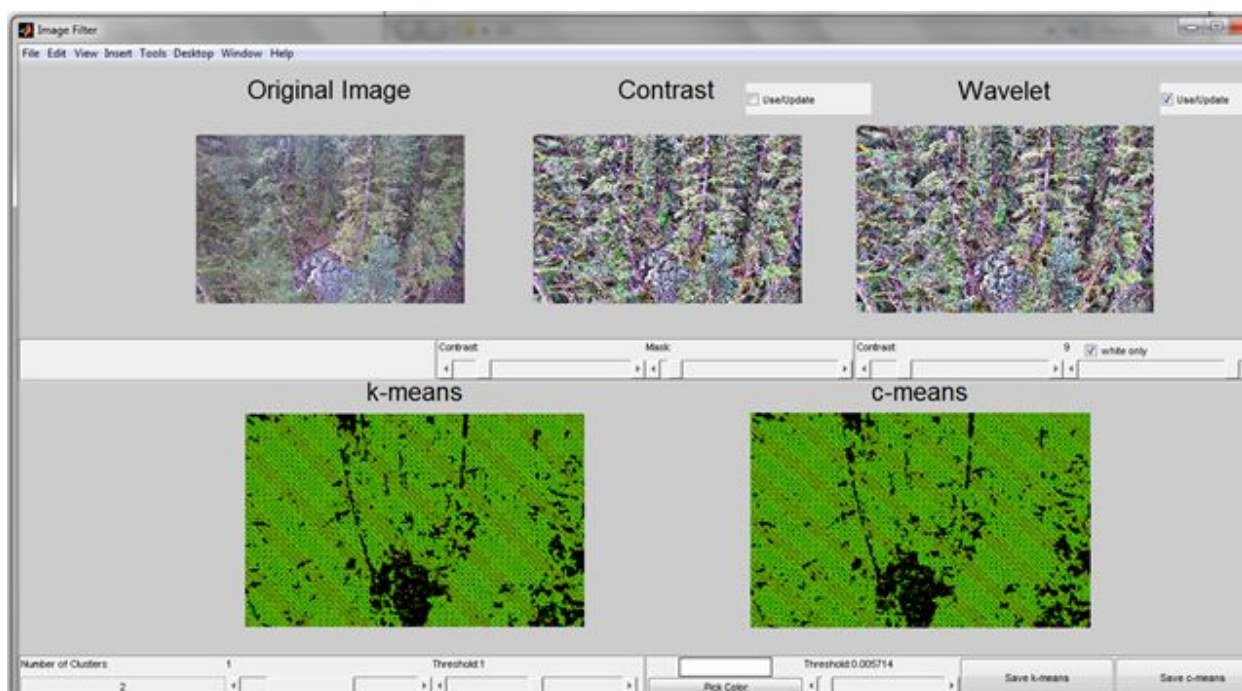


Рисунок 4.1 – Результати розпізнання зображень інформаційною системою визначення осередків лісових пожеж

Пряме вейвлетне перетворення полягає у розкладанні довільного вхідного сигналу на принципово новий базис у вигляді сукупності пакетів – вейвлетів, які можна характеризувати такими властивостями:

- мають вид коротких, локалізованих у часі хвильових пакетів;
- мають можливість зсуву у часі;
- здатні до масштабування (стиснення/ розтягування);
- мають обмежений (локальний) частотний спектр.

Цей базис дає можливість реконструкції сигналів та дає змогу реалізувати алгоритми швидких вейвлетних перетворень.

Відеопотік формувався з реального відео, надісланого з БПЛА. Налаштування інформаційної системи під конкретний пристрій проводилось в ручному режимі. У разі успішної перевірки, ця система може бути перепрограмована та перенесена на мобільні пристрої під керуванням Android та iOS з використанням таких мультиплатформених мов програмування як Python чи Java. Ці мови мають потужні математичні бібліотеки, адаптовані під багатопотоковість, є мультиплатформними та здатні працювати дані з великою швидкістю.

Кількісним параметром структурної схожості двох зображень: вихідного та опрацьованого є індекс структурної схожості (Structural SIMilarity). Чим більшого значення набуває індекс структурної схожості, тим більше схожі геометричні структури двох зображень. У випадку повної тотожності двох зображень їхній SSIM-індекс дорівнює одиниці.

Розрахунок SSIM-індексу виконується за виразом:

$$SSIM = corr(A_1, B_1) \quad (4.1)$$

де  $A_1 = \frac{A - \bar{A}}{\sigma(A)}$ ,  $B_1 = \frac{B - \bar{B}}{\sigma(B)}$ ,  $\sigma(A)$ ,  $\sigma(B)$  – середньоквадратичні відхилення матриць  $A$ ,  $B$ , які подають растрові розподіли яскравості двох зображень;  $corr(A_1, B_1)$  – коефіцієнт кореляції (матриці  $A, B$  повинні мати однакову розмірність). У розгорнутому вигляді вираз (4.1) набуває форми:



$$SSIM = \frac{\sum_c \sum_r (A(c,r) - A_m) \cdot (B(c,r) - B_m)}{\sqrt{(\sum_c \sum_r (A(c,r) - A_m)^2) \cdot (\sum_c \sum_r (B(c,r) - B_m)^2)}} \quad (4.2)$$

Отримання інформації від джерела певною мірою знімає невизначеність стану спостережуваного об'єкта.

Відношення кількості інформації, яка припадає на один цифровий сигнал, характеризує дискретне джерело повідомлень у цілому. Інше джерело з іншою множиною цифрових сигналів матиме іншу питому кількість інформації [103]. Ця загальна характеристика джерела цифрових сигналів кількісно подається його інформаційною ентропією  $H(A)$ , яка визначається таким виразом:

$$H(A) = - \sum_i p(a_i) \log_2 p(a_i), \quad (4.3)$$

де підсумовування здійснюється за множиною.

У виразі (4.3) усереднення (як обчислення математичного сподівання) виконується за всією множиною цифрових сигналів. З цього випливає, що чим вища ентропія, тим більша кількість інформації у середньому закладена до кожного цифрового сигналу цього джерела і тим важче запам'ятати (записати) або передати такий цифровий сигнал по каналу зв'язку.

Перетворення Фур'є з його нескінченно довгим тригонометричним базисом ефективно використовується для аналізу регулярних сигналів [138, 139]. Для нерегулярних сигналів важливо визначити значення аргументу, коли та чи інша частотна характеристика раптово змінилась. Тому базисні функції повинні мати скінчену область визначення. Такими функціями є вейвлети. З їх допомогою можливо покрити весь простір, використовуючи зміщення по-різному стиснених варіантів одноєдиної функції. Завдяки цьому можна кожен сигнал розкласти у вейвлет-ряд (або інтеграл).

Алгоритм підвищення інформативності видових даних дистанційного зондування Землі на основі вейвлет-технологій опрацювання цифрових сигналів виконується у декілька етапів [162].

Етап 1. Попереднє опрацювання початкового зображення. Отримання синтезованого зображення. На цьому етапі початкові знімки розкладаються за каналами. Здійснюється перемішування каналів. Відповідним чином компоненті R відповідає зображення четвертого спектрального каналу, компоненті G – третього, компоненті B – другого. Отримане штучне зображення із кольоровою моделлю RGB переводиться до кольорової моделі HSV. Також до HSV переводиться допоміжне зображення високого просторового розрізнення: панхроматичне зображення, або перший канал для кольорових RGB-зображень. Далі, за допомогою допоміжного зображення, здійснюється зміна компоненти яскравості штучного зображення і результат переводиться з кольорової моделі HSV до кольорової моделі RGB. На виході цього етапу маємо синтезоване штучне RGB-зображення, яке поступає на вхід наступного етапу опрацювання.

Етап 2. Пошук аргументів, які мають бути отримані за максимізації функції інформаційної якості синтезованого зображення. Такою функцією може бути інформаційна ентропія та індекс структурної схожості. На цьому етапі використовують штучне RGB-зображення, яке надійшло після попереднього опрацювання, та допоміжне зображення, що є панхроматичним зображенням, чи першим каналом відповідного RGB-зображення. Ці зображення піддаються вейвлет-декомпозиції першого рівня, в результаті чого для кожного з зображень отримують матриці апроксимуючих та деталізуючих коефіцієнтів. Далі здійснюється перетворення отриманих деталізуючих коефіцієнтів обох зображень, у якому створюються лінійні комбінації (табл.4.2).

Таблиця 4.2

**Результат перетворення деталізуючих коефіцієнтів**

$H_R^* = a \cdot H_p + b \cdot H_R$	$H_G^* = a \cdot H_p + b \cdot H_G$	$H_B^* = a \cdot H_p + b \cdot H_B$
$V_R^* = a \cdot V_p + b \cdot V_R$	$V_G^* = a \cdot H_p + b \cdot H_G$	$V_B^* = a \cdot H_p + b \cdot H_B$
$D_R^* = a \cdot D_p + b \cdot D_R$	$D_G^* = a \cdot H_p + b \cdot H_G$	$D_B^* = a \cdot H_p + b \cdot H_B$

На вхід вейвлет-реконструкції першого рівня надходять в якості деталізуючих коефіцієнтів утворені лінійні форми суміщення різномасштабних компонент знімків, а далі використовуються апроксимуючі коефіцієнти, отримані після вейвлет-декомпозиції RGB-зображення.

Таким чином, утворюється нове зображення, синтезоване за допомогою вейвлетів, для якого обчислюється функція ентропії чи індекс структурної схожості. Далі відбувається пошук аргументів, які є коефіцієнтами лінійних форм суміщення, при яких ентропія чи індекс структурної схожості для синтезованого зображення досягає максимальних значень. Результатом цього етапу є коефіцієнти лінійних комбінацій, отримані за максимізації характеристик інформативності, з допомогою яких на наступному етапі здійснюється подальший аналіз зображення, що опрацьовується.

Етап 3. Використання одержаних аргументів для підвищення інформативності зображення, що опрацьовується. Отримання шуканого зображення з підвищеною інформативністю. На цьому етапі аналіз здійснюється на основі штучного RGB-зображення, одержаного після його попереднього опрацювання, та коефіцієнтів лінійних комбінацій, отриманих на попередньому етапі. Спочатку здійснюється вейвлет-декомпозиція першого рівня синтезованого та допоміжного зображень, у результаті чого для кожного із зображень отримуються матриці апроксимуючих та деталізуючих коефіцієнтів. Отримані деталізуючі коефіцієнти обох зображень утворюють лінійні

комбінації з урахуванням чисельних значень коефіцієнтів лінійних форм суміщення. Далі виконується вейвлет-реконструкція першого рівня. Вхідними даними для здійснення вейвлет-реконструкції є апроксимуючі коефіцієнти, отримані після вейвлет-декомпозиції синтезованого кольорового зображення, не змінюючи їх. У якості деталізуючих коефіцієнтів використовуються утворені лінійні комбінації. Таким чином, у результаті вейвлет-реконструкції має бути отримане зображення, синтезоване за допомогою вейвлетів, що є шуканим зображенням з підвищеною інформативністю.

Вейвлетному перетворенню, яке здійснюється над поточним кольоровим зображенням, піддаються усі канали цього зображення окремо один від одного. Під час вейвлет-декомпозиції зображення, яке є двовимірним масивом чисел розміром  $N \times M$ , розкладається на один двовимірний масив апроксимуючих  $A_{i,j}$  та три двовимірних масиви деталізуючих коефіцієнтів розміром  $\frac{N}{4} \times \frac{M}{4}$ . Деталізуючі коефіцієнти, своєю чергою, розділяються на горизонтальні  $H_{i,j}$ , вертикальні  $V_{i,j}$  та діагональні  $D_{i,j}$ . Якщо розглядати зображення як двовимірний масив чисел (табл.4.3), то алгоритм вейвлетного перетворення має такий вигляд:

$$\begin{aligned}
 A_{i,j} &= \frac{1}{4} \cdot (f_{2i,2j} + f_{2i+1,2j} + f_{2i,2j+1} + f_{2i+1,2j+1}) \\
 H_{i,j} &= \frac{1}{4} \cdot (f_{2i,2j} + f_{2i+1,2j} - f_{2i,2j+1} - f_{2i+1,2j+1}) \\
 V_{i,j} &= \frac{1}{4} \cdot (f_{2i,2j} - f_{2i+1,2j} + f_{2i,2j+1} - f_{2i+1,2j+1}) \\
 D_{i,j} &= \frac{1}{4} \cdot (f_{2i,2j} - f_{2i+1,2j} - f_{2i,2j+1} + f_{2i+1,2j+1})
 \end{aligned}
 \tag{4.4}$$

Таблиця 4.3

**Двомірний масив чисел**

$f_{2i,2j}$	$f_{2i+1,2j}$
$f_{2i,2j+1}$	$f_{2i+1,2j+1}$

Описана методика підвищення інформативності видових даних дистанційного зондування Землі на основі вейвлет-технологій опрацювання цифрових сигналів була реалізована на первинних багатоспектральних видових даних, отриманих з КА Ikonos з суттєво різним просторовим розрізненням.

Для даних КА Ikonos інформативність знімків із просторовим розрізненням 4 м в оптичному діапазоні збільшується завдяки використанню панхроматичних зображень із просторовим розрізненням 1 м [132,162] .

#### **4.2. Апробація методів та засобів раннього виявлення осередків лісових пожеж**

Експерименти проводились як для серії відеорядів, так і для статичних зображень. Тестувались такі комбінації математичних методів:

1. Кластеризація (Кл).
2. Комбінація методів підвищення контрастності зображення та кластеризації (К+Кл).
3. Комбінація методів вейвлет-перетворення та кластеризації (В+Кл).
4. Комбінація методів підвищення контрастності зображення, вейвлет-перетворення, кластеризації (К+В+Кл).

Результати опрацювання цифрових зображень за допомогою вказаних методів та їх різних комбінацій (рис. 4.2).

У випадку вейвлет-перетворення оцінювалась також ефективність на остаточне прийняття рішення різних типів вейвлет-функцій та рівнів вейвлет-перетворення (табл. 4.4) [107].

Таблиця 4.4

#### Характеристики вейвлет-функцій, що тестувались

Тип вейвлета	Довжина фільтра	Кількість нульових моментів	Симетричність
Добеші-N	$2N$	$N$	Відсутня
Симлети-N	$2N$	$N$	Є
Койфлети-N	$6N$	$2N$	Є
Біортогональний $N_r, N_d$	$\max(2N_r, 2N_d)$	$N_r - 1$	Є

Для здійснення прямого дискретного вейвлет-перетворення необхідно здійснити вибір базисної вейвлет-функції (ВФ), вибір якої є досить неоднозначною задачею. При виборі ВФ необхідно враховувати її властивості: наявності швидкого ВП, кількість нульових моментів, ортогональність. Перерахованими властивостями володіють ортогональні вейвлети (Добеші, Симлети, Койфлети) та В - сплайнові біортогональні вейвлети.

Загалом було проведено більш ніж 1000 тестових розрахунків та порівняння їх результатів. Зважаючи на обсяг дисертаційного дослідження наведемо результати найбільш оптимальних комбінацій. Як показали проведені розрахунки, у випадку вищезазначеного комп'ютера, система змогла працювати в режимі реального часу з опрацюванням кожного кадру, коли рівень розкладу вейвлет-перетворення дорівнював 4.

Приклади результатів перетворення, зазначених на початку підрозділу, наведені на рисунку 4.2. Проміжні перетворення зображень для кожного етапу наведені в додатку В. У якості тестових відеопотоків виступали зйомки з БПЛА із середньої висоти вигорілих ділянок трави (зображення 1), осередку пожежі в

лісі зашумлених гілками дерев (зображення 2) та зйомка з максимальної висоти (зображення 3).




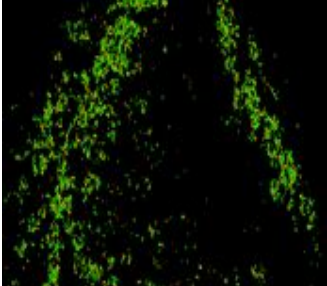
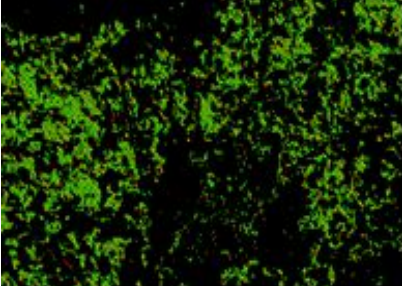
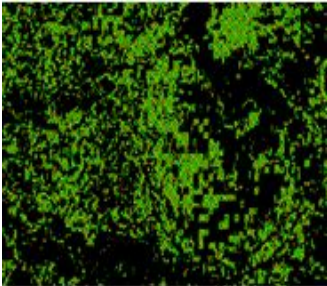
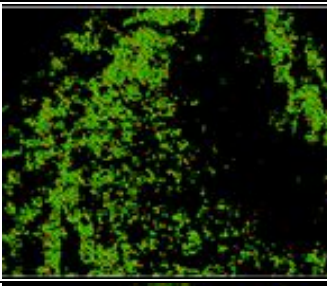
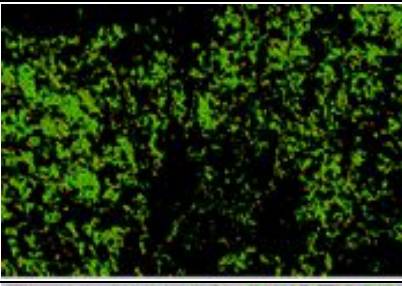
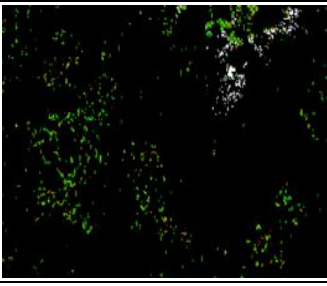
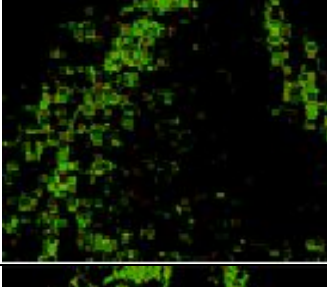
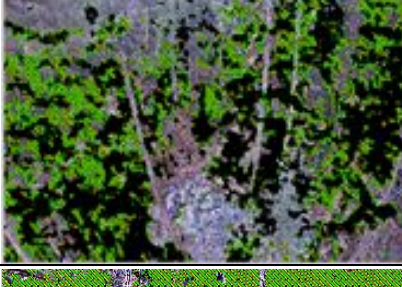
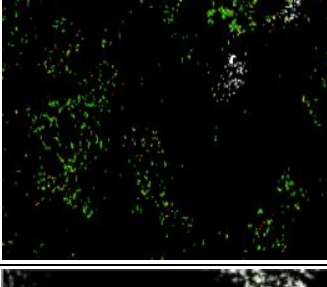



	Зображення 1	Зображення 2	Зображення 3
Оригінальне зображення			
Кл			
К+Кл			
В+Кл			
К+В+Кл (c-means)			

Рисунок 4.2 – Результати опрацювання цифрових зображень

З рисунків видно, що у випадку проведення кластеризації без проведення попереднього опрацювання отриманий рисунок можна описати як шум із точок 2-х кольорів. Зрозуміло, що автоматична система визначення осередку пожежі згідно з формулою (3.19) в усіх випадках помилково зафіксує пожежу. Крім того, і людина-оператор не зможе нічого визначити з цього зображення. Тобто кластеризація без попереднього опрацювання сигналу повністю неінформативна.

У випадку проведення кластеризації на основі зображення з підвищеною контрастністю були отримані дещо розмиті контури вигорілих ділянок у першому та другому зображеннях. Зображення, отримане з великої висоти, є зашумленим. Як видно з наведених зображень (рис.4.2), після опрацювання вони стали більш інформативними і шукані деталі – осередки пожеж – можуть бути безпомилково розпізнані. У результаті кластеризації утворюється набір точок, що належать до вигорілих ділянок. Наявність точок цього кластеру є індикатором для автоматичного виявлення осередку пожежі. У цьому випадку інформація передається на центральний пункт ДСНС для аналізу та прийняття рішення про залучення протипожежних засобів. Використання для розрахунку методу вейвлет-перетворення без підвищення контрастності суттєво впливає на результат. Зокрема на першому зображенні чітко видно вигорілі ділянки (хоча результат схожий на попередні випадки).

Для другого зображення кластеризація змогла чітко виділити вигорілі ділянки лісової підстилки, виокремивши їх серед гілок. В цьому і попередньому зображеннях автоматична система розпізнавання безпомилково визначила джерело небезпеки. Оператор теж чітко і безпомилково може визначити вигорілу ділянку. Однак, у випадку третього зображення система не змогла чітко визначити ділянки, що вигоріли, і в цьому випадку ані оператор, ані система не змогли зреагувати і визначити ситуацію з потенційною небезпекою.



Використання трьох методів перетворення зображення одночасно дало змогу суттєво покращити результати. Зокрема перше зображення практично не змінилось, на другому покращилася чіткість визначення вигорілої ділянки і відсутні точки третього кластера. Долучення методу підвищення контрастності дало змогу у випадку зйомки на максимальній висоті розділити зображення на 3 кластери: природа, вигорілі ділянки та хмари. Це також дало змогу автоматичній системі безпомилково визначити вигорілі ділянки. Отже, в результаті розрахунків було підтверджено доцільність використання вищезазначених методів, були визначені оптимальний вигляд вейвлет-функції та рівні вейвлет-розкладу. Було доведено, що швидкодії сучасних комп'ютерів достатньо для реалізації цих математичних методів в режимі реального часу. Таким чином, система дає змогу передавати оригінальний та перетворений відеоряд на пульт ДСНС для підтвердження сигналу небезпеки.

#### **4.3. Ефективність функціонування інформаційної технології**

На даний час одним із перспективних напрямків підвищення ефективності роботи людино-машинних систем опрацювання зорової інформації є інтелектуалізація операторської праці в сенсі опрацювання зорових образів в семантичному аспекті. Важливим є відбір серед виданих об'єктів саме тих, які потрібні, проте їх опрацювання є напруженою інтелектуальною діяльністю, яка потребує чималих затрат часу та значної напруженої роботи мозку та зорового аналізатора.

У ході експериментального дослідження, описаного в цьому розділі, розроблена процедура фіксації часу розпізнавання та способу зміни розпізнавальної складності наданих зображень без зміни їхньої семантики, шляхом дискретної (ступеневої) зміни їхнього контрасту та яскравості, що є

актуальною задачею і має важливе значення для тренажерних систем підготовки та атестації операторського персоналу. У ході проведених експериментів для оцінювання ефективності операторської діяльності на екран монітора подавалися зображення стандартних робочих ситуацій і визначалася відносна частота допущення помилок. Проте при цьому не враховувалися ні час розпізнавання, ні характеристики наданих стандартних зображень [108-110].

Як показали дослідження, рестрація часу розпізнавання та врахування зміни характеристик зображення суттєво підвищує об'єктивність оцінювання ефективності операторської діяльності. А в нашому випадку саме час розпізнавання зображення та час реакції оператора є важливими індивідуальними характеристиками людини [110–112].

Сьогодні розроблено багато різноманітних моделей людини-оператора, що описують різні психологічні властивості людини при роботі в системі управління, різні канали сприйняття інформації. Інформаційна теорія зору Д.Марра [113–114] пропонує інформаційний аналіз феномену зору людини, а саме способи побудови алгоритмів, що дають змогу за структурою зображення робити висновок про структуру реального світу, а також фізичні обмеження та припущення, що забезпечують можливість побудови такого висновку.

Моделювання процесу сприймання базується на принципі поетапного опрацювання інформації людиною та комп'ютером у разі сприймання знайомих предметів – розпізнавання образів. Етапи опрацювання інформації включають процеси її реєстрації, виділення властивостей об'єктів завдяки роботі спеціалізованих каналів чи детекторів, порівняння з тією інформацією, котра отримана раніше і зберігається у тривалій пам'яті, прийняття рішення – вибір із багатьох актуалізованих кодів такого, який найбільше відповідає шуканому.

Аналіз процесів сприйняття та розпізнавання інформації, розкриття їх природи і закономірностей необхідні для вирішення завдання оптимальної побудови інформаційної моделі реального оточення. Прийом інформації

людиною-оператором необхідно розглядати як процес формування перцептивного образу. Під ним розуміють суб'єктивне віддзеркалення в свідомості людини властивостей об'єкту, що діє на нього. Дослідження, що ведеться в руслі суб'єктної психофізики, підкреслюють активність та індивідуальність суб'єкта в процесі вирішення психофізичної задачі [170-176].

Розглянуті властивості сприйняття інформації є цікавими у плані інженерної психології в тому сенсі, що вони не є початковими властивостями перцептивного образу, а формуються в процесі його становлення. Дані досліджень у галузі психофізики та нейрофізіології зорової системи людини можуть бути покладені в основу методів опрацювання інформації, що використовуються в системах автоматизованого опрацювання та розпізнавання зображень, при розробленні моделелей людини-оператора [176].

У ході експерименту, описаного в даній роботі, враховані такі психофізичні особливості людини-оператора, як швидкість реакції на різні за контрастом, яскравістю та іншими характеристиками зображення. Доцільність застосування запропонованої методики для вивчення процесів опрацювання зорової інформації, дає змогу аналізувати швидкість прийняття рішень людиною-оператором.

У експерименті взяли участь 120 студентів Буковинського університету у віці 18–20 років, які володіють навичками роботи з персональним комп'ютером.

Перед тестуванням розробленої інформаційної системи у реальних ситуаціях виявлення осередків лісових пожеж були проведені тести на визначення та врахування особливостей психоемоційного стану учасників експерименту, було проведено додаткове їх тестування за методикою САН (самопочуття, активність, настрій) та тестування особистісної тривожності за шкалою Спілбергера-Ханіна [177]. Тест проводився в режимі on-line (рис. 4.3).

Результати цього тесту дали змогу сформувати вибірку студентів, які за своїм психоемоційним станом, зокрема за рівнем реактивної та особистісної тривожності на момент проведення експерименту, можуть бути залучені до тестового експерименту із виявлення осередків лісової пожежі на цифрових зображеннях, отриманих з борту квадрокоптера.

---

[Всі тести](#) » [Психологічні](#) » [Тест Спілбергера-Ханіна](#)

[Особистий кабінет](#)

## Шкала тривоги Спілбергера-Ханіна

Прочитайте уважно кожну з наведених пропозицій.

Виберіть відповідь залежно від того, як ви себе відчуваєте в даний момент.

Над питаннями довго не замислюйтесь, правильних і неправильних відповідей тут немає.

ПОЧАТИ ТЕСТУВАННЯ

---

Рисунок 4.3 – Вікно програми on-line тестування за шкалою Спілбергера-Ханіна

Опитувальник Спілбергера-Ханіна призначений для оцінки реактивної та особистісної тривожності (додаток Г). Особистісна тривожність розглядається як відносно стійка індивідуальна якість особистості, яка характеризує ступінь її занепокоєння, турботи, емоційної напруги внаслідок дії стресових факторів.

Реактивна тривожність – це стан спеціаліста, який характеризує ступінь його занепокоєння, турботи, емоційної напруги та розвивається у конкретній стресовій ситуації. Якщо особистісна тривожність є стійкою індивідуальною характеристикою, то стан реактивної тривожності може бути достатньо динамічним і за часом, і за ступенем вираженості.

Методика Ч. Спілбергера та Ю. Ханіна може одночасно вимірювати тривожність як самопочуття (так звана ситуативна тривожність – зміна емоційного фону відповідно до зміни ситуації) і як характеристику особистості (так звана особиста тривожність, яка орієнтована на пізнання внутрішнього світу людини).

Опитувальник Ч. Спілбергера складається з 40 питань-суджень, з котрих почуваєте в даний момент?») та 21–40 – для визначення особистісної тривожності (шкала «Як Ви себе почуваєте звичайно?»). На кожне запитання можливі 4 відповіді за ступенем інтенсивності (зовсім ні, мабуть так, вірно, цілком вірно) – для шкали реактивної тривожності, та 4 відповіді за частотою (майже ніколи, іноді, часто, майже завжди) – для шкали особистісної тривожності.

Одні питання-судження в опитувальнику Ч. Спілбергера сформульовані так, що відповідь (1) означає відсутність чи легку ступінь тривожності. Це в шкалі реактивної тривожності так звані прямі запитання: № 3, 4, 6, 77, 9, 12, 13, 14, 17, 19, а в шкалі особистісної тривожності – № 22, 23, 24, 25, 28, 29, 31, 32, 34, 35, 37, 38, 40. В інших, так званих зворотних запитаннях, відповідь (1) означає високий ступінь тривожності, а відповідь (4) – низьку тривожність: № 1,

Результати цієї методики вказують не лише на психодинамічні особливості особистості, але й на загальні питання взаємозв'язку параметрів реактивності та активності особистості, її темпераменту та характеру. Ця методика є розгорнутою суб'єктивною характеристикою особистості.

Опрацювання проводиться у такий спосіб. Спочатку окремо складаються результати за зворотними та прямими запитаннями, потім із сум прямих віднімається сума зворотних запитань і до одержаного числа додається постійне

число 50 для шкали реактивної тривожності та 35 – для шкали особистісної тривожності. Показник результату за кожною шкалою може коливатися в діапазоні від 20 до 80 балів. Чим він більший, тим вищий рівень тривожності (реактивної або особистісної). Оцінка рівнів реактивної та особистісної тривожності за результатами показників здійснюється в таких межах: до 30 балів – низький рівень тривожності, від 31–45 балів – середній, більше 45 балів – високий рівень тривожності.

Практикуючі психологи, які працюють з методикою В. Спілбергера та Ю.Ханіна, звертають увагу ще на один нюанс – це низький рівень оцінок. Адже не можна виключати той факт, що студентів просто хотілося представити себе вигідно. Крім того, повні емоційні несприйняття і пасивність можуть свідчити про затяжну депресію, апатію, емоційне вигорання або перевтому. Таким чином, тест Спілбергера-Ханіна може відмінно діагностувати рівень тривожності людини. Крім того, його можна використовувати і самостійно для визначення свого емоційного стану в конкретний проміжок часу.

Встановлено, що серед обстежених студентів, більшість складають особи з середнім рівнем особистісної тривожності – 62 осіб (51,7%), високий рівень особистісної тривожності відзначався у 30 осіб – (25%), низький рівень особистісної тривожності виявлено у 28 студентів (23,3%). Результати дослідження рівня тривожності наведені в таблиці 4.5.

*Таблиця 4.5*

#### **Результати дослідження рівня тривожності**

	Рівень особистісної тривожності			Рівень ситуативної тривожності		
	високий	середній	низький	високий	середній	низький
К-ть осіб	30	62	28	20	70	30
Показник у %	25%	51,7%	23,3%	16,5%	58,3	25%

Аналізуючи показники рівня ситуативної тривожності, можна зауважити, що високий рівень ситуативної тривоги був притаманний 20 студентам, що становило 16,7%, середній рівень ситуативної тривоги – 70 осіб (58,3%), низький – у 30 осіб, що становить 25%. Підвищений рівень тривожності може бути пов'язаний як з зовнішніми, так і з внутрішніми факторами, і свідчить про недостатнє емоційне пристосування до тих чи інших соціальних ситуацій або про несерйозність та безініціативність особистості. Отже, проведений тест Спілберга-Ханіна дав змогу сформувати множину студентів, результатам яких можна довіряти на наступному кроці тестування.

Для перевірки ефективності запропонованих моделей було проведене дослідження часових характеристик опрацювання інформації людиною-оператором – порівняння часу та безпомилковості розпізнання людиною лісових пожеж на оригінальних зображеннях та зображеннях, опрацьованих за допомогою створеної інформаційної технології. Для цього в середовищі C# була створена програма тестування, основні вікна якої наведені на рисунках 4.4 – 4.7.

Тестування розпочиналося з заповнення даних у наступному вікні:

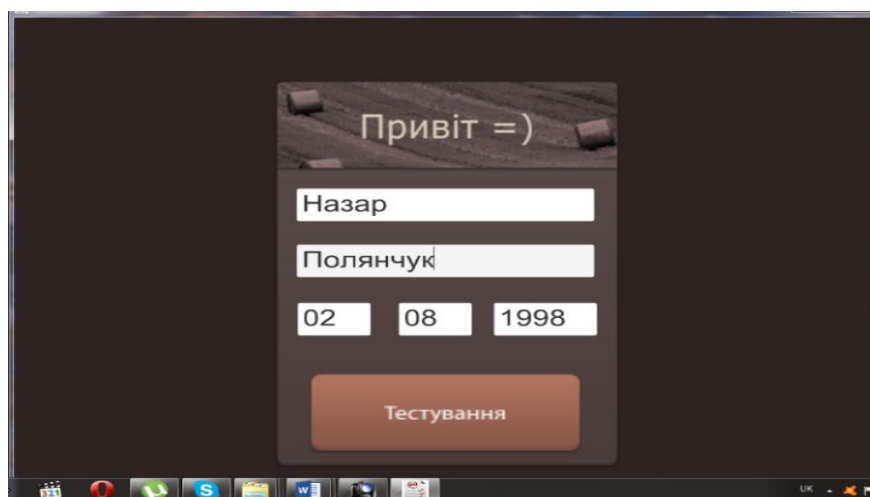


Рисунок 4.4 – Вікно початку тестування

У програмі тестування передбачена можливість завантаження фотографічних неопрацьованих зображень в форматі JPEG, а також кластеризованих зображень.

На початку роботи задаються умови проведення експерименту: час перед показом першого зображення, час експозиції зображення, час до показу наступного зображення. Тест проводився в такій послідовності:

1. Формувалась множина оригіналів фотографій та їх кластеризованих за допомогою розробленої нами інформаційної системи копій (зображень), що містила більше 100 зображень різних ділянок лісу, на основі яких інформаційна система згенерувала сигнал попередження про небезпеку.

2. На кожному кроці тестування студент отримував або тільки оригінал зображення (рис.4.5), або оригінал одночасно з кластеризованим зображенням (рис.4.6). Цей вибір здійснювався автоматично за допомогою рандомізованого алгоритму.

3. Оператор за допомогою миші мав вказати на осередок пожежі, або заперечити її наявність, натиснувши на відповідну кнопку.

4. Система визначала декількість помилок оператора, а також час, витрачений на пошук осередку пожежі в кожному окремому випадку.

5. Після закінченні тестування визначався середній час розпізнання, середній відсоток правильних відповідей та кількість випадків «зображення не розпізнане».

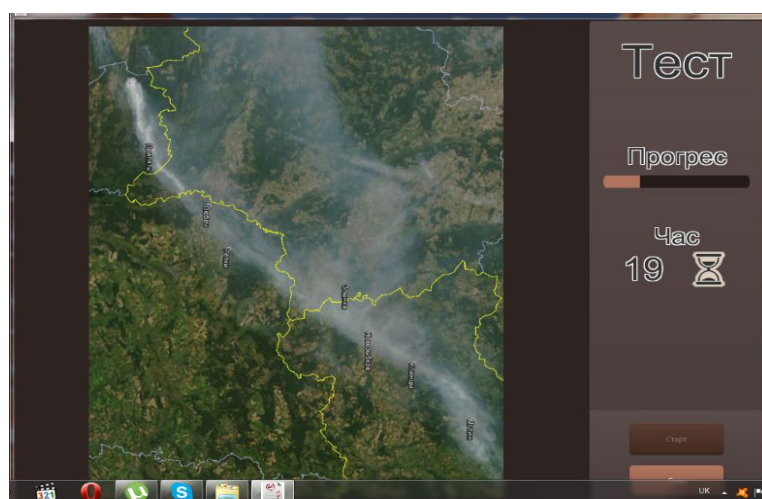


Рисунок 4.5 – Вікно, в якому показано неопрацьоване зображення



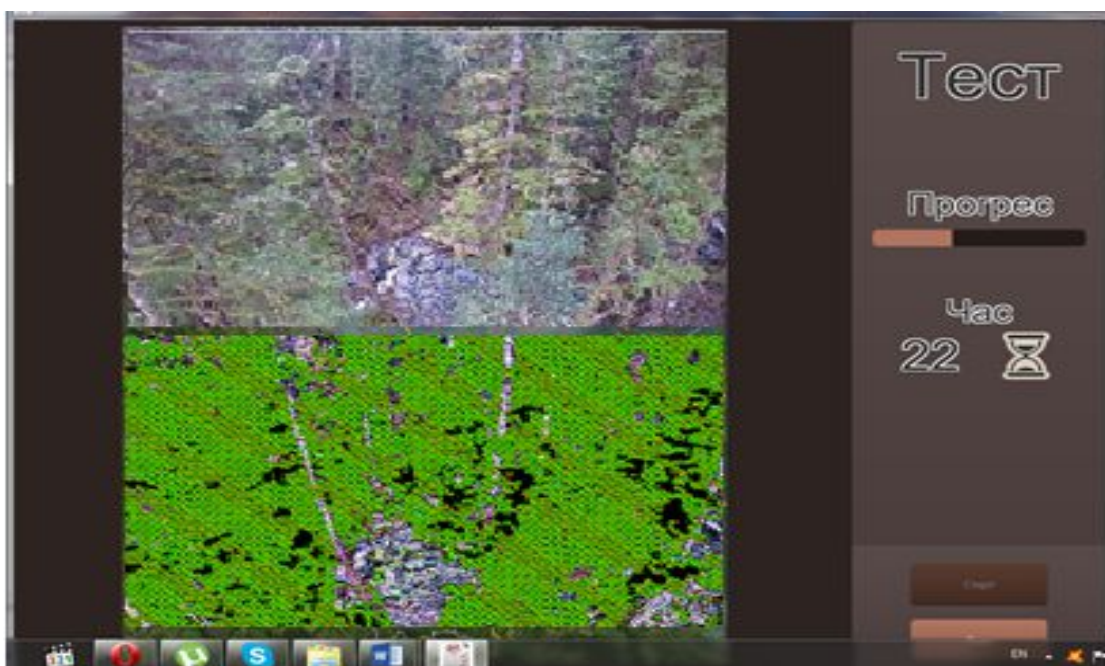


Рисунок 4.6 – Вікно, в якому одночасно показано і не опрацьоване, і кластеризоване зображення

Інтерфейс програми передбачає проведення тестування оператора з можливістю спостереження за часом та процесом тестування. Програма також передбачає визначення емоційного стану оператора в залежності від біоритмів, що підвищує об'єктивність аналізу результатів тестування [178]. Для визначення рівня біоритмів перед початком тестування оператор вводить свій день, місяць та рік народження. Ці дані використовуються для автоматичного визначення фізичного, інтелектуального, емоційного та середнього рівня біоритмів осіб, що тестувалися (рис. 4.7).

Під час аналізу результатів тестування до уваги бралися також фізичний, інтелектуальний та емоційний рівні біоритмів, які впливають на рівень розумової та фізичної працездатності людини.

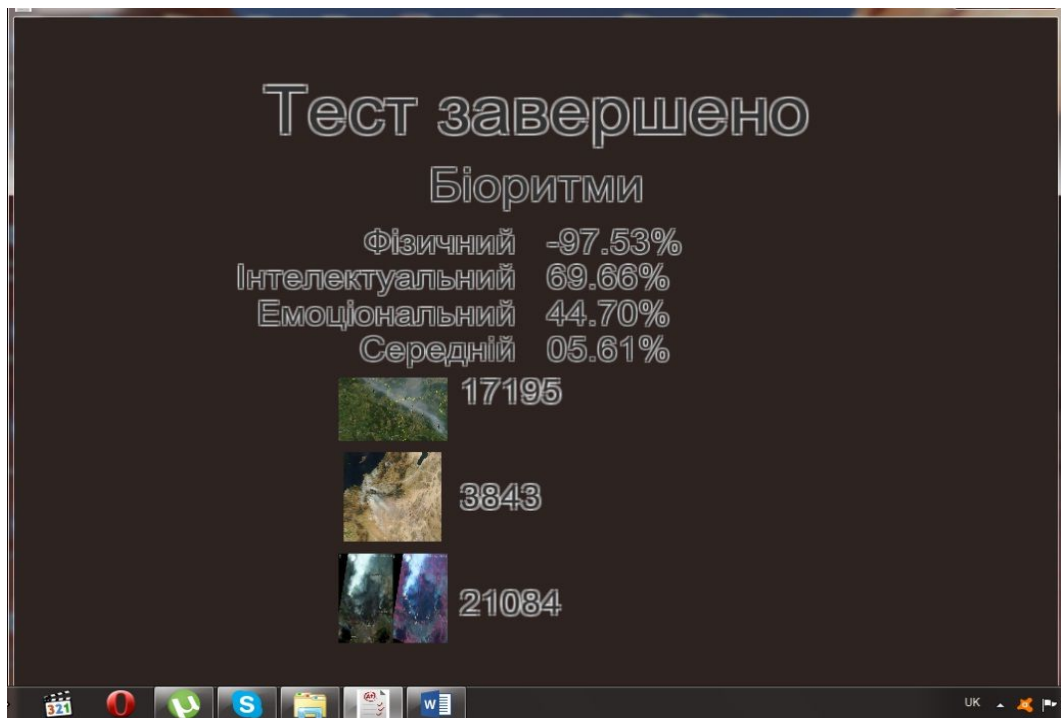


Рисунок 4.7 – Вікно завершення тестування і виведення результатів  
Середні значення рівнів біоритмів осіб, що брали участь в експерименті,  
наведені в таблиці 4.6.

*Таблиця 4.6*

**Середні значення рівнів біоритмів осіб, що тестувалися**

Кількість осіб, що тестувалися	Середнє значення рівня біоритмів		
	високий	середній	низький
120	48 (40%)	55 (45,8%)	17 (14,2%)

Результати тестування виводяться на екран та зберігаються в текстовому файлі, їх легко можна переглянути та роздрукувати (рис. 4.8).

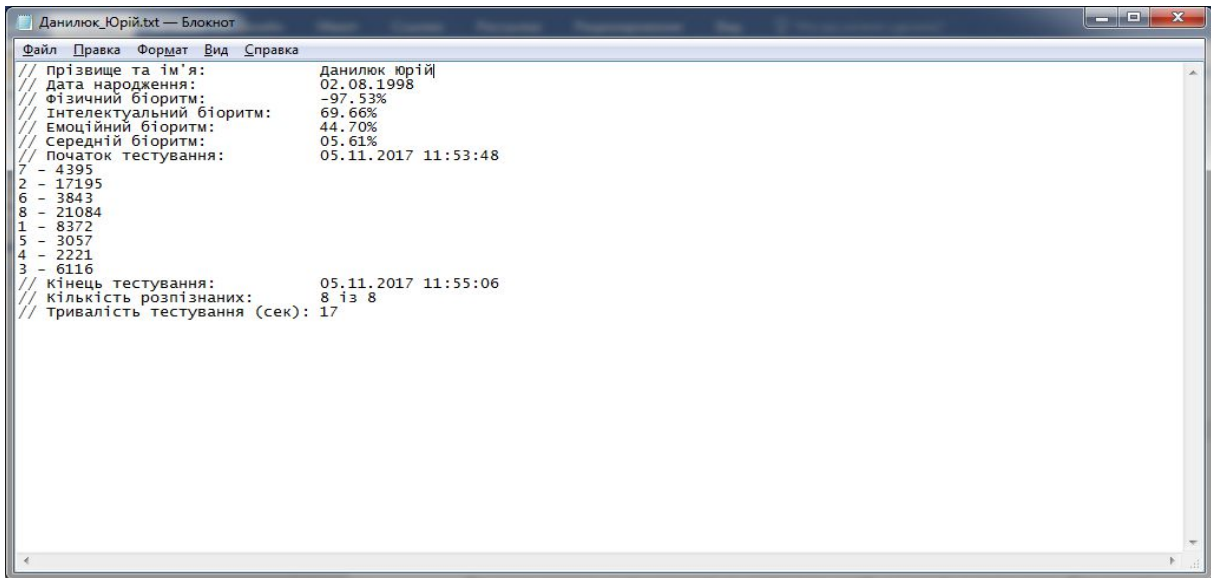


Рисунок 4.8 – Вікно текстового файлу із збереженими результатами

Порівняння часу та безпомилковості розпізнання людиною лісових пожеж на оригінальних зображеннях та зображеннях, опрацьованих за допомогою розробленої інформаційної технології, наведено в таблиці 4.7.

Таблиця 4.7

#### Результати експерименту із розпізнавання зображень

Критерії	Людина		Інформаційна (Ноутбук ASUS F541NC-GO054T (90NB0E93-M00700))		
	При показі не опрацьованих зображень	При показі опрацьованих зображень	n=4, l=1 (k-means/c-means)	n=6, l=2 (k-means/c-means)	n=8, l=2 (k-means/c-means)
Середній час розпізнання, с	10	2	0,03	0,03	0,03
Середній % вірних відповідей (спрацьовувань)	70	90	75/78	78/80, 5	80/82
Кількість випадків «зображення не розпізнане»	30	10	25/24	22/20	20/20

Як видно з таблиці 4.7, час розпізнавання оператором пожежі на опрацьованих знімках скоротився в 5 разів у порівнянні з оригінальними. Час

опрацювання і прийняття рішення автоматичною системою, що працює під системою Windows на ноутбучі ASUS F541NC-GO054T (90NB0E93-M00700), як правило, не перевищує тривалості одного кадру. Тобто система може працювати в режимі реального часу.

Якість прийняття рішення оператором підвищилась з 70% до 90% та суттєво скоротилась кількість хибних відповідей. Як видно з результатів експериментів, кількість правильних спрацьовувань автоматизованої системи є достатньо високою (80%), однак цей показник є нижчим від показників операторів, а отже, система може використовуватись як дорадча. Крім того, з таблиці видно, що кластеризація методом *c-means* показує кращий результат за *k-means* в режимі автоматичної фіксації осередків лісових пожеж.

Як показали результати тестування, запропонована інформаційна технологія володіє достатньою швидкістю та якістю розпізнавання осередків лісових пожеж і може підвищити ефективність моніторингу та протипожежного захисту.

#### Висновки до розділу 4

1. Розроблено інформаційну систему, яка дає змогу реалізувати створену інформаційну технологію.
2. Проведені натурні експерименти, які дали змогу встановити оптимальні налаштування параметрів кластеризації та вейвлет-перетворення.
3. Проведено порівняльний аналіз ефективності функціонування розробленої інформаційної системи та людини-оператора, що підтвердив ефективність пропонованої інформаційної технології.

*Результати експериментальних досліджень даного розділу наведено в таких публікаціях:*

1. Гусак О. М., Вершигора В. Г. Застосування методики вейвлет-аналізу для обробки супутникових знімків лісових пожеж. *Науковий Вісник НЛТУ України: збірник науково-технічних праць*. 2013. № 23. С. 366–371.
2. Гусак О. М. Шляхи підвищення ефективності розпізнавання і класифікації об'єктів на супутникових знімках. *Технологічний аудит та резерви виробництва*. 2013. № 4. С. 9–11.
3. Гусак О. М. Організація експериментального дослідження психологічних механізмів забезпечення ефективності роботи операторів. *Технологічний аудит та резерви виробництва*. 2013. № 5. С. 6–8.
4. Гусак О. М. Побудова лінійної математичної моделі людини-оператора. *Технологічний аудит і резерви виробництва*. 2015. № 2. С. 68–72.
5. Камінський Р. М., О. М. Гусак. Психофізичні аспекти опрацювання візуальної інформації, наданої на моніторі. *Інформаційні технології, економіка та право: стан та перспективи розвитку – 2011* : матеріали міжнар. наук.-практ. конф., м. Чернівці, 23-24 лют. 2011 р. Чернівці, 2011. С. 34.
6. Гусак О. М. Ефективність сприйняття інформації людиною-оператором. *Інформаційні технології, економіка та право – 2012* : матеріали міжнар. наук.-практ. конф., м. Чернівці, 28–31 бер. 2012 р. Чернівці, 2012. С.7.
7. Vyklyuk Y. I., Husak O. M. Ways to Improve objects recognition and classification in satellite images. *Natural Hazards Links between Science and Practice* .: International Conference Proc., Belgrade, Serbia, Oct 8 – 11 2013. Belgrade, 2013. P. 12.
8. Гусак О. М. Принципы инженерно-психологического обеспечения операторской деятельности в системах «человек-машина». *Європейська*

- наука XXI століття – 2013.* : матеріали ІХ міжнар. наук.-практ. конф., м. Пшемишль, Польща, 07–15 трав. 2013 р. Пшемишль, 2013. С.72–75.
9. Гусак О. М. Особливості постановки та проведення експерименту по вивченню психофізичних особливостей оператора в системах опрацювання зорових образів. *Прикладні наукові розробки – 2013.* : матеріали ІХ міжнар. наук.-практ. конф., м. Прага, Чехія, 27.07–05 серп. 2013 р. Прага, 2013. С. 3–5.
10. Гусак О. М. Застосування методів математичної морфології при побудові математичної моделі розповсюдження пожежі. *Інформаційні технології, економіка та право – 2014* : матеріали міжнар. наук.-практ. конф., м. Чернівці, 3–4 квіт. 2014 р. Чернівці, 2014. С.41–42.
11. Виклюк Я. І., Гусак О. М. Методи і засоби підвищення інформативності даних дистанційного зондування Землі. *Системний аналіз та інформаційні технології» («System Analysis and Information Technologies)* : матеріали міжнар. наук.-техн. конф., м. Київ, 30 трав. 2016 р. Київ, 2016. С.334.
12. Гусак О. М., Вершигора В. Г. Застосування методології математичного моделювання для визначення параметрів лінійної математичної моделі людини–оператора. *Економічні науки* : зб. наук. праць, м. Чернівці, 2015. Вип. 11. С.103–111.
13. Гусак О. М. Роль процесів психічної регуляції у вивченні теорії прийняття рішень. *Науковий вісник ЧНУ. Педагогіка та психологія* : зб. наук. праць, м. Чернівці, 2011. Вип. 594. С. 54–58.
14. Гусак О. М., Вершигора В. Г. Логіка побудови математичної моделі психологічних процесів сприйняття та опрацювання зорових образів. *Науковий вісник Чернівецького національного університету. Педагогіка та психологія* : зб. наук. праць, Чернівці, 2012. Вип. 635 С. 81–85.

## ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розв'язано актуальну науково-технічну задачу – розроблення інформаційної технології раннього виявлення осередків запалювання лісових пожеж на основі розширення інформаційно-технологічних можливостей неспеціалізованих безпілотних літальних апаратів. При цьому отримано такі основні результати:

1. У результаті огляду інформаційно-технологічного забезпечення та математичного апарату моделей, що використовуються при функціонуванні безпілотних літальних апаратів було встановлено, що існує широкий спектр алгоритмів, які інтегровані в інформаційні системи та використовуються для вирішення багатьох задач навігації, однак жодна з ІС не вирішує задач моніторингу об'єктів, в тому числі й осередків лісових пожеж, у фоновому режимі. Також встановлено, що не існує загальноприйнятої методології застосування математичних методів та їх автоматичної адаптації до технічних характеристик пристроїв управління.

2. Розроблена інформаційна технологія сповіщення рятувальних служб залученими неспеціалізованими безпілотними літальними апаратами в разі виявлення осередку лісової пожежі, яка базується на розширенні їх інформаційно-технологічних можливостей, що дасть змогу додатково інформувати ДСНС, а отже, покращити ефективність пожежної безпеки лісу. На основі проведеного аналізу технічних характеристик безпілотних літальних апаратів та пристроїв управління виділено мінімальний набір вимог, необхідних для їх інтеграції в розроблену інформаційну технологію.

3. Вдосконалено метод автоматичної адаптації параметрів вейвлет-перетворення та частоти кадрів, шляхом автоматичного налаштування параметрів математичних методів залежно від технічних характеристик пристроїв управління безпілотним літальним апаратом за критерієм швидкість-

якість розпізнавання для безперебійного функціонування інформаційної системи у фоновому режимі.

4. Вдосконалено метод автоматичного виявлення небезпеки лісової пожежі на основі визначення відносної кількості точок зображення, що належать до нечіткого кластера неприродних кольорів  $\alpha$ -рівня, що дає змогу автоматично повідомляти про осередки лісової пожежі.

5. Розроблений метод опрацювання відеопотоків для автоматизованого пошуку осередків лісових пожеж у фоновому режимі з використанням паралельних обчислень, розрахований на використання пристроїв управління із чотириядерними процесорами, що забезпечує розподіл та оптимізацію використання ресурсів безпілотного літального апарату та пристрою управління.

Проведені натурні експерименти, які дали змогу встановити оптимальні налаштування параметрів та порівняти ефективність функціонування розробленої інформаційної системи порівняно з людиною-оператором, що підтвердило ефективність пропонованої інформаційної технології. Зокрема, час розпізнавання оператором пожежі на опрацьованих знімках скоротився в 5 разів порівняно з оригінальними. Якість прийняття рішення оператором підвищилась з 70% до 90%, що підтвердило ефективність пропонованої інформаційної технології.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Масштабні лісові пожежі 2017 року. URL: [http://lesovod.blogspot.nl/2017/07/2017\\_22.html](http://lesovod.blogspot.nl/2017/07/2017_22.html) (дата звернення 18. 07. 2018).
2. Пожежі в лісі. URL: <https://ua.censor.net.ua/n436316> (дата звернення 28. 10. 2018).
3. Масштабні лісові пожежі 2017 року. URL: [http://lesovod.blogspot.nl/2017/07/2017\\_22.html](http://lesovod.blogspot.nl/2017/07/2017_22.html) (дата звернення 25. 07. 2017).
4. Структурний аналіз лісових пожеж, динаміка їхнього розвитку та поширення. URL: <http://gisap.eu/ru/node/1100> (дата звернення 03. 10. 2017).
5. Лесные пожары в Португалии. URL: <https://www.currenttime.tv/a/28562714.html> (дата звернення 15. 12. 2017).
6. Статистика лісових пожеж – Державне агентство лісових ресурсів України // Кабінет міністрів України. 2016. URL: [http://dklg.kmu.gov.ua/forest/control/uk/publish/category;jsessionid=E59624042FADD2A84826F25618055693?cat\\_id=63902](http://dklg.kmu.gov.ua/forest/control/uk/publish/category;jsessionid=E59624042FADD2A84826F25618055693?cat_id=63902). Статистичний щорічник України 2016 (дата звернення 18. 08. 2017).
7. Система централізованого пожежного спостереження. URL: <http://isecurity.com.ua/sposterezhennya/> (дата звернення 05. 12. 2016).
8. Про затвердження Методичних рекомендацій щодо зниження небезпеки впливу лісових пожеж на арсенали, бази і склади боєприпасів, що розташовані в лісових масивах : Наказ Міністерство надзвичайних ситуацій України від 25 серпня 2011 року N 890. URL: [http://search.ligazakon.ua/l\\_doc2.nsf/link1/FIN69121.html](http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/FIN69121.html) (дата звернення 01. 06. 2016).
9. United Nations Economic Commission for Europe. ICP Integrated Monitoring. Міжнародна кооперативна програма інтегрованого моніторингу впливу

- забруднення повітря на екосистеми. United Nations Economic Commission for Europe URL: <http://icp-forests.net/> (дата звернення 18. 07. 2017).
10. За порушення правил пожежної безпеки в лісах штрафи для громадян збільшені URL: <https://life.pravda.com.ua/society/2017/02/7/222486/> (дата звернення 03. 12. 2017).
  11. Наказ «Про затвердження Правил з пожежного спостерігання»/ Міністерство Внутрішніх справ України. 2015. URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z0920> (дата звернення 10. 11. 2017).
  12. Emilio Chuvieco. Fundamentos de teledeteccion espacial. Segunda edición. Madrid: Ediciones rialp, S. A., 1995. 449 с.
  13. Костріков С. В. Геоінформаційне моделювання природно-антропогенного довкілля : наукова монографія. Харків : ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2014. 484с.
  14. Путренко В. В. Інтелектуальний аналіз небезпеки виникнення природних пожеж на основі геоінформаційних технологій. *Проблеми безперервної географічної освіти і картографії* : зб. наукових праць. Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна. Харків, 2014. № 19. С. 48.
  15. Yasar G. S. Animals as mobile biological sensors for forest fire detection. *Sensors*. Basel, Switzerland, 2007. № 7 (12). С. 3084–3099.
  16. Супутниковий моніторинг лісових пожеж URL: [http://urps-notices.blogspot.nl/2010/08/blog-post\\_06.html](http://urps-notices.blogspot.nl/2010/08/blog-post_06.html) (дата звернення 01. 10. 2016).
  17. Компанія ТВІС – перший в Україні супермаркет супутникових знімків
  18. URL : <http://www.tvis.com.ua> (дата звернення 18. 07. 2018).
  19. Карта і супутникові знімки пожеж у Чорнобильській зоні URL: [http://texty.org.ua/pg/article/An-21/read/61557/Karta\\_i\\_suputnykovi\\_znimky\\_pozhezh\\_u\\_Chornobylskij](http://texty.org.ua/pg/article/An-21/read/61557/Karta_i_suputnykovi_znimky_pozhezh_u_Chornobylskij) (дата звернення 01. 07. 2017).

20. Polyanskii P. V., Husak Ye. M. Volume quadric hologram-based associative memories. *Optical Memory & Neural Networks (Information Optics)*. 2014. Vol. 23, No 4. P. 225–232.
21. Polyanskii P. V., Husak Ye. M. Optical correlation approach to all-optical holographic associative memories. *Optical Memory & Neural Networks (Information Optics)*. 2014. Vol. 23, No 1, P. 12–25.
22. Polyanskii P. V., Husak Ye. M. Self conjugation heteroassociative memories using thin static nonlinearly recorded holograms. *Optical Memory & Neural Networks (Information Optics)*. 2014. No 2. P. 74–83.
23. Polyanskii P. V., Husak Ye. M. Optical correlation aspect of holography : from ghost-imaging to static phase-conjugation holographic associative memories. *SPIE Proc.* 2013. Vol. 9066, 99660H1-14.
24. Cheng H., Matteo C., Zhongke F. Z. Siyu. Using Li Dar Data to Measure the (дата звернення 23. 11. 2016).
25. Modeling Forest Aboveground Biomass and Volume Using Airborne LiDAR Metrics and Forest Inventory and Analysis Data in the Pacific Northwest. *Remote Sensing*. 2015. No 7. P. 229-255. DOI: 10.3390/rs70100229.
26. Zhao K., Valle D., Popescu S. Hyperspectral remote sensing of plant biochemistry using Bayesian model averaging with variable and band selection. *Remote Sensing of Environment*. 2013. No 132. P. 102– 119/
27. Habib A., Ghanma M., Morgan M., Al-Ruzouq R. Photogrammetric and lidar Data Registration Using Linear Features. *Photogramm. Eng. Remote Sens.* 2005. Vol. 71, P. 699 – 707.
28. Taylor G., Kidner D., Brundsdon K. Modelling and prediction of GPS availability with digital photogrammetry and LiDAR. *International Journal of Geographical Information Science*. 2007. Vol. 21, No 1. P. 1–20.

29. Bouabdellah K., Noureddine H., Larbi S. Using Wireless Sensor Networks for Reliable Forest Fires Detection. *Procedia Computer Science*. 2013. No19. P. 794 – 801.
30. Яцків В. В., Башуцький В. В. Система контролю лісових пожеж на основі безпроводних сенсорних мереж. *Сучасні комп'ютерні інформаційні технології* : матеріали V Всеукр. шк.-семінару молодих вчен. і студ. АСІТ'2015, м. Тернопіль, ТНЕУ, 22 – 23 трав. 2015 р. Тернопіль, 2015. С. 63-64.
31. Александер М. Б. Методи та моделі забезпечення захисту безпроводних сенсорних мереж : дис. докт. техн. наук : 05.13.21 / Національний авіаційний університет. Київ, 2016. 225 с.
32. Кузик А. Д. Про методи гасіння лісових пожеж. *Пожежна безпека* : зб. наук. праць, м.Львів, ЛПБ, 2003. № 3. С. 118–120. Кузик А. Д. Математичне моделювання пожежної небезпеки лісів. *Науковий вісник НЛТУ України*. Львів, 2011. Вип. 21.16. С. 104 – 112.
33. Rogalski. Infrared detectors : an overview. *Infrared Physics & Technology*. 2002. No 43. P. 187–210.
34. Dupuy J. L., Marechal J., Morvan, D. Fires from a cylindrical forest fuel burner: combustion dynamics and flame properties. *Combust. Flame*. 2003. No 135. P. 65–76.
35. Dupuy J. L. Slope and fuel load effects on fire behavior : laboratory experiments in pine needle fuel beds. *Int. J. Wildland Fire*. 1995. No 5. P. 153–164.
36. Drone Major. Глобальная платформа Drone URL: <https://ru.dronemajor.net/brands/workswell> (дата звернення: 02.09. 2017).
37. Лаврівський М. З., Тур Н. Е. Використання безпілотних літальних апаратів для моніторингу надзвичайних ситуацій у лісовій місцевості.

- Збірник науково-технічних праць. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2015. Вип. 25.8. С. 353–359.
38. Chuan Li, George D. Skidmore, C. J. Han. DRS uncooled VOx infrared detector development. *Optical Engineering*. 2010. Vol. 50, No 50.
39. Алексеев О. М., Бондарев Д. І. Перспективи розвитку безпілотного та муніципального авіаційного транспорту в Україні. *Системи обробки інформації*. 2016. № 8. С. 10–16.
40. Пожарная служба Манчестера использует дроны с инфракрасной камерой  
URL: <http://29y.ru/main/22073-pozharnaya-sluzhbamanchestera-ispolzuet-dronov-s-infrakrasnoy-kameroj.html/> (дата звернення: 12. 05. 2017).
41. Бондарев Д. І., Кучеров Д. П., Шмельова Т. Ф. Моделі групових польотів безпілотних літальних апаратів з використанням теорії графів. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. 2015. №3. С. 68–74.
42. Савин Л. В. Новые способы ведения войны : как Америка строит империю. СПб. : Питер, 2016. 208 с.
43. Ефремов П. В., Попов К. А., Капитонова Т. А., Стручкова Г. П. Обработка и анализ данных дрона для мониторинга линейных объектов, эксплуатирующихся на севере. *Международный журнал экспериментального образования*. 2016. № 10-2. С. 238 – 239.
44. Зинченко О. Н. Беспилотный летательный аппарат : применение в целях аэрофотосъемки для картографирования. Москва : Ракурс, 2011. 200 с.
45. Концепція положення та процедур по забезпеченню безпеки польотів повітряних суден авіації загального призначення, спортивних, аматорських та безпілотних літаків. URL: <https://voxukraine.org/uk/ukrayinski-droni-u-nebesah-problemi-vikoristannya-bezpilotnikiv-v-ukrayini/> (дата звернення: 07. 11. 2017).
46. Радецький В. Г., Руснак І. С., Даник Ю. Г. Безпілотна авіація в сучасній збройній боротьбі : монографія. Київ : НАОУ, 2008. 224 с.

47. Яцук К. В., Стафеев М. С., Казаринов С. В. Применение беспилотных летательных аппаратов в локальных конфликтах и войнах. *Молодой ученый*. 2016. № 25. С. 107-111.
48. Веремеенко К., Ким Н., Козорез Д. Современные информационные технологии в задачах навигации и наведения беспилотных маневренных летательных аппаратов. Москва : Физматлит, 2009. 562с.
49. Красильщиков М. Н., Себряков Г. Г. Управление и наведение беспилотных маневренных летательных аппаратов на основе современных информационных технологий. Москва : Физматлит, 2003. 280 с.
50. Рэндал У. Б., Тимоти У. М. Малые беспилотные летательные аппараты : теория и практика. Москва : Техносфера, 2015. 312 с.
51. Трубников Г. В., Воронов В. В. Беспилотные летательные аппараты и технологическая модернизация страны. *Экспорт вооружений*. 2009. № 4. С. 11–20.
52. Проценко М. М. Аналіз методів цифрової обробки відеозображень апаратурою безпілотного літального апарату. *Вісник ЖДТУ*. Житомир, 2014. № 1. С. 89–95.
53. Слюсар В. И. Передача данных с борта БПЛА: стандарты НАТО. *Электроника : наука, технология, бизнес*. Москва, 2010. № 3. С. 80–86.
54. Слюсар В. И. Радиоперехват с БПЛА : примеры реализации *Электроника : наука, технология, бизнес*. Москва, 2010. № 5. С. 56–60.
55. Програмный комплекс Inpho компанії Trimble URL: <https://geospatial.trimble.com/products-and-solutions/inpho> (дата звернення: 01. 09. 2016).
56. Служба технической поддержки компании «Ракурс». PHOTOMOD 6.3. Обработка данных беспилотных летательных аппаратов. Руководство пользователя. Служба технической поддержки компании «Ракурс».2017.

- Режим доступу до ресурсу : <http://www.racurs.ru/?page=804> (дата звернення: 18. 01. 2018).
57. Колобородов В. І., Харитоненко К. В. Застосування методів і алгоритмів цифрової обробки зображень в оптико-електронних приладах. *Вісник НТУУ "КПІ"*. Київ, 2010. №40. С. 23 – 31.
  58. Сальник Ю. П. Направление обеспечения мониторинга местности перспективной аппаратурой БПЛА : *Системы обробки інформації*. Харків, 2007. № 3 (61). С. 106–108.
  59. Волошинов А. Б. Перспективы применения перестраиваемых акустооптических фильтров в составе аппаратуры беспилотных летательных аппаратов. *Перспективы развития и применения комплексов с беспилотными летательными аппаратами* : сборник статей и докладов по материалам ежегодной научно-практической конференции, г. Коломна, 2016. С. 54–57.
  60. Нейронні мережі в задачах обробки зображень URL: [http://posibnyku.vntu.edu.ua/k\\_m/t2/24..htm](http://posibnyku.vntu.edu.ua/k_m/t2/24..htm). (дата звернення: 12. 01. 2016).
  61. Даник Ю. Г., Пулеко І. В. Виявлення безпілотних літальних апаратів на основі аналізу акустичних та радіолокаційних сигналів. *Вісник ЖДТУ*. 2014. № 4. С. 71–81.
  62. Плахтеев А. П., Орехов А. А. Система мониторинга лесных пожаров на основе сенсорных сетей. *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. 2014. №6. С. 85-89.
  63. Лиго Т., Фомичев А. В. Планирование пространственного маршрута полета беспилотного летательного аппарата с использованием метода частичного целочисленного линейного программирования. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Приборостроение*. Москва, 2016. № 2. С. 53.
  64. Казьмин В. Н., Носков В. П. Объемное зрение в системе навигационного обеспечения беспилотного летательного аппарата. *Московский*

- государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)*. Москва, 2012. №11. С. 40.
65. Гребенников А. Г., Мяслица А. К., Парфенюк В. В. Общие виды и характеристики беспилотных летательных аппаратов : справ. пособие Харків : Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2008. 377 с.
66. Никифоров А. А., Мунимаев В. А. Анализ зарубежных беспилотных летательных аппаратов, применяемых в лесном секторе. *Труды лесоинженерного факультета ПетрГУ*. Петрозаводск, 2010. С. 97–99.
67. Коптеры. Комплектующие, сборка, настройка. URL: <http://forum.rcdesign.ru/f123/thread272136.html> (дата звернения: 07. 11. 2017).
68. Яне Б. Цифровая обработка изображений. Москва : Техносфера, 2008. 584с.
69. Солонина А. И., Улахович Д. А., Яковлев Л. А. Основы цифровой обработки сигналов : курс лекций. СПб : БХВ – Петербург, 2005. 768 с.
70. Прэрт У. Цифровая обработка изображений. (Кн.2). Москва : Мир, 1982. 342с.
71. Гонсалес Р., Вудс. Цифровая обработка изображений. Москва : Техносфера, 2006. 1072 с.
72. Бейтс Р., Мак-Доннелл М. Восстановление и реконструкция изображений. Москва : Мир, 1989. 336 с.
73. Блейхут Р. Быстрые алгоритмы цифровой обработки. Москва : Мир, 1989. 448 с.
74. Стругайло В. В. Обзор методов фильтрации и сегментации цифровых изображений. *Научное издание МГТУ имени Н. Э. Баумана. Наука и образование. Электронный научно-технический журнал*. Москва, 2012. №77. С. 270–281.
75. Рейда О. М., Олійник Ю. В., Панчук А. О., Синенький М. Л. Методи



- поліпшення цифрового зображення та відновлення його структури. *Наукові праці ВНТУ*. 2010. №4. С. 1–7.
76. Потапов А. А., Пахомов А. А., Никитин С. А., Гуляев Ю. В. Новейшие методы обработки изображений. Москва : Физматлит, 2008. 496 с.
77. Прэтт У. Цифровая обработка изображений. (Кн.1). Москва : Мир, 1982. 312 с.
78. Новиков Л. В. Основы вейвлет-анализа сигналов : учебное пособие. С.-Пб. : ООО «Модус», 1999. 152 с.
79. Основы теории вейвлет-преобразования. BaseGroup Labs. URL: <https://basegroup.ru/community/articles/intro-wavelets> (дата звернення: 11. 11. 2016).
80. Дремин И.М., Иванов О. В., Нечитайло В. А. Вейвлеты и их использование. *Успехи физических наук*. 2001. Т. 171. № 5. С. 465–501.
81. Лепский А. Е, Броневич А. Г. Математические методы распознавания образов : курс лекций. Таганрог: Технологический институт Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет», 2009. 155 с.
82. Айфичер Э., Джервис Б. Цифровая обработка сигналов: практический поход. Москва : Вильямс, 2004. 992 с.
83. Дьяконов В. П. MATLAB 6.5 SP1/7/7 SP1. Работа с изображениями и видеопотоками. Москва : СОЛОН-Пресс, 2010. 400 с.
84. Ямненко Ю. С., Телега В. В., Немчинова К. С. Використання вейвлет-перетворень Хаара та ОБ при аналізі сигналів. *ElectronCommun. Теорія та засоби обробки сигналів і зображень* 2017. Vol. 22, № 4. С. 51–58 DOI: 10.20535/2312-1807.2017.22.4.105272.
85. Дремин И. М., Иванов О. В., Нечитайло В. А. Вейвлеты и их использование. *Успехи физических наук*. 2001. Т. 171, № 5. С. 465–501.

86. Kravets O.V., Mozgovoy D. K. Wavelet Transform in remote sensing data processing : *Engineer of the 3rd Millennium* : The VII I Students` Scientific Conference (May, 2009, Dniepropetrovsk) Dniepropetrovsk, 2009. P. 49–50.
87. Кононюк А. Ю. Нейроні мережі і генетичні алгоритми. Київ : Корнійчук, 2008. 446 с.
88. Застосування мереж Хеммінга для нечіткого пошуку URL: <http://victoria.lviv.ua/html/oio-l/3.html> (дата звернення: 15.03.2016).
89. Asary K. V. Eswaran C. A.. Self-organizing Neural Network for Multidimensional Mapping and Classification of Multiple Valued Data. *International Joint Conference on Neural Networks* : proceedings of 1993 International Conference on Neural Networks (Nagoya, Japan, October 25-29). Nagoya, 1993. P. 2488–2491.
90. Qin A. K., Suganthan P. N. Enhanced neural gas network for prototype-based clustering. *School of Electrical & Electronic Engineering, Nanyang Technological University, Nanyang Avenue, Block S2*. 2004: URL: <https://www.google.com.ua/maps/dir/50.4565812,30.6135998/50.464999,30.6204772/@50.4648665,30.6210227,17z/data=!4m3!4m2!3e2!5i1?hl=uk>. (дата звернення: 05. 08. 2016).
91. Научная библиотека избранных естественно-научных изданий. Алгоритм нейронного газа. Научная библиотека избранных естественно-научных изданий. Нечеткие множества. Искусственный интеллект. Нейронные сети для обработки информации. 2016. URL: [http://stu.scask.ru/book\\_ns.php?id=85](http://stu.scask.ru/book_ns.php?id=85) (дата звернення: 18. 10. 2017).
92. Van Heerden P. G. A new optical method of storing and retrieving information. *Applied Optics*. 1963. No 2. С. 387–392.
93. Van Heerden P. G. Theory of optical information storage in solids. *Applied Optics*. 1963. No 2. С. 393–400.

94. Collier R. J. Some current views on holography. *IEEE Spectrum*. 1966. Vol. 3, No 7. P. 67–74.
95. Zhenmin S., Weidong S., Yuzhao W., Long G. Analysis of Optical Properties of Off-Axis Reflective Volume Holographic Grating. *Optics and Photonics Journal*. 2016. No 6. P. 136-144.
96. Шульгина Г. И. Реализация принципа голографической теории памяти в работе мозга и сети из нейроноподобных элементов. *Радиотехника*. 2016. № 6. С. 53–54.
97. Polyanskii P. V., Husak Ye. M. Volume quadric hologram-based associative memories. *Optical Memory & Neural Networks (Information Optics)*. 2014. Vol. 23, No 4. P. 225–232.
98. Polyanskii P. V., Husak Ye. M. Optical correlation approach to all-optical holographic associative memories. *Optical Memory & Neural Networks (Information Optics)*. 2014. Vol 23, No 4. P. 12–25.
99. Polyanskii P. V., Husak Ye. M. Self conjugation heteroassociative memories using thin static nonlinearly recorded holograms. *Optical Memory & Neural Networks (Information Optics)*. 2014. No 2. P. 74–83.
100. Polyanskii P. V., Husak Ye. M. Optical correlation aspect of holography: from ghost-imaging to static phase-conjugation holographic associative memories. *Proc SPIE 9066, Eleventh International Conference on Correlation Optics*. 2013. Vol. 9066, 99660H1-14.
101. Popescu S. C., Feagin R. A. Airborne lidar remote sensing applications in non-forested short stature environments : a review. *Annals of Forest Research*. 2017. No 60. P. 719.
102. Chinsu L., Thomson G., Popescu S. An IPCC-Compliant Technique for Forest Carbon Stock Assessment using Airborne LiDAR-derived Tree Metrics and Competition Index. *Remote Sensing*. 2016. No 8 (6). P. 528

103. Romano M. E. Innovation in LiDAR processing technology. *Photogramm. Eng. Remote Sens.* 2004. Vol 70, No 11. P. 1202–1206.
104. Шпаковский Г.И. Реализация параллельных вычислений: MPI, OpenMP, кластеры, грид, многоядерные процессоры, графические процессоры, квантовые компьютеры. Минск : БГУ, 2011. 176 с.
105. Поляков Г. А., Шматков С. И., Толстолужская Е. Г., Толстолужский Д. А. Синтез и анализ параллельных процессов в адаптивных времяпараметризованных вычислительных системах : монография. Харьков : ХНУ имени В. Н. Каразина, 2012. 672 с
106. Шалыгин А.С., Бородавкин В.А., Зазимко В.А. Анализ и синтез законов управления систем стабилизации беспилотных летательных аппаратов методами моделирования : уч. пособие. Санкт-Петербург : Балтийский государственный технический университет Военмех, 2008. 152 с.
107. Шалыгин А. С. Траекторные задачи динамики беспилотных летательных аппаратов / А. С. Шалыгин, И. Л. Петрова. Санкт-Петербург : Балтийский государственный технический университет Военмех, 2009. 130с.
108. Малышева Н. В. Картографическое обеспечение государственного учета лесного фонда с использованием геоинформационных систем. *Лесное хозяйство.* 2007. № 3. С. 40-42.
109. Малышева Н. В., Владимирова Н. А., Золина Т. А., Райченко Н. Э. Создание интерактивных карт и электронного атласа для информационной поддержки управления лесным хозяйством России. *Проблемы непрерывного географического образования и картографии* : сб. научных статей. Харьков, 2013. Выпуск 17. С. 31-34.
110. Розробка системи контролю та управління роботизованими мобільними засобами для комплексного моніторингу стану середовища та наземних об'єктів. 2017. URL: [https://report.kpi.ua/files/2016\\_2835.pdf](https://report.kpi.ua/files/2016_2835.pdf) (дата звернення: 08. 12. 2017).

111. Юдин Д. Б. Математические методы управления в условиях неполной информации : задачи и методы стохастического программирования. Москва : КРАСАНД, 2010. 400 с.
112. Ардентов А. А., Бесчастный И. Ю., Маштаков А. П. Алгоритмы вычисления положения и ориентации БПЛА. *Программные системы : теория и приложения*. 2012. Т. 3, № 3. С. 23–39.
113. Сайфеддин Дахер. Мехатронная система управления полетом квадрокоптера и планирование траектории методами оптической одометрии : диссертация кандидата технических наук : 05. 02. 05 / ФГБОУ ВПО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М. И. Платова» Новочеркасск, 2015. 186 с.
114. Беспилотник БПЛА для науки. Zala Aero Group URL: <http://zala.aero/category/applications/science/> (дата звернення: 15. 10. 2017).
115. Токарев Ю. П. Методы управления беспилотными летательными аппаратами в общем воздушном пространстве с использованием полетной информации при автоматическом зависимом наблюдении Научная библиотека диссертаций и авторефератов. 2011. URL: <http://www.dissercat.com/content/metody-upravleniya-bespilotnymi-letatelnyimi-apparatami-v-obshchem-vozdushnom-prostranstve-s-/>. [http://urps-notices.blogspot.nl/2010/08/blog-post\\_06.html](http://urps-notices.blogspot.nl/2010/08/blog-post_06.html) (дата звернення: 07. 12. 2016).
116. Геоинформатика и дистанционное зондирование Земли. TVIS URL: <http://www.tvvis.com.ua/> (дата звернення: 07. 12. 2016).
117. Системы пожежного спостереження URL: <http://www.dsns.gov.ua/ua/Rozyasnennya-schodo-funkcionuvannya-sistemi-rozhezhnogo-sposterigannya.html> (дата звернення: 03. 08. 2016).
118. Стеблюк М. І. Цивільна оборона та цивільний захист. Київ : Знання, 2013. 487 с.

119. Іванець Г. В., Бугайов А. Ю. Прогнозування надзвичайних ситуацій техногенного характеру на основі статистичних даних моніторингу. Харків : НУЦЗУ, 2016. №. 23. С. 39–45.
120. Путренко В. В. Інтелектуальний аналіз небезпеки виникнення природних пожеж на основі геоінформаційних технологій. *Технологічний аудит та резерви виробництва*. Харків, 2016. № 4/3(30). С. 67–72.
121. Шеремет С. А. Система моніторинга лесных пожаров на основе сенсорных сетей : материалы Конференции ИКТМ 2013. URL: <http://k504.khai.edu/index.php/iktm-2013/1142-sistema-monitoringa-lesnykh-rozharov-na-osnov-sensornykh-setej> (дата звернення: 02. 05. 2016).
122. Kostrikov, Segida K. Human geography with geographical geoinformation systems. *Часопис соціально-економічної географії*. Харків, 2013. Вип. 15 (2). С. 39–47.
123. Кашкин В. Б., Сухинин А. И. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений : учебное пособие. Москва : Логос, 2001. 264 с.
124. Brunn A., Weidner U. Extracting Buildings from Digital Surface Models IAPRS. 1997. Vol 32 (3–4W2), P. 27–34.
125. Kraus K., Pfeifer N. Determination of terrain models in wooded areas with aerial laser scanner data. *Pfeifer//ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 1998. Vol 53, No 4. P. 193–203.
126. Luzum B. J. Identification and analysis of airborne laser swath mapping data in a novel feature space. *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.* 2004. Vol 1. P. 268–271.
127. Keeler R., Bondur V., Vithanage D. Sea truth measurements for remote sensing of littoral water ler. *Sea Technology*. April. 2004. P. 53-58.

128. Keeler R., Bondur V., Gibson C. Optical satellite imagery detection of internal wave effects from a submerged turbulent outfall in the stratified ocean. *Geophysical Research Letters*. 2005. Vol. 32, No 12. L12610.
129. Jorg Conradt Supervisor. Neuroscientific system theory. Technische Universitat Munchen. 2015. URL: <https://www.nst.ei.tum.de/fileadmin/w00bqs/www/publications/as/2014WS-HS-GrowingNeuralGas.pdf> (дата звернення: 03. 10. 2016).
130. Wang Z., Bovik A. C, Sheikh H. R., Simoncelli E. P. Image quality assessment : From error visibility to structural similarity. *IEEE Trans. Image Processing*. 2004.Vol. 13, P. 600–612.
131. Національний центр управління та випробувань космічних засобів. Дистанційне зондування Землі (ДЗЗ). URL: <http://spacecenter.gov.ua/dzz> (дата звернення: 21. 06. 2018).
132. Комаров В. С, Солонець О. І. Застосування космічних систем дистанційного зондування Землі в інтересах національної безпеки і оборони України. *Системи обробки інформації. Обробка інформації в складних технічних системах*. 2008. № 3(70). С. 73 –75.
133. Pennington K. S., Collier R. G. Ghost imaging by holograms formed in the near field. *Applied Physics Letters*. 1966. № 8. P. 14–16.
134. Pennington K. S., Collier R. G. Hologram-generated ghost-image experiments. *Applied Physics Letters*. 1966. № 8. С. 44–46.
135. Vander Lugt A. B. Signal detection by complex spatial filtering. *IEEE Transactions on Information Theory*. 1964. Vol. 10, No: 2 P. 139–145.
136. Kovalskii L. V., Polyanskii V. K. Investigation of feasibilities of the holographic technique without using a reference beam. *Optics and Spectroscopy*. 1970. No 28. P. 338–341.

137. Кравець О. В., Д. К. Корчинський. Підвищення інформативності даних ДЗЗ. *Людина і космос* : матеріали XI міжнар. наук.-практ. конф., м. Дніпропетровськ, квітень, 2009 р. Дніпропетровськ, 2009. С. 483.
138. Вершигора В. Г., О. М. Гусак. Аналіз ефективності визначення людиною-оператором джерел лісових пожеж за супутниковими *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2013. №1/2 (61) . С. 17-19.
139. Гусак О. М. Шляхи підвищення ефективності розпізнавання і класифікації об'єктів на супутникових знімках. *Технологічний аудит та резерви виробництва*. 2013. № 4. С. 9–11.
140. Бардаш А. В. Создание картографических WEB-сервисов на основе SVG-технологий. *Тематическое картографирование для создания инфраструктур пространственных данных*.: материалы научной конференции, г. Иркутск, 9-12 ноября 2010, Иркутск, 2010. С. 87-89.
141. Atlas of natural hazards & risks of Georgia. *Caucasus Environmental NGO Network*, 2012 URL: <http://drm.cenn.org/index.php/en/> (дата звернення 08.03. 2016).
142. Christopher B. Oneal, John D. Stuart, Steven J. Steinberg, Geographic analysis of natural fire rotation in the California redwood forest during the suppression era. *Fire Ecology*, Volume 02, Issue 01, Spring, 2006. URL: <http://fireecology.org/docs/Journal/pdf/Volume02/Issue01/073.pdf>.
143. Radmila Jovanovic, Zeljko Bjeljac, Olgica Miljkovic, Aleksandra Terzic Spatial analysis and mapping of fire risk zones and vulnerability assessment. Case study mt. Stara Planina Prevention and Education in Natural Disasters, 2013. URL: <http://www.doiserbia.nb.rs/img/doi/0350-7599/2013/0350-75991303213J.pdf> (дата звернення 01. 08. 2016).
144. Жолобак Г. М. Вітчизняний досвід супутникового моніторингу лісових масивів України. *Космічна наука і технологія*. 2010. № 3. С. 46–54.



145. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2015 році. Київ : Міністерство екології та природних ресурсів України. URL: <https://menr.gov.ua/news/31768.html> (дата звернення 02. 03. 2016).
146. Authié C. N., Mestre D. R. Optokinetic nystagmus is elicited by curvilinear optic flow during high speed curve driving. *Vision research*. 2011. Vol. 51, No 16. P. 1791–1800.
147. Bailey L., Denis J. H, Goldsmith G., Hall P. L, Sherwood J. D. A wellbore simulator for mud-shale interaction studies. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 1994. Vol. 11. No 3. P. 195-211.
148. Новинка 2016г. Квадрокоптер Phantom 4. 2016. URL: <http://www.megadron.su/catalog/64>. (дата звернення: 02. 08. 2017).
149. Association for Unmanned Vehicle Systems International: URL: [https://modelistam.com.ua/kvadrokopter-dji-phantom-podvesom-p-0491/?gclid=Cj0KCQiA0b\\_QBRCEARIsAFntQ9qbelaakqDOy5KzsM5Of6KPxAzR3tq1gMXkv5NSxBs-5wOjNggZeIaAmHyEALw\\_wcB](https://modelistam.com.ua/kvadrokopter-dji-phantom-podvesom-p-0491/?gclid=Cj0KCQiA0b_QBRCEARIsAFntQ9qbelaakqDOy5KzsM5Of6KPxAzR3tq1gMXkv5NSxBs-5wOjNggZeIaAmHyEALw_wcB) (дата звернення: 02. 08. 2017).
150. Isionary intelligence. Elevated imagination URL: <https://www.dji.com/phantom-4>. (дата звернення: 02. 08. 2017).
151. Сайт офіційного дистриб'ютера PHANTOM 4 URL: [https://skymec.ru/index.php?route=blog/article&article\\_id=414&blid=71](https://skymec.ru/index.php?route=blog/article&article_id=414&blid=71) (дата звернення: 22. 01. 2017).
152. Флора Українських Карпат URL: <http://carpathians.eu/flora/lisi-ukrajinskikh-karpat.html> (дата звернення: 02. 08. 2017).
153. Природне багатство Буковини – ліс URL: <https://www.lisportal.org.ua/98/> (дата звернення: 10. 03. 2017).

154. Сайт Чернівецького обласного управління лісового та мисливського господарства URL: <http://www.cvoulg.cv.ukrtel.net> (дата звернення: 05. 10. 2017).
155. Пульти управління для квадрокоптера URL: <http://quadcopter.ru/peredatchik-kwadrocoptera.html> (дата звернення: 17. 10. 2017).
156. Аппаратура управління – РУМ-Радиоуправляемые модели URL: [rum.kiev.ua/category/rc-control](http://rum.kiev.ua/category/rc-control) (дата звернення: 25. 08. 2017).
157. Яне Б. Цифровая обработка изображений. Москва : Техносфера, 2008. 584с.
158. Творошенко І. С. Конспект лекцій з дисципліни «Цифрова обробка зображень» для студентів 4 курсу денної форми навчання напряму 6. 080101 – Геодезія, картографія та землеустрій. *Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова*. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. 75с.
159. Різуненко А. О. Теорія та практика цифрової обробки зображень : Монографія. Полтава : РВВ ПУСКУ, 2009. 195 с.
160. Новиков Л. В. Основы вейвлет-анализа сигналов : учебное пособие. С.-Пб. ООО «Модус». 1999. 152 с.
161. Ярош С. П. Теоретичні основи побудови та застосування розвідувально-управлінських інформаційних систем ППО : монографія / за заг. наук. ред. О. Кириченка. Харків : ХУПС, 2012. 512 с.
162. Кириллов И. Г., Бурковский С. И. Минимизация вычислений при решении систем с оценочными корреляционными матрицами неполного эффективного ранга. *Системы обробки інформації*. Харків, 2010. Вип. 2 (83). С. 92–100.
163. MatLab. The Language of Technical Computing URL: [https://www.mathworks.com/?s\\_tid=gn\\_logo](https://www.mathworks.com/?s_tid=gn_logo) (дата звернення: 12. 08. 2016).
164. Seshadrinathan K., Soundararajan R., Bovik A. C., Cormack L. K. Study of subjective and objective quality assessment of video. *IEEE Transactions on*

- Image Processing*. 2010. № 19. С. 1427–1441.
165. Moorthy A. K., Seshadrinathan K., Soundararajan R., Bovik A. C. Wireless video quality assessment : A study of subjective scores and objective algorithms *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*. 2010. С. 587–599.
166. Ясинский Ф. Н., Потёмкина О. В., Сидоров С. Г., Евсеева А. В. Прогнозирование вероятности возникновения лесных пожаров с помощью нейросетевого алгоритма на многопроцессорной вычислительной технике. *Вестник ИГЭУ*. Вып. 2. 2011. С. 1–4.
167. P. Perner (Ed.). Machine Learning and Data Mining in Pattern Recognition. Lecture Notes in Artificial Intelligence : the refereed proceedings of the 6<sup>th</sup> International Conference on Machine Learning and Data Mining in Pattern Recognition, MLDM 2009, held in Leipzig, Germany, in July 2009. Vol. 5632, P. 824.
168. Забродин Ю. М., Лебедев А. Н. Психофизиология и психофизика. Очерк истории основных проблем психофизики. Москва : Наука, 1977. 288 с.
169. Марр Д. Зрение. Информационный подход к изучению представления и обработки зрительных образов. Москва : Радио и связь. 1987. 400 с.
170. Смирнов С. Д. Психология образа. Проблема активности психического отражения. Познание как высшая форма отражения. Активность познавательной деятельности : монография. Москва : МГУ, 1985. 233 с.
171. Стівенс С. С. Психология ощущений и восприятия. Хрестоматия по психологии. Москва : Иностранная литература, 1999. 283 с.
172. Главач В., Шлезингер М. И. Десять лекций по статистическому и структурному распознаванию образов. Київ : Наукова думка, 2004. 554с.
173. Лепский А. Е., Броневиц А. Г. Математические методы распознавания образов : курс лекций. Таганрог : Технологический институт Федерального государственного образовательного учреждения высшего

- професіонального образования «Южный федеральный университет», 2009. 155 с.
174. Гусак О. М. Логіка побудови математичної моделі психологічних процесів сприйняття та опрацювання зорових образів. *Науковий Вісник ЧНУ*. 2012. № 635. С. 81–85.
175. Тест Спилбергера-Ханина URL: <http://psyttests.org/psystate/spielberger-gun.html> (дата звернення: 15. 08. 2016).
176. Розрахунок біоритмів URL: <http://www.caliostro.com/ua/calculations-biorhythms> (дата звернення: 21. 08. 2016).

**ДОДАТКИ**  
**ДОДАТОК А**

**Список публікацій за темою дисертації та відомості про апробацію  
результатів**

*Наукові праці, у яких опубліковані основні наукові результати дисертації:*

1. Polyanskii P. V., Husak Ye. M. Volume quadric hologram-based associative memories. *Optical Memory & Neural Networks (Information Optics)*. 2014. Vol. 23, No 4. P. 225–232.
2. Polyanskii P. V., Husak Ye. M. Optical correlation approach to all-optical holographic associative memories. *Optical Memory & Neural Networks (Information Optics)*. 2014. Vol. 23, No 1, P. 12–25
3. Polyanskii P. V., Husak Ye. M. Self conjugation heteroassociative memories using thin static nonlinearly recorded holograms. *Optical Memory & Neural Networks (Information Optics)*. 2014. No 2. P. 74–83.
4. Вершигора В. Г., Гусак О. М. Аналіз ефективності визначення людиною-оператором джерел лісових пожеж за супутниковими знімками. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2013. № 1/2 (61) . С. 17–19.
5. Гусак О. М., Вершигора В. Г. Застосування методики вейвлет-аналізу для обробки супутникових знімків лісових пожеж. *Науковий Вісник НЛТУ України: збірник науково-технічних праць*. 2013. № 23. С. 366–371.
6. Гусак О. М. Шляхи підвищення ефективності розпізнавання і класифікації об'єктів на супутникових знімках. *Технологічний аудит та резерви виробництва*. 2013. № 4. С. 9–11.
7. Гусак О. М. Організація експериментального дослідження психологічних механізмів забезпечення ефективності роботи операторів. *Технологічний аудит та резерви виробництва*. 2013. № 5. С. 6–8.

8. Гусак О. М. Побудова лінійної математичної моделі людини-оператора. *Технологічний аудит і резерви виробництва*. 2015. № 2. С. 68–72.
9. Гусак О. М. Інформаційна технологія раннього виявлення осередків лісових пожеж. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*. 2017. № 15. С. 33–38.
10. Гусак О. М. Інформаційна технологія підвищення інформативності цифрових зображень епіцентрів лісових пожеж. *Науковий вісник Національного лісотехнічного університету*. 2017. № 27. С. 177–181.

*Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:*

11. Камінський Р. М., Гусак О. М.. Психофізичні аспекти опрацювання візуальної інформації, наданої на моніторі. *Інформаційні технології, економіка та право: стан та перспективи розвитку – 2011 : матеріали міжнар. наук.-практ. конф., м. Чернівці, 23-24 лют. 2011 р. Чернівці, 2011. С. 34.*
12. Гусак О. М. Інтеграція вищої освіти в національну інноваційну систему (аналіз вивчення досвіду Франції) / О. М. Гусак // *Проблеми формування та розвитку інноваційної інфраструктури : тези доповідей міжнар. наук.-практ. конф., м. Львів, 19–21 травня 2011 р. Львів, 2011. – С. 424–426.*
13. Гусак О. М. Ефективність сприйняття інформації людиною-оператором. *Інформаційні технології, економіка та право – 2012 : матеріали міжнар. наук.-практ. конф., м. Чернівці, 28–31 бер. 2012 р. Чернівці, 2012. С. 7.*
14. Vyklyuk Y. I., Husak O. M. Ways to Improve objects recognition and classification in satellite images. *Natural Hazards Links between Science and Practice : International Conference Proc., Belgrade, Serbia, Oct 8 – 11 2013. Belgrade, 2013. P. 12.*
15. Polyanskii P. V., Husak Ye. M. Optical correlation aspect of holography: from ghost-imaging to static phase-conjugation holographic associative memories.

Eleventh International Conference on Correlation Optics.2013 : SPIE Proc, Vol. 9066, 99660H.

- 16.Гусак О. М. Принципы инженерно-психологического обеспечения операторской деятельности в системах «человек-машина». Європейська наука XXI століття – 2013. : матеріали ІХ міжнар. наук.-практ. конф., м. Пшемишль, Польща, 07–15 трав. 2013 р. Пшемишль, 2013. С.72–75.
- 17.Гусак О. М. Особливості постановки та проведення експерименту по вивченню психофізичних особливостей оператора в системах опрацювання зорових образів. Прикладні наукові розробки – 2013. : матеріали ІХ міжнар. наук.-практ. конф., м. Прага, Чехія, 27.07–05 серп. 2013 р. Прага, 2013. С. 3–5.
- 18.Гусак О. М. Застосування методів математичної морфології при побудові математичної моделі розповсюдження пожежі. Інформаційні технології, економіка та право – 2014 : матеріали міжнар. наук.-практ. конф., м. Чернівці, 3–4 квіт. 2014 р. Чернівці, 2014. С.41–42.
- 19.Виклюк Я. І., Гусак О. М. Методи і засоби підвищення інформативності даних дистанційного зондування Землі. Системний аналіз та інформаційні технології» («System Analysis and Information Technologies) : матеріали міжнар. наук.-техн. конф., м. Київ, 30 трав. 2016 р. Київ, 2016. С.334.
- 20.Виклюк Я. І., Гусак О. М. Інформаційна технологія раннього виявлення лісових пожеж. Системний аналіз та інформаційні технології (System Analysis and Information Technologies) : матеріали міжнар. наук.-техн. конф., м. Київ, 22–25 трав. 2017 р. Київ, 2017. С.261.
- 21.Гусак О. М. Інформаційна технологія раннього виявлення осередків лісових пожеж. Інформаційні технології, економіка та право – 2017 : матеріали міжнар. наук.-практ. конф., м. Чернівці, 27-28 квіт. 2017 р. Чернівці, 2017. С. 135–136.

- 22.Виклюк Я. І., Гусак О. М. Шляхи підвищення ефективності протипожежного моніторингу лісу. Системний аналіз та інформаційні технології (System Analysis and Information Technologies) : матеріали міжнар. наук.-техн. конф., м. Київ, 21–24 травня 2018 р. Київ, 2018. С.216.



## ДОДАТОК Б

### Лістинг програмного модуля обробки відео

```

% Script entry point
function VideoFilter(fullFileName)
    % If Filename not specified as argument then
    if nargin < 1
        % Use dialog to choose image file
        [file, folder] = uigetfile({'*.mp4'; '*.avi'; '*.*'}, 'Select the video file');
        if isequal(file, 0)
            return;
        end
        fullFileName = fullfile(folder, file);
    end

    clc; % Clear the command window.
    close all; % Close all figures (except those of imtool.)
    %imtool close all; % Close all imtool figures.
    workspace; % Make sure the workspace panel is showing.

    do_work(fullFileName);
    close;
end

function ret = fontSize
    global fontSize; fontSize = 20; ret = fontSize;
end

function do_work(fullFileName)
    % Global values
    quit = false;

```

```

waiting = true;
running = true;
inputImage = 0;
ret1 = 0;
vout = 0;

% Open input video file
vid = mmreader(fullFileName);
lastFrame = read(vid, inf);
numFrames = get(vid,'NumberOfFrames');
%vid = VideoReader(fullFileName);
%lastFrame = read(vid, inf);
%numFrames = get(vid,'NumberOfFrames');
frameCounter = 1803;
frameCounter = 1850;
frameCounter = 2413;
frameCounter = 2712;
frameCounter = 2920;

% Custom on close form event
function my_closereq(src,callbackdata)
    quit = true; waiting = false; running = false;
    delete(gcf)
end

% Create a form and axes
figure('CloseRequestFcn', @my_closereq)
ax1 = subplot(1, 2, 1);
ax2 = subplot(1, 2, 2);

% Function for reading frames. Returns false if
function success=videoNext()

```

```
% Increment current frame index
frameCounter = frameCounter + 1;

% Return false if there's no input frames left
if frameCounter > numFrames
    success = false;
    return;
end

% Write last result video frame
if waiting == false
    writeVideo(vout, ret1);
end

% Read next input frame
inputImage = read(vid, frameCounter);
success = true;

% Draw current input frame
subplot(ax1);
image(inputImage); axis equal; axis off;
title('Original', 'FontSize', fontSize);
end

% Get first frame
videoNext();

% Get the dimensions of the image.
[rows columns numberOfColorBands] = size(inputImage);

% Prepare tiling image.
tileImage = imread('./tile.png');
```

```

tileImageSize = size(tileImage);
tileMap = repmat(tileImage, int32(rows / tileImageSize(1) + 1), int32(columns /
tileImageSize(1) + 1));
tileMap = tileMap(1:rows, 1:columns, :);

% Default values
numOfClusters = 3;
currentCluster = 1;
clusterThreshold = 1.0;
clusterThresholdSign = 1;

% Some more global values
lab_he = 0;
cluster_idx1 = 0;
cluster_center1 = 0;
pixel_labels1 = 0;
%cluster_idx3 = 0;
nrows = 0;
ncols = 0;
ab = 0;

% Create a panel for gui controls
hp1 = uipanel('Title', '', 'Position', [0 0 1/2 1/15]);

% Create labels
uicontrol('Style', 'text', 'Unit', 'normalized', 'Position', [0 .5 .33 .5], 'String', 'Number of
Clusters', 'HorizontalAlign', 'left', 'Parent', hp1);
hMaskSliderLabel = uicontrol('Style', 'text', 'Unit', 'normalized', 'Position', [.33 .5 .33 .5],
'String', currentCluster, 'HorizontalAlign', 'left', 'Parent', hp1);
hThresSliderLabel = uicontrol('Style', 'text', 'Unit', 'normalized', 'Position', [0.66 .5 .33 .5],
'String', strcat('Threshold: ', num2str(clusterThreshold)), 'HorizontalAlign', 'left', 'Parent',
hp1);

```

```

% Create texedit
uicontrol('Style', 'edit', 'Unit', 'normalized', 'Position', [0 0 .33 .5], 'Parent', hp1, ...
    'String', numOfClusters, 'Callback', @onClusterNumSlider);

% Create sliders.
hMaskSlider = uicontrol('Style', 'slider', 'Min', 1, 'Max', numOfClusters, 'SliderStep',
[1/(numOfClusters-1) , 1/(numOfClusters-1) ], 'Parent', hp1,...
    'Value', currentCluster, 'Unit', 'normalized', 'Position', [.33 0 .33 .5], 'Callback',
@onMaskSlider);
uicontrol('Style', 'slider', 'Min', -1.0, 'Max', 1.0, 'Parent', hp1,...
    'Value', clusterThreshold, 'Unit', 'normalized', 'Position', [0.66 0 .33 .5], 'Callback',
@onThresSlider);

% Create buttons
uicontrol('Style', 'pushbutton', 'Unit', 'normalized', 'Position', [0.8 0.05 0.2 0.05], 'String',
'Start', 'Callback', @hStart);
uicontrol('Style', 'pushbutton', 'Unit', 'normalized', 'Position', [0.8 0.0 0.2 0.05], 'String',
'Stop', 'Callback', @hStop);

% Calculate and draw result using default values
clustering(); draw();

% Wait for user
while waiting
    pause(0.1);
end

% Quit if user closed the form
if(quit)
    return;
end

```

```

% Main processing loop
wb = waitbar(0,'0%');
beginTime = cputime;
open(vout);
while videoNext() == true
    if running == false break; end

    % Calculate and draw result using default values
    clustering(); draw();

    % Update waitbar
    currPercents = frameCounter / numFrames;
    elapsed = cputime - beginTime;
    waitbar(currPercents, wb, strcat(num2str(currPercents * 100, '%.1f'), '% Frame: ',
num2str(frameCounter), '/', num2str(numFrames), ' Elapsed=', num2str(elapsed, '%.1f'), '
sec.'));
end
close(vout);
close(wb);

% Tell user that calculation is over
msgbox('Video is Saved!');
return;

% Clustering caclulation function
function clustering()
    h = 0;
    if waiting h = waitbar(0,'0%'); end
    cform = makecform('srgb2lab');
    lab_he = applycform(inputImage, cform);
    disp('size he: '); disp(size(lab_he));

```

```

abi = double(lab_he(:,:,2:3));
nrows = size(abi,1);
ncols = size(abi,2);
disp('Sab'); disp(size(abi));
ab = reshape(abi,nrows*ncols,2);
disp('Sab'); disp(size(ab));

%k-means
if waiting waitbar(0.3,h,'30%'); end
[cluster_idx1, cluster_center1] =
kmeans(ab,numOfClusters,'distance','sqEuclidean','Replicates',3);
pixel_labels1 = reshape(cluster_idx1,nrows,ncols);

if waiting waitbar(0.9,h,'90%'); end
if waiting close(h); end
end

% Function for masking and drawing result
function draw()
%k-means
mean_cluster_value = mean(cluster_center1,2);
[tmp, idx] = sort(mean_cluster_value);
blue_cluster_num = idx(currentCluster);

L = lab_he(:,:,1);
blue_idx = find(pixel_labels1 == blue_cluster_num);
L_blue = L(blue_idx);
is_light_blue = im2bw(L_blue,clusterThreshold);

nuclei_labels = repmat(uint8(0),[nrows ncols]);
nuclei_labels(blue_idx(is_light_blue==(1-clusterThresholdSign))) = 1;

```

```

nuclei_labels = repmat(nuclei_labels,[1 1 3]);
ret1 = inputImage;
%ret1(nuclei_labels ~= 1) = 0;
ret1(nuclei_labels ~= 1) = tileMap(nuclei_labels ~= 1);
subplot(ax2);
image(ret1); axis equal; axis off;
title('Result', 'FontSize', fontSize);
end

% Callback functions for buttons
function hStart(src, evt)
    if waiting == false
        return;
    end
    [filename, pathname] = uiputfile({'*.avi';'*.*'}, 'Save animation as');
    if(isequal(filename, 0))
    else
        vout = VideoWriter(fullfile(pathname, filename));
        vout.FrameRate = vid.FrameRate;
        %vout = avifile(fullfile(pathname, filename), 'fps', vid.FrameRate);
        waiting = false;
    end
end

function hStop(src, evt)
    if waiting return; end
    running = false;
end

% Callback functions for sliders
function onClusterNumSlider(hObject, eventdata)
    numOfClusters = int32(str2num(get(hObject,'String')));
    currentCluster = 1;

```



```


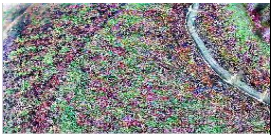
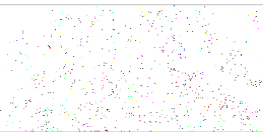
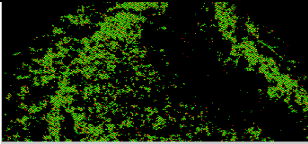
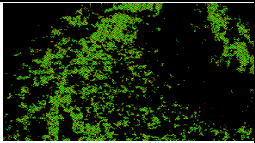



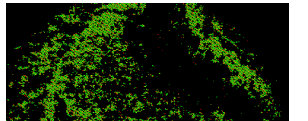
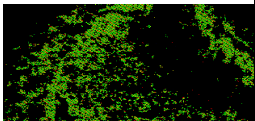



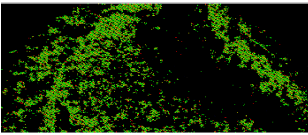
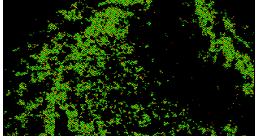



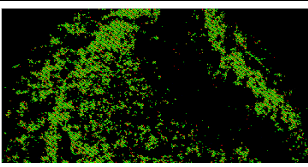
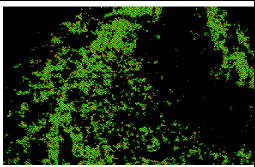



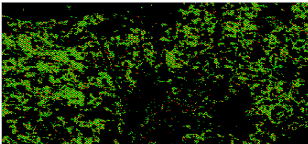
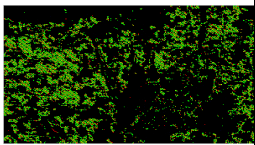



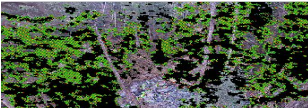
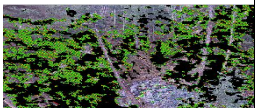
    set(hMaskSlider, 'Max', numOfClusters);
    set(hMaskSlider, 'Value', currentCluster);
    set(hMaskSlider, 'SliderStep', [1.0/double(numOfClusters-1),
1.0/double(numOfClusters-1)]);
    clustering();
    draw();
end
function onMaskSlider(hObject, eventdata)
    currentCluster = int32(get(hObject,'Value'));
    set(hMaskSliderLabel, 'String', currentCluster);
    draw();
end
function onThresSlider(hObject, eventdata)
    clusterThreshold = get(hObject,'Value');
    set(hThresSliderLabel, 'String', strcat('Threshold: ', num2str(clusterThreshold)));
    if(clusterThreshold > 0.0) clusterThresholdSign = 1; else clusterThresholdSign = 0;
end;
    clusterThreshold = abs(clusterThreshold);
    draw();
end




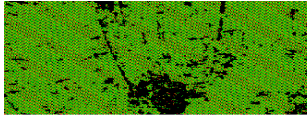
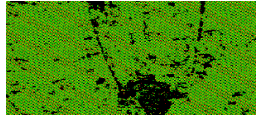




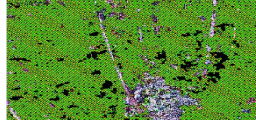










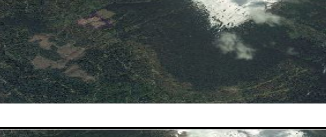

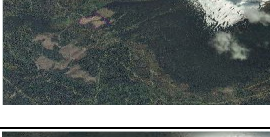


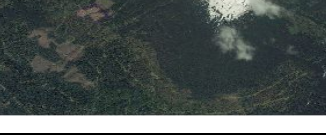
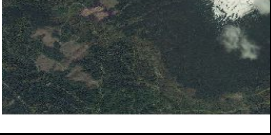
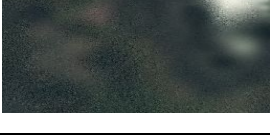

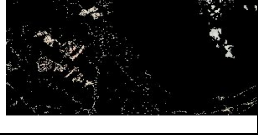
end

```

## ДОДАТОК В

### Результати обробки цифрових зображень

	Оригінальне зображення №1	Contrast	Wavelet	k-means	c-means
Результат застосування методу підвищення контрастності Функція wavelet заблокована					
Результат застосування вейвлет-аналізу. Функція contrast заблокована.					
Результат застосування методів підвищення контрастності та вейвлет-аналізу.					
Результат послідовного застосування методів підвищення контрастності, вейвлет-аналізу та кластеризації					
	Оригінальне зображення №2	Contrast	Wavelet	k-means	c-means
Результат застосування методу підвищення контрастності Функція wavelet заблокована					
Результат застосування вейвлет-аналізу. Функція contrast заблокована.					

Результат застосування методів підвищення контрастності та вейвлет-аналізу.					
Результат послідовного застосування методів підвищення контрастності, вейвлет-аналізу та кластеризації.					
	Оригінальне зображення №3	Contrast	Wavelet	k-means	c-means
Результат застосування методу підвищення контрастності. Функція wavelet заблокована					
Результат застосування вейвлет-аналізу. Функція contrast заблокована					
Результат застосування методів підвищення контрастності та вейвлет-аналізу.					
Результат послідовного застосування методів підвищення контрастності, вейвлет-аналізу та кластеризації.					

## ДОДАТОК Д

### Шкала реактивної та особистісної тривожності (Спілбергера - Ханіна)

Підвищена тривога є основним механізмом не адаптивної поведінки, однак, певний рівень тривожності - природна й обов'язкова особливість продуктивної активності людини. Кожний має свій рівень тривоги і тривожності. Самоконтроль і самооцінка цього стану є істотним компонентом адаптивної саморегуляції, позаяк підвищений рівень тривоги є провідним «облігатним механізмом» дезадаптивних розладів.

Особистісна тривожність – це стійка індивідуальна особливість людини, що характеризує її тенденцію сприймати певний діапазон ситуацій як загрозливих, небезпечних для самооцінки і самоповаги.

Реактивна тривожність як стан характеризується суб'єктивно пережитими емоціями: напругою, занепокоєнням, заклопотаністю, нервозністю. Цей стан виникає як емоційна реакція на стресову ситуацію.

Високотривожні особистості схильні сприймати загрозу самооцінці і життєдіяльності і реагувати вираженим станом тривоги. Якщо результати тесту виявляють високий рівень особистісної тривожності, то це дає підставу прогнозувати виникнення станів тривожного ряду в різноманітних ситуаціях, пов'язаних з оцінкою компетенції і престижу.

#### Шкала ситуативної тривожності (СТ)

*Інструкція.* Прочитайте уважно кожне з наведених тверджень і закресліть цифру у відповідній графі праворуч залежно від того, як ви почуваетесь на даний момент. Над запитаннями довго не задумуйтеся, оскільки правильних і неправильних відповідей немає.

<i>№ з/п</i>	<i>Судження</i>	<i>Ні, це не так</i>	<i>Мабуть, так</i>	<i>Вірно</i>	<i>Абсолютно вірно</i>
1.	Я спокійний	1	2	3	4
2.	Мені ніщо не загрожує	1	2	3	4
3.	Я перебуваю в напрузі	1	2	3	4
4.	Я внутрішньо скутий	1	2	3	4
5.	Я почуваюся вільно	1	2	3	4
6.	Я засмучений	1	2	3	4
7.	Мене хвилюють можливі невдачі	1	2	3	4
8.	Я відчуваю душевний спокій	1	2	3	4
9.	Я стривожений	1	2	3	4
10.	Я відчуваю почуття внутрішнього задоволення	1	2	3	4
11.	Я упевнений у собі	1	2	3	4
12.	Я нервую	1	2	3	4
13.	Я не знаходжу собі місця	1	2	3	4
14.	Я напружений	1	2	3	4
15.	Я не відчуваю скутості, напруги	1	2	3	4
16.	Я задоволений	1	2	3	4
17.	Я заклопотаний	1	2	3	4
18.	Я занадто збуджений і мені не по собі	1	2	3	4
19.	Мені радісно	1	2	3	4
20.	Мені приємно	1	2	3	4

*Шкала особистісної тривожності (ОТ)*

*Інструкція.* Прочитайте уважно кожне з наведених тверджень і закресліть цифру у відповідній графі праворуч залежно від того, як ви почуваєтеся на даний момент. Над запитаннями довго не розмірковуюйте, оскільки правильних і неправильних відповідей немає.

<i>№ з/п</i>	<i>Судження</i>	<i>Ні, це не так</i>	<i>Мабуть, так</i>	<i>Вірно</i>	<i>Абсолютно вірно</i>
1	У мене буває піднесений настрій	1	2	3	4
2	Я буваю дратівливим	1	2	3	4
3	Я легко засмучуюсь	1	2	3	4
4	Я хотів би бути так же щасливим, як і інші	1	2	3	4
5	Я сильно переживаю неприємності і довго не можу про них забути	1	2	3	4
6	Я почуваю приплив сил і бажання працювати	1	2	3	4
7	Я спокійний, холонокровний і зібраний	1	2	3	4
8	Мене тривожать можливі труднощі	1	2	3	4
9	Я занадто переживаю через дрібниці	1	2	3	4
10	Я буваю цілком щасливий	1	2	3	4
11	Я все приймаю близько до серця	1	2	3	4
12	Мені не вистачає впевненості в собі	1	2	3	4
13	Я почуваюся беззахисним	1	2	3	4
14	Я намагаюся уникати критичних ситуацій і труднощів	1	2	3	4
15	Іноді я нудькую	1	2	3	4
16	Я буваю задоволений	1	2	3	4

17	Будь-які дрібниці відволікають і хвилюють мене	1	2	3	4
18	Буває, що я почуваюся невдахою	1	2	3	4
19	Я врівноважена людина	1	2	3	4
20	Мене охоплює занепокоєння, коли я думаю про свої справи і турботи	1	2	3	4

### Обробка та інтерпретація

Результати тесту обробляються за допомогою ключа.

### Ключ

<i>Ситуативна тривожність</i>					<i>Особистісна тривожність</i>				
<i>№ з/п</i>	<i>Ні, це не так</i>	<i>Мабуть, так</i>	<i>Правильно</i>	<i>Зовсім правильно</i>	<i>№ з/п</i>	<i>Ніколи</i>	<i>Іноді</i>	<i>Часто</i>	<i>Майже завжди</i>
1	4	1	3	2	21	4	3	2	1
2	4	1	3	2	22	1	2	3	4
3	1	4	2	3	23	1	2	3	4
4	1	4	2	3	24	1	2	3	4
5	4	1	3	2	25	1	2	3	4
6	1	4	2	3	26	4	3	2	1
7	1	4	2	3	27	4	3	2	1
8	4	1	3	2	28	1	2	3	4
9	1	4	2	3	29	1	2	3	4
10	4	1	3	2	30	4	3	2	1
11	4	1	3	2	31	1	2	3	4
12	1	4	2	3	32	1	2	3	4
13	1	4	2	3	33	1	2	3	4
14	1	4	2	3	34	1	2	3	4
15	4	1	3	2	35	1	2	3	4

<i>16</i>	<i>4</i>	<i>1</i>	<i>3</i>	<i>2</i>	36	4	3	2	1
<i>17</i>	<i>1</i>	<i>4</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	37	1	2	3	4
<i>18</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	38	1	2	3	4
<i>19</i>	<i>4</i>	<i>1</i>	<i>3</i>	<i>2</i>	39	4	3	2	1
<i>20</i>	<i>4</i>	<i>1</i>	<i>3</i>	<i>2</i>	40	1	2	3	4

Під час аналізу результатів самооцінки треба мати на увазі, що загальний підсумковий показник за шкалами ситуативної й особистісної тривожності може бути в діапазоні від 20 до 80 балів. При цьому чим вищий підсумковий показник, тим вищий рівень тривожності (ситуативної чи особистісної).

Орієнтовні оцінки рівня тривожності:

- Від 0 до 30 балів - низька тривожність;
- Від 31 до 44 балів - помірна тривожність;
- Від 45 і більше - висока тривожність.



## ДОДАТОК Е

### Акти впровадження

**Акт**  
**про використання результатів дисертаційного дослідження викладача**  
**кафедри комп'ютерних систем і технологій**  
**ПВНЗ «Буковинський університет»**  
**Гусак Олени Михайлівни**  
**на тему: «Інформаційна технологія раннього виявлення лісових пожеж**  
**за допомогою безпілотних літальних апаратів»**

Цей акт підтверджує, що розроблену в рамках дисертаційної роботи на тему: «Інформаційна технологія раннього виявлення лісових пожеж за допомогою безпілотних літальних апаратів» інформаційну технологію використано в діяльності відділу реагування на надзвичайні ситуації та підпорядкованих підрозділів Управління ДСНС України у Чернівецькій області під час відпрацювання тактико-спеціальних навчань по ліквідації лісових пожеж на території Чернівецької області підрозділами Управління ДСНС України в Чернівецькій області, що дозволило підвищити ефективність протипожежного моніторингу лісу.

Розроблена інформаційна технологія, заснована на розширенні функціональних інформаційно-технологічних можливостей неспеціалізованих безпілотних літальних апаратів, дозволила удосконалити системи підтримки прийняття рішень для оцінки поточної оперативної пожежної обстановки, прогнозування пожежної небезпеки, а також вдосконалити систему заходів з ліквідації наслідків лісових пожеж.

Використання результатів дисертаційного дослідження Гусак О. М. надало можливість проведення моніторингу виникнення пожеж в лісових масивах Чернівецької області під час пожежонебезпечного періоду 5-го класу, що в свою чергу дає можливість швидкому виявленню осередків пожеж та швидкому зосередженню сил і засобів до ліквідації лісових пожеж Чернівецької області.

Начальник відділу реагування на надзвичайні ситуації Управління ДСНС України в Чернівецькій області



В.І. Бабюк

ЧЕРНІВЕЦЬКА ОБЛАСНА РАДА

АКТ

№ 108/12 від "14" листопада 2015р.

про впровадження результатів дисертаційного дослідження  
викладача кафедри фізико-математичних і природничих дисциплін

ПВНЗ "Буковинський університет"

Гусак Олени Михайлівни

Даний акт створено про те, що результати дисертаційного дослідження  
Гусак Олени Михайлівни використані в роботі  
«Інформаційна технологія розширення функціональних  
можливостей безпілотників для раннього виявлення лісових пожеж», зокрема:

1. Результати даного дисертаційного дослідження можуть бути використані  
в системах підготовки операторського персоналу в сенсі методичного  
доповнення до існуючих методів оцінювання ефективності операторської  
діяльності, виявлення особливостей людини-оператора в процесі організації  
його інтелектуальної діяльності, а саме, пошуку, виявлення об'єктів заданого  
класу на наданих на моніторі зображеннях та створення їхнього семантичного  
опису

Результати дисертаційного дослідження Гусак Олени Михайлівни  
надають можливість здійснювати якісний підбір операторського персоналу, а  
також дозволяють оптимізувати роботу людини-оператора, як складової частини  
сучасної інформаційної системи.

Начальник господарського  
відділу, в.о. завідувача сектору  
з обслуговування  
комп'ютерної техніки  
Чернівецької обласної ради

  
(підпис)



# УКРАЇНА БУКОВИНСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ

58000 м. Чернівці, вул. Ч. Дарвіна, 2-А тел. 55-32-07, факс 51-08-98 E-mail: bukuniver@bukuniver.cv.ua

«Затверджую»

Президент  
ПВНЗ «Буковинський університет»

професор Маниліч М. І.

18 травня 2018 р.

## АКТ

**про впровадження та використання результатів наукової роботи  
«Інформаційна технологія раннього виявлення лісових пожеж за  
допомогою безпілотних літальних апаратів»**

**викладача кафедри комп'ютерних систем і технологій  
Гусак Олени Михайлівни**

Цей акт підтверджує, що результати наукової дисертаційної роботи Гусак Олени Михайлівни на тему: «Інформаційна технологія раннього виявлення лісових пожеж за допомогою безпілотних літальних апаратів» використано в науково-дослідних роботах та навчальному процесі кафедри комп'ютерних систем і технологій Приватного вищого навчального закладу «Буковинський університет» при викладанні курсів «Системи розпізнавання образів», «Нейронні мережі», «Інтелектуальний аналіз даних», «Крос-платформне програмування», «Розробка інтелектуального інтерфейсу «людина-система», «Інформаційні технології паралельних розрахунків», «Технології розподілених систем і паралельних обчислень», а також при виконанні курсових та магістерських кваліфікаційних робіт.

Дисертаційна робота була виконана в рамках наукового напрямку кафедри комп'ютерних систем і технологій ПВНЗ «Буковинський університет» за темою: «Розвиток методів і засобів інформаційних технологій складних стохастичних соціально-економічних систем в умовах невизначеності різних типів» (державний реєстраційний № 00112U008316).

Начальник навчального відділу



І. О. Шинкарюк

в.о. завідувача кафедри  
комп'ютерних систем і технологій  
к. т. н., доцент



О. І. Артеменко