



I. А. Оношко¹, А. П. Кушнір¹, С. Я. Вовк¹, В. А. Кобко²

¹Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, м. Львів, Україна

²Одеський державний університет внутрішніх справ, м. Одеса, Україна

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5793-1680> – І. А. Оношко

<https://orcid.org/0000-0002-6946-8395> – А. П. Кушнір

<https://orcid.org/0000-0001-5278-3754> – С. Я. Вовк

<https://orcid.org/0000-0002-3586-8219> – В. А. Кобко



andrekushnir@ukr.net

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ПІДВИЩЕННЯ ПРОТИПОЖЕЖНОГО ЗАХИСТУ АВІАЦІЙНИХ АНГАРІВ ШЛЯХОМ ВДОСКОНАЛЕННЯ ВИСОКОТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ ВИЯВЛЕННЯ ПОЖЕЖІ

Проблема. Швидке виявлення загорання у разі пожежі та її гасіння має вирішальне значення для захисту авіаційних ангарів. Економічні втрати від пожежі можуть бути на мільярди доларів. Літак внаслідок пожежі може отримати пошкодження менш, ніж за хвилину від початку пожежі. Тому час виявлення пожежі є критичним параметром в системі забезпечення протипожежного захисту ангарів. Крім того є безліч можливих факторів, які можуть спричинити помилкове спрацювання системи і, тим самим, спричинити помилкову активацію системи пожежогасіння. Тому не зважаючи на неймовірний розвиток сучасних технологій і усе різноманіття систем виявлення пожеж – забезпечення пожежної безпеки авіаційних ангарів є актуальною задачею.

Мета дослідження. Метою роботи є аналіз можливостей підвищення протипожежного захисту авіаційних ангарів шляхом вдосконалення технологічних систем виявлення пожежі, а саме, використанням інтелектуальних пожежних сповіщувачів полум'я та відеосистем виявлення пожежі.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети та задач дослідження було використано теоретичні методи дослідження, що передбачало аналіз наукових публікацій та чинної нормативної бази за напрямком дослідження.

Основні результати дослідження. Точкові теплові і димові пожежні сповіщувачі не використовуються для захисту авіаційних ангарів. Великі відкриті зони з великою висотою не дають змоги їм виявити загорання на ранній стадії. Висота літаків та стратифікація також можуть перешкоджати використанню лінійних димових пожежних сповіщувачів. Для захисту як цивільних, так і військових ангарів використовуються пожежні сповіщувачі полум'я. Проведені дослідження доводять, що пожежні сповіщувачі полум'я з трьома інфрачервоними сенсорами забезпечують найкращий результат розпізнавання пожежі в широкому діапазоні проведених тестових сценаріїв пожеж. І хоча багатоспектральні ІЧ ПС полум'я мають багато переваг, вони мають і певні ключові недоліки, головним чином пов'язані з помилковими спрацюваннями від джерел завад, не пов'язаних з реальною пожежею. Вони можуть спрацьовувати через гаряче CO₂ у повітрі, випромінювання чорного тіла від літаків або службових транспортних засобів, електромагнітне випромінювання тощо. Щоб мінімізувати кількість помилкових спрацювань системи необхідно використати нові технологічні рішення. Одними із таких рішень є використання високоінтелектуальних пожежних сповіщувачів полум'я та пожежних відеосповіщувачів. Проведені дослідження для захисту інших об'єктів показали, що пожежні відеосповіщувачі виявляли пожежу майже в кожному випробуванні порівняно із іншими типами пожежних сповіщувачів і помилковість спрацювання від додаткових джерел завад була мінімальною.

Висновки. Згідно з проведеними дослідженнями та стандартами для захисту як цивільних, так і військових ангарів, в системах пожежної сигналізації необхідно використовувати оптичні триспектральні інфрачервоні пожежні сповіщувачі полум'я. Ризики, пов'язані з використанням традиційних оптичних пожежних сповіщувачів полум'я, демонструють потребу в розробці більш ефективних системи виявлення пожежі з меншим ризиком помилкового спрацювання. Одним із перспективних способів підвищення надійності та зменшення часу виявлення загорання є використання високоінтелектуальних пожежних сповіщувачів полум'я побудованих на основі нечіткої логіки, нейронної мережі та нечіткої нейронної мережі. Іншим перспективним напрямком для раннього виявлення загорань є використання пожежних відеосповіщувачів. Використання пожежних відеосповіщувачів є чудовою альтернативою традиційній системі пожежної сигналізації з пожежними сповіщувачами. Однак для забезпечення ефективного захисту авіаційних ангарів та літаків за допомогою пожежних відеосповіщувачів необхідно провести додаткові дослідження, які дадуть відповіді на питання про швидкість виявлення загорання, ймовірність помилкових спрацювань від різних

джерел завад, а також місця їх встановлення. Слід відмітити ще одну проблему використання пожежних відеоспівісцувачів, а саме: відсутність в повній мірі необхідної нормативної документації. Міжнародні стандарти не дають відповіді на усі запитання щодо їх проектування і використання.

Ключові слова: авіаційний ангар, пожежні співісцувачі, пожежні відеоспівісцувачі, відеосистеми виявлення пожежі.

I. A. Onoshko¹, A. P. Kushnir¹, S. Ya. Vovk¹, V. A Kobko²

¹*Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine*

²*Odesa State University University of Internal Affairs, Odesa, Ukraine*

ANALYSIS OF THE POSSIBILITIES OF INCREASING AIRCRAFT HANGAR'S FIRE SAFETY BY MEANS OF IMPROVING HIGH-TECHNOLOGICAL FIRE DETECTION SYSTEMS

Introduction. Fast detection of fire ignition and its fast suppression is vitally important for the aircraft hangar's safety. Financial losses due to a fire can reach billions of dollars. An aircraft can be damaged in less than a minute after a fire starts, so the time of fire detection is an extremely important parameter in an aircraft hangar fire protection system. In addition, many possible factors can cause the system failure or malfunction and, thereby, cause the fire suppression system to false alarm. Therefore, despite the incredible development of modern technologies and the diversity of fire detection systems, ensuring the fire safety of aircraft hangars is an urgent task.

Purpose. The purpose is to analyse the possibilities of improving the fire protection of aircraft hangars by improving technological fire detection systems, namely, the possibility of usage of intelligent flame detectors and video fire detection systems.

Methods. To achieve the set purpose and objectives of the research, theoretical research methods were used, which included the analysis of scientific publications and the existing regulatory framework in the field of research.

Results. Dotted heat and smoke fire detectors are not used to protect aircraft hangars. Large open areas with high altitude do not allow them to detect ignition at an early stage. Aircraft altitude and stratification can also prevent the use of linear smoke detectors. Fire detectors are used to protect both civilian and military hangars. Conducted studies prove that flame detectors with three infrared sensors provide the best fire detection results in a wide range of fire test scenarios. Although multispectral IR flame detectors have many advantages, they also have certain key disadvantages, mainly related to false positives from sources of interference unrelated to the actual fire. These can be triggered by hot CO₂ in the air, blackbody radiation from aircraft or service vehicles, electromagnetic radiation, etc. To minimise the number of false positives in the system, it is necessary to use new technological solutions. One such solution is the usage of highly intelligent flame detectors and video fire detectors. Studies conducted for the protection of other objects have shown that video fire detectors detected fire in almost every research compared to other types of fire detectors and false alarms from additional sources of interference are minimal.

Conclusions. According to the conducted studies and standards, for the protection of both civilian and military hangars, it is necessary to use optical three-spectral infrared fire detectors in fire alarm systems. The risks associated with the usage of traditional optical fire detectors demonstrate the need for the development of more effective fire detection systems with a lower risk of false alarms. One of the best ways to improve reliability and reduce fire detection time is the usage of highly intelligent flame detectors built based on fuzzy logic, neural network and fuzzy neural network. Another promising direction for early detection of fires is the usage of video fire detectors. The usage of video fire detectors is an excellent alternative to replace a traditional fire alarm system with a flame detector. However, to ensure effective protection of aircraft hangars and aircrafts with the help of PVA, it is necessary to conduct additional studies that will allow answering the questions about the speed of fire detection, the probability of false alarms from various sources of interference, as well as the place of its installation. Another problem with the usage of video fire detectors should be noted is the lack of national regulatory documentation. International standards do not provide answers to all questions regarding their design and ways of usage.

Keywords: aircraft hangar, fire detector, video fire detector, video fire detector systems.

Постановка проблеми. Одними із найскладніших об'єктів в аспекті протипожежного захисту є ангари для зберігання та технічного обслуговування літаків. Саме ангари ще на стадії проектування становлять серйозні виклики проєктантам та замовникам будівництва. Швидке виявлення загорання у разі пожежі та її гасіння має вирішальне значення для захисту життя людей, майна та повітряних суден. Забезпечення високого рівня протипожежного захисту ангарів, які можуть охоплювати тисячі квадратних метрів, потребує використання високоточних технологічних системи виявлення загорання, які здатні розрізнити справжню

пожежу і оманливі явища, не пов'язані з пожежею на початковому етапі виникнення загорання, щоб можна було вжити швидких заходів для її локалізації.

Економічні втрати від пожежі можуть бути на мільярди доларів – від незначного пошкодження частини приміщень, до повної втрати ангару та літаків, які там зберігаються чи обслуговуються, оскільки вартість самих літаків, які перебувають в ангарах може перебільшувати в декілька разів вартість самого ангару. Наприклад, для зберігання повітряних суден типу Northrop Grumman B-2 Spirit необхідні спеціальні системи кондиціонування, які забезпечують відповідний захист, що впливає на

вартість ангару. Окрім того, один Boeing 737, згідно з офіційною інформацією, може коштувати від 49,5 до 85 млн доларів США, орієнтовна вартість одного F-35A Lightning II приблизно 102 млн доларів США, Lockheed Martin F-22 “Raptor” – від 135 до 180 млн доларів США, Northrop Grumman B-2 Spirit – приблизно 2,1 млрд доларів США.

Літак внаслідок пожежі може отримати пошкодження менш, ніж за хвилину від початку пожежі. Так, обшивка фюзеляжу літака може бути пошкоджена вже через 45 секунд після першого контакту з вогнем. Пінні системи пожежогасіння великої кратності, які зазвичай використовуються для захисту ангарів, можуть заповнити ангар піною на висоту невеликого літака не скоріше, ніж за дві хвилини. Тому час виявлення пожежі є критичним параметром в системі забезпечення протипожежного захисту ангарів. На додаток до швидкості розповсюдження пожежі ще є безліч можливих факторів, які можуть спричинити помилкове спрацювання системи виявлення пожежі і, тим самим, спричинити помилкову активацію систем пожежогасіння, що, у свою чергу, може мати матеріальні або трагічні наслідки.

На ефективну роботу системи виявлення загорання в авіаційному ангарі впливає ряд факторів, а саме: випромінювання від літаків/двигунів; електромагнітні та радіочастотні завади; гарячі викиди CO₂ з вихлопними газами двигунів; сонячні промені, що проникають крізь відчинені великі розсувні двері; можливість попадання полум'я крізь відчинені великі розсувні двері в зону контролю пожежних сповіщувачів (ПС) від рухомих і стоячих літаків на злітно-посадковій смугі з увімкненими реактивними двигунами; зміна інтер'єру внаслідок переміщення літаків; велика зона виявлення, крила літаків та перешкоди створюють значні завади для виявлення загорання; технічне обслуговування, яке може включати зварювання або шліфування. Також з огляду на кількість рухомих об'єктів і сонячне світло, що проникає крізь двері ангару, є багато відбиваючів гарячих поверхонь, з якими система виявлення пожежі (далі – СВП) повинна «рахуватись».

Отже, вище згаданий негативний вплив багатьох чинників в авіаційному ангарі відіграє вирішальну роль у виборі відповідної технології та СПВ, яка б могла сигналізувати про це на ранніх стадіях. Однак не зважаючи на наймовірний розвиток сучасних технологій і усе різноманіття систем виявлення пожеж – забезпечення пожежної безпеки авіаційних ангарів залишається актуальною задачею.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Про необхідність обладнання авіаційних ангарів певними системами протипожежного захисту вказано в стандартах NFPA 409, NAS 3306 [1, 2].

Авіаційні ангари, згідно з міжнародною класифікацією, різняться за розміром, типом і кількістю літальних апаратів, а також за типами наявних систем. Згідно з NFPA 409 [1] і Міжнародним Будівельним Кодексом, авіаційні ангари класифікують на чотири групи залежно від конструкції та розмірів ангарів, будівельних матеріалів конструкції, висоти дверей для доступу та типів небезпечних матеріалів, що там розміщені. Кожна СВП повинна враховувати усі ці унікальні характеристики об'єкта та вимоги до нього. Тому один тип СВП очевидно не може бути застосований для всіх типів ангарів, так само як один певний тип системи пожежогасіння.

NFPA 409 [1] передбачає захист ангарів і визначає необхідні типи системи пожежогасіння, які необхідно використовувати в кожній групі ангарів. NFPA 409 посилається на стандарт NFPA 72 [3], в якому чітко зазначено, вибрані пожежні сповіщувачі (далі – ПС) для авіаційних ангарів повинні відповідати призначенню будівлі, виявляти загорання реактивного палива і розміщуватись виключно на основні розрахунку ризиків, проведеного кваліфікованими особами. У 2022 р до NFPA 409 були внесені певні зміни в частині, що стосується вимог до систем пінного пожежогасіння для авіаційних ангарів II групи. Ця зміна стала результатом численних досліджень аналізу ризиків, які показали, що авіаційні ангари II групи не потребують наднадійних систем пінного пожежогасіння [4]. Обов'язково слід зазначити, що на сьогодні в Україні немає чинних норм проектування саме авіаційних ангарів, а норми пожежної безпеки для існуючих ангарів датуються 80-ми роками минулого сторіччя.

Військові ангари повинні відповідати нормативному документу ETL 02-15 [5], який своєю чергою посилається на NFPA 409 [1], а також на UFC 4-211-01 [6]. В роботі [7] Роберт Ганьон описує 12-етапний метод проектування протипожежного захисту ангарів для літаків. В роботі [8] автори зазначають, що для забезпечення ефективного захисту ангарів та літаків, військово-морські сили визнали потребу в розробці та впровадженні унікальних стандартів протипожежного захисту ангарів. Ці стандарти мають забезпечити надійні та легкі в обслуговуванні системи протипожежного захисту, які запобігають пошкодженню конструкції ангара та літака у разі пожежі. Розробка та впровадження таких стандартів відбувається на основі досліджень, які враховують специфіку військових літаків та їх використання.

Ще в 1997 р. автори [9] провели дослідження, які оцінювали загрозу пожежі, пов'язану з використанням пального під час технічного обслуговування літака в ангарі, та її наслідки. Під час випробувань були враховані джерела

займання пального, розливання пального, розповсюдження полум'я, оскільки забезпечення ефективності систем протипожежного захисту було фундаментальною метою у забезпеченні безпеки та захисту ангарів та літаків [8]. В роботі [10] запропонована система пожежогасіння нового покоління. Так, в цій роботі зазначено, що традиційні системи пінного пожежогасіння, які включають сопла аспіраційного типу та піногенератори типу повітрорудки, мають кілька потенційних обмежень, включаючи низьку якість піни, через використання забрудненого димом повітря для утворення піни. Крім того, поточні системи піни не здатні забезпечити піну з високою швидкістю впорскування. Автори запропонували для утворення піни використовувати стиснене повітря, оскільки отримана піна буде мати високу якість і значну швидкість впорскування, а також потребуватиме значно меншої кількості води та концентратів піни, що призводить до зниження вартості. Дослідження показали, що така система пожежогасіння досягає 90% контролю над пожежею за 30 с і гасіння за 60 с.

В роботі [11] автори провели аналіз переваг і недоліків використання систем пінного пожежогасіння піною різної кратності, водяних систем пожежогасіння та способів подачі піни і води. Автори відмітили довгостроковий негативний вплив пер- та поліфторалкільних речовин, які використовуються для утворення піни різної кратності.

В роботі [12] автори наголошують на відсутності аналізу альтернативних методів протипожежного захисту авіаційних ангарів для можливого впровадження в NFPA 409 [1]. Автори вважають, що хоча такі системи, як тонкороспилена вода, піна зі стисненим повітрям та інші технічні рішення, і пропонуються для захисту – їх ефективність до кінця не досліджено. Таким чином, автори пропонують альтернативний метод оцінки, який можна використовувати щоб оцінити ефективність інших запропонованих технологій систем пожежогасіння за певним сценарієм виникнення і розвитку пожежі в авіаційному ангарі та провести подальші дослідження для їх вдосконалення.

У більшості випадків усі системи протипожежного захисту приводяться в дію СВП. Як уже зазначалося вище, авіаційні ангари є складними об'єктами де складно швидко виявити загорання і надзвичайно складно зробити це надійно, з мінімальною кількістю помилкових спрацювань системи від ознак, які не пов'язані з пожежею. Тому вкрай важливо розробляти нові технологічні СВП, які дають змогу надійно і швидко виявляти загорання на дуже великих площах ангарів.

Мета і задачі дослідження

Метою статті є аналіз можливостей підвищення протипожежного захисту авіаційних ангарів шляхом вдосконалення технологічних систем виявлення пожежі, а саме, використанням інтелектуальних пожежних сповіщувачів полум'я та відеосистем виявлення пожежі.

Для досягнення поставленої мети потрібно виконати такі завдання:

- провести аналіз різних аспектів проблем виявлення пожеж в авіаційних ангарах різними типами пожежних сповіщувачів;

- провести аналіз нормативних документів щодо вимог оснащення авіаційних ангарів СВП;

- провести аналіз запропонованих СВП з врахуванням останніх досягнень науки і техніки;

- проаналізувати запропоновані шляхи покращення ефективності функціонування СВП для протипожежного захисту авіаційних ангарів;

- здійснити вивчення нормативних документів щодо оснащення ангарів відеосистемами виявлення пожежі.

Результати роботи. Як уже було зазначено вище, через ряд факторів, виявити загорання в ангарах на ранній стадії традиційними системами пожежної сигналізації (СПС) є проблематично. Великі відкриті зони з великою висотою, можуть спричинити розрідження диму. В результаті чого концентрація диму при досягненні встановлених на стелі точкових димових ПС може бути малою для їх спрацювання, а різниця температур може спричинити термічне відшарування диму від стелі. Крім того, точкові димові ПС не є ідеальними через проблеми з обслуговуванням і витратами. Це стосується також і теплових ПС. Їх взагалі не рекомендується встановлювати вище 8 м [13, 14]. Термічне розшарування також перешкоджає тепловому потоку досягнути ПС. Ці сповіщувачі мають найбільшу інерційність і тому їх не можна використовувати для захисту ангарів.

В статті [15] запропонована інтелектуальна СВП для ангарів. Вона побудована з використанням сенсорів диму MQ-2 та тепла LM35 за допомогою мікропроцесора ARTMEGA328 на базі ARDUINO. Оптимізація всіх конструкцій схеми була виконана з використанням PROTEUS. В роботі наведено алгоритм роботи цієї системи. Як стверджують автори, результати дослідження показали високу ефективність запропонованої СВП. Однак, як випливає із самої статті, запропонована система аналізує лише наявність диму та тепла і працює як порогова система. СПС побудована з використанням теплових і димових ПС не ефективна для захисту самого ангару. Для доведення протилежного, автори не дослідили запропоновану систему для виявлення загорань в ангарі. Однак, використання при побудові

алгоритмів роботи ПС теорії нечіткої логіки та нейронних мереж для виявлення загорання дає змогу підвищити протипожежний захист ангарів. Ця інтелектуальна СПС може бути використана для захисту допоміжних приміщень ангарів. Так у роботі [16] для захисту допоміжних приміщень використано димові ПС, у кімнаті з обладнанням ліфта – тепловий ПС, а для самого ангару – оптичні ПС полум'я.

Лінійні ПС дуже часто використовуються для захисту великих відкритих просторів завдяки здатності виявляти загорання на великих відстанях і захищати великі території за допомогою обмеженої кількості сповіщувачів. Їх можна використовувати в декілька ярусів на проміжних висотах. Однак висота літаків та стратифікація також можуть перешкоджати використанню лінійних димових ПС.

Виявлення диму також можна здійснювати шляхом активного відбору проб повітря аспіраційними димовими ПС. Аспіраційні димові сповіщувачі використовують передові технології виявлення пожежі і використовуються там, де необхідне раннє виявлення загорання. Їх ще називають системами раннього виявлення. Система працює за принципом постійного забору повітря з контрольованого середовища через ряд повітряно-забірних отворів та подавання в центральну панель, де повітря аналізується на наявність частинок диму за допомогою вбудованого високочутливого димового ПС або спеціальних камер [17]. Аспіраційні димові сповіщувачі зазвичай мають широкий діапазон чутливості та виявляють найперші ознаки пожежі на ранній стадії, що дає час для оцінки ризику та вжиття відповідних заходів для захисту людей та майна. Вони мають ряд переваг: можливість використання в недоступних або важкодоступних місцях з ефективним способом забезпечення високочутливого захисту; завдяки використанню відповідних фільтрів в трубах, та точності налаштування чутливості датчика забезпечується ефективний захист приміщень з підвищеним вмістом пилу і забруднюючих частинок; можливість ефективного використання в будівлях, що охороняються і в будівлях, де достатньо складно встановлювати точкові ПС тощо.

Однак вони мають і свої недоліки: немає можливості визначити місце загорання; відбір повітря з приміщення, що захищається, забезпечується електромеханічним обладнанням; повітря всмоктується через невеликі отвори, розташовані по всій довжині труби, тому відбувається зниження концентрації диму завдяки розбавленню чистим повітрям, що всмоктується з інших частин приміщення, достатньо великих; через зниження концентрації продуктів горіння, для налаштування потрібного рівня чутливості на

окремій ділянці системи необхідно значно підвищувати чутливість датчика, а не потрібної окремої ділянки; несправність одного з найбільш важливих елементів системи, наприклад, датчика або всмоктуючого вентилятора, призведе до повної втрати захисту приміщення.

На сьогодні аспіраційні системи для захисту авіаційних ангарів не використовуються. Однак, беручи до уваги їхні переваги, можливо надалі необхідним буде провести дослідження ефективності цих систем для можливого їх використання.

Оптичні ПС полум'я роками використовуються для захисту як цивільних, так і військових ангарів. Вони добре підходять для захисту авіаційних ангарів, якщо взяти до уваги їх висоту і специфічні умови, які там є. Згідно з дослідженнями та стандартами [1, 5, 6], для захисту авіаційних ангарів в СПС необхідно використовувати ПС полум'я, які реєструють електромагнітне випромінювання на певних довжинах хвиль, що генерується як відкритим полум'ям, так і тліючим вогнищем. ПС полум'я з широкими горизонтальним та вертикальним кутами огляду та діапазоном виявлення 40 метрів або більше можуть виявляти невеликі пожежі у великій частині ангару за 10 або менше секунд [18].

У авіаційному ангарі СПС з ПС полум'я повинна: швидко реагувати на пожежі, мати високу стійкість до джерел випромінювання, які не пов'язані з пожежею, крім полум'я (наприклад, електромагнітних та радіочастотних джерел, гарячих викидів CO₂, зварювання тощо), забезпечити повне покриття авіаційного ангару. Одночастотні ІЧ ПС полум'я, які в основному виявляють полум'я в діапазоні 4,2÷4,6 мікрона, реагують на гарячий CO₂. Вони можуть спрацьовувати на вихлопи двигунів або генераторів, що може бути значною проблемою, коли реактивні двигуни перевіряють на обладнанні для технічного обслуговування, яке можуть використовувати в ангарах. Ще ЕТЛ 02-15 [5] 2002 року вимагав, щоб для захисту авіаційних ангарів використовувалися ультрафіолетові (УФ)/інфрачервоні (ІЧ)- або багаточастотні (багатоспектральні) ІЧ ПС полум'я. Однак, в п. 3.6.19.11.1 UFC 4-211-01 [6] 2018 року вже говориться лише про використання триспектральних ІЧ ПС полум'я. В п. 3.6.19.11.4 UFC 4-211-01 [6] зазначено, що ПС полум'я, повинен відповідати критеріям ефективності, викладеним у розділах 5, 6 і 7 цього документа. Усі ПС полум'я у зоні кута огляду, повинні виявляти загорання палива розміром 610 мм× 610 мм протягом 30 секунд.

Ще в 1999 р. в роботі [19] були проведені випробування для оцінки рівня ефективності комерційних оптичних ПС полум'я, призначених

для використання в ангарах ВМС США. Автори стверджують, що вимога ВМС щодо використання лише оптичних ПС в УФ/ІЧ діапазоні [20] не є виправданою з огляду на сучасні технології. Використання ІЧ-сенсорів з подвійним (потрійним) спектром може забезпечити покращене виявлення та стійкість до хибних тривог порівняно з наявними ІЧ- та УФ/ІЧ-сенсорами. Проведені дослідження доводять, що ПС полум'я з трьома ІЧ-сенсори забезпечує найкращий результат розпізнавання пожежі в широкому діапазоні проведених тестових сценаріїв пожеж [18]. Сповіщувачі з УФ/ІР сенсорами та з 2-ІР сенсорами показали змішані результати залежно від сценаріїв пожежі та умов тестування. ПС полум'я з трьома ІЧ-сенсори під час випробувань реагували на дуже обмежену кількість завад. Найбільші недоліки мають сповіщувачі з UV/IR сенсорами.

І хоча багатоспектральні ІЧ ПС полум'я мають багато переваг, вони мають і певні ключові недоліки, головним чином пов'язані з помилковими спрацюваннями. Авіаційні ангари мають дуже великі двері, які часто залишають відкритими під час роботи, через які сонячні промені напряму потрапляють в ангар. Хоча сонячні промені, як правило, не призводять до помилкових спрацювань багатоспектральних ПС полум'я порівняно з УФ/ІЧ ПС полум'я. Для цього багатоспектральні ПС полум'я використовують частоти "захисної смуги", щоб відрізнити справжнє полум'я від джерел завад. На жаль, захисні смуги в повній мірі не захищають від променів сонця, тому ПС зазнають значної десенсибілізації (зменшення чутливості) за наявності сонячного світла, модульованого чи ні [21]. Їх робота значно погіршується. ПС будуть ефективні лише на набагато менших відстанях, коли сонце перебуває в межах "поля зору" сповіщувача. Також коли широкі, високі ангарні двері відкриті, в поле зору ПС полум'я може потрапляти злітно-посадкова смуга. Полум'я з реактивних двигунів або випромінювання від вже вимкнених реактивних двигунів літаків, які розташовані на злітно-посадковій смузі, може спричинити помилкове спрацювання багатоспектрального ПС полум'я. У роботі [22] автори стверджують, що сніг та туман можуть утворювати поверхню для відбивання сонячного світла, яке через відкриті двері ангара може проникати в ангар і також негативно впливати на роботу ПС полум'я, зменшуючи їх чутливість. Туман також поглинає ІЧ-випромінювання, від якого залежить робота ПС полум'я.

Традиційні оптичні ПС полум'я ідентифікують полум'я, реагуючи на наявність гарячого CO₂ у повітрі. Але в авіаційному ангарі, де часто використовуються реактивні двигуни, це навряд чи ідеальний метод виявлення загорання. ПС полум'я можуть помилково спрацювати через

випромінювання чорного тіла від літаків або службових транспортних засобів. Крім того, ангари піддаються радіочастотам від авіоніки, наземних радарів аеропорту та різних пристроїв зв'язку, що також може спричинити помилкове спрацювання такого ПС.

Ризики, пов'язані з використанням традиційних оптичних ПС полум'я, демонструють потребу в розробці більш ефективних СПС з меншим ризиком спрацювання від джерел завад, не пов'язаних з реальною пожежею. Для цього необхідно використовувати нові технологічні рішення. Одним із перспективних способів підвищення надійності та зменшення часу виявлення загорання є використання в СПС високоінтелектуальних ПС полум'я, які здатні розрізняти реальні пожежі від оманливих явищ, не пов'язаних з пожежею. Особливо важливу роль в цьому відіграють розроблені алгоритми роботи ПС, зокрема алгоритми обробки та інтерпретації вихідних сигналів з сенсорів. Сигнали з сенсорів об'єднуються, розкладаються на математичні компоненти, які обробляються згідно із запрограмованими алгоритмами. Набутий досвід розробника дає можливість реалізувати технології виявлення загорання і побудувати ПС полум'я на основі нечіткої логіки [23-28], нейронної мережі та нечіткої нейронної мережі (нейро-фаззи системи) [29-31].

Щоб побудувати ПС на основі нечіткої логіки необхідно знати як змінюються ознаки пожежі у часі залежно від типу пожежі, тобто необхідно мати досвід, щоб формувати функції належності та базу правил. Складність використання нейронної мережі для об'єднання даних, отриманих з декількох сенсорів, полягає в проектуванні кількості вузлів у прихованому шарі. Наразі не існує методу вибору кількості вузлів у прихованому шарі, однак вибір кількості вузла пов'язаний з нормальною роботою всієї мережі. Тому вибір прихованих вузлів шару є вирішальним. Також важливою задачею є вибір методу навчання. Нечітка нейронна мережа дає змогу компенсувати недоліки нечіткої логіки та нейронної мережі. Загальною перевагою таких систем є автоматична і достатньо швидка ідентифікація бази правил, встановлення параметрів та типу функцій належності. На відміну від традиційних нейронних мереж, параметри в таких системах мають чітке фізичне пояснення.

У роботі [25] запропоновано інтелектуальний багатоспектральний ПС з інфрачервоним та ультрафіолетовим датчиками з використанням блоку нечіткої корекції, синтезованого на основі теорії нечіткої логіки. Результати імітаційних досліджень показали, що блок нечіткої корекції розрізняє різні етапи зміни довжини хвилі інфрачервоного та ультрафіолетового

випромінювання і частоти мерехтіння. Блок формує необхідний вихідний сигнал на основі скомпільованої бази правил. Це дає можливість з високою точністю виявити пожежу без помилкової тривоги.

У роботі [27] розроблено ПС полум'я, який використовує нечітку вейвлет-систему або техніку нечіткої системи з багаторазовою роздільною здатністю для розрізнення пожежі та можливих завод. Після огляду зв'язку між моделлю Такагі-Сугено та сплайн-моделюванням автор показує, як можна розробити нечітку систему за допомогою методу кількох рішень на основі даних із застосуванням техніки вейвлетів.

У роботі [28] для розробки триканального інфрачервоного сповіщувача полум'я використано вдосконалену самоорганізовану радіальну базисну функцію нейронної мережі, що інтегрує нечіткість Такагі-Сугено. Результати дослідження показують, що сповіщувач розпізнає інфрачервоне випромінювання від пожежі та завод, спричинених зовнішніми джерелами.

Попри те, що згідно з дослідженням та UFC 4-211-01 [6] для захисту ангарів повинні використовуватися багатоспектральні ПС полум'я, на сьогодні з'явилися нові технології виявлення загорання. Вихід за рамки традиційних СПС з ПС полум'я дає змогу покращити ефективність роботи системи шляхом зменшення часу виявлення загорання і ймовірності помилкового спрацювання. Багатоспектральний ПС полум'я донедавна вважався найкращим ПС для забезпечення пожежної безпеки ангарів і наразі він є домінуючим. Однак, на сьогодні він не є найкращим для усіх випадків застосувань і не може задовільнити усі вимоги, які висуваються до СВП.

Найбільш перспективним напрямком для раннього виявлення загорянь є використання СВП на основі комп'ютерного зору з використанням відеоаналітики, оскільки вони виявляють саме загорання, а не її ознаки. Так звані відеосистеми виявлення пожежі (далі – ВСВП). В основі відеоаналізу пожеж лежить процес розпізнавання початку загорання. Ця технологія візуального виявлення загорання, яка по суті використовує комп'ютерні програмні забезпечення для аналізу відеопотоків даних пропонує переваги над типовими СПС та набуває все більшого визнання та використання. Технології, які аналізують зображення, настільки точні, що можуть відрізнити дим від пари, полум'я пожежі від полум'я з реактивного двигуна. Вона найкращим чином підходить для захисту великих об'єктів і приміщень з високими стелями [32, 33].

ВСВП мають ряд переваг над традиційними СПС, включаючи швидке та надійне виявлення загорання в зонах з високим рівнем ризику

виникнення пожежі, дають можливість контролювати велику територію, приміщення з високими стелями, забезпечують ефективний захист у складних умовах тощо. Є можливість переглядати зображення з камер для підтвердження факту загорання. Дистанційний перегляд відеопотоку в реальному часі дає змогу персоналу швидко підтвердити або спростувати факт пожежі в разі спрацювання системи, визначити місце пожежі, ініціювати пуск або не допустити спрацювання системи пожежогасіння. Записані відеоподії можна переглянути та встановити походження і причину пожежі, причину помилкового спрацювання, щоб запобігти таким подіям в майбутньому. Це особливо корисно, враховуючи, що пожежі, як правило, знищують велику частину доказів того, як виникла пожежа та що її спричинило. Причини багатьох пожеж залишаються нез'ясованими на невизначений час просто через відсутність остаточних доказів.

Корпорація Schirmer Engineering отримала від компанії AxonX замовлення провести незалежне дослідження і перевірити технологію Fike Video Analytics пожежного відеосповіщувача (далі – ПВС) з іншими технологіями виявлення загорання. Дослідження включало 63 тести для порівняння ефективності та швидкості реагування ПВС, з точковими іонізаційним і фотоелектричним димовими ПС, лінійними тепловим та димовим ПС, а також аспіраційними ПС [34]. ВСВП виявляла пожежу в кожному випробуванні. В 61 із 63 тестів вона виявляла загорання. Аспіраційний ПС реагував на всі пожежі, але він реагував значно повільніше в усіх тестах, крім одного.

В ISO 7240-29:2017 [35] зазначено, що ПВС бувають трьох типів: типу А – димовий ПВС; тип В – ПВС полум'я; тип АВ – ПВС, який виявляє як дим, так і полум'я. Однак розробляються алгоритми роботи і проводяться дослідження, які дають змогу виявляти загорання за температурою повітря. Для захисту від проникнення пилу та води визначено два ступені захисту корпусу. Для сповіщувачів, придатних для встановлення в приміщенні або на відкритому просторі, визначено три діапазони температур навколишнього середовища.

Сьогодні пропонуються різні способи реалізації ВСВП, зокрема використання: програмно-серверної відеоаналітики (центральний аналізуючий комп'ютер), камер з вбудованими алгоритмами розпізнавання загорання (ПВС) і комбінованого рішення (розподілена відеоаналітика). Для захисту авіаційних ангарів можна використовувати як програмно-серверну відеоаналітику, так і СВП побудовану на ПВС.

Серверна відеоаналітика передбачає централізовану обробку відеоданих на сервері.

Як правило, програмне забезпеченням, яке встановлене на сервері, аналізує відеопотік від декількох стандартних камер, які вже встановлені на об'єкті разом із цифровим відеореєстратором для виявлення ознак пожежі. Основними перевагами серверної відеоаналітики є можливість комбінування алгоритмів відеоаналітики на одній апаратній платформі, висока точність роботи алгоритмів і широка сумісність з камерами. Головним недоліком такої відеоаналітики є необхідність безперервної передачі відео від джерела відеоданих на сервер, що створює навантаження на канали зв'язку. Також якщо, наприклад, відеореєстратор або програмне забезпечення виходить з ладу, вся система протипожежного захисту стає неефективною. Інша проблема полягає в тому, що не всі камери мають достатню роздільну здатність і вони зазвичай не підключаються вогнестійкими кабелями, а це означає, що система може не відповідати нормативним вимогам. Однак, в авіаційних ангарах вже можуть використовуватися камери для охорони з великою роздільною здатністю.

Другий спосіб побудови ВСВП полягає у використанні спеціальних камер – ПВС, із інтегрованими аналітичними алгоритмами з можливостями аналізу відеозображення. Процесор камери виконує додаткові функції, пов'язані з аналізом відео і передає результати разом з відеопотоком. Такі ПВС, зазвичай під'єднуються через IP-мережу до мережевого відеореєстратора, розташованого на станції моніторингу, де отримане зображення можна використовувати для цілей безпеки і безпосередньо до пожежного приймально-контрольного приладу (ППКП). Якщо камера виявляє пожежу, вона надсилає сигнал тривоги до ППКП так само, як і звичайний ПС. Головними перевагами такої відеоаналітики є висока відмовостійкість та зменшення навантаження на канали зв'язку і на сервер обробки відеоданих. У порівнянні з серверною відеоаналітикою, вбудована відеоаналітика збільшує в 10 разів ефективність використання каналів зв'язку і серверів. Оскільки ПВС встановлюються з урахуванням вимог протипожежного захисту, то для підключення до ППКП можна використовувати вогнестійкі кабелі. Недоліком є неможливість використання уже змонтованих камер, що значно впливає на вартість.

Розподілена відеоаналітика є гібридним рішенням між серверною і вбудованою відеоаналітикою, в якому обробка розподілена між джерелом відеоданих та центральним сервером. Наприклад, в системах багатокамерного стеження, виявлення події проводиться в джерелі відеоданих, а зіставлення результатів між кількома джерелами – на сервері.

Алгоритми виявлення загорання використо-

вують різні методи для визначення характеристик полум'я та диму та можуть базуватися на спектральних, просторових або часових властивостях; вони включають оцінку зміни кольорів, яскравості, контрасту, вмісту країв, руху, динамічних частот, а також узгодження візерунків і кольорів, обчислення ступеня інтенсивності тощо [36, 37]. Аналіз алгоритмів виявлення загорання потребує окремих досліджень.

Загальна чутливість ПВС залежить від візуального зображення і на неї можуть впливати фонові зображення, кольори стін і предметів, освітлення та діяльність в ангарі, кліматичні умови тощо. Розуміння та запобігання помилковим спрацюванням системи є ключовим елементом продуктивності ПВС через варіацію в алгоритмах сповіщувача. Місце встановлення впливає на продуктивність системи, залежно від виробника. Потенційними джерелами завад можуть бути рухомі об'єкти, зміни навколишнього освітлення, джерела тепла, пара, пил, забруднення лінз або конденсат тощо. Димові ПВС потребують мінімального рівня освітлення, щоб виявити дим та бути ефективними. Також, для підвищення чутливості можна використовувати інфрачервоні джерела світла або інфрачервоні чутливі камери [32]. Вони виявляють пожежу в основному за характеристиками диму, такими як форма, рух, колір і розмитість. ПВС полум'я виявляють пожежу на основі вимірювання енергії випромінювання або за характеристиками полум'я, такими як колір, форма, частота, хроматична аберація, інтенсивність полум'я тощо. Вони можуть виявити пожежі як при світлі, так і у темряві, але не можуть ефективно виявити тліючі пожежі, доки не з'явиться полум'я [38]. ПВС диму та полум'я можуть виявляти всі типи пожеж за характеристиками диму чи полум'я.

В роботі [32] автори для підвищення чутливості запропонували і досліджують нову ВСВП з ПВС полум'я/диму, який складається з кольорової камери, інфрачервоної камери та інфрачервоного джерела світла. Завдяки інфрачервоному джерелу світла ВСВП продемонструвала свою здатність працювати в різних складних умовах навколишнього середовища і виявляти різні типи пожеж. Кут огляду та положення камери ПВС мали суттєвий вплив на продуктивність ВСВП у виявленні невеликих прихованих пожеж. Однак в роботі запропонований ПВС не порівнювався з іншими типами ПВС, а наявність інфрачервоного джерела світла ускладнює його будову.

В роботі [18] автор зазначає, що продуктивність СВВП можна покращити за допомогою альтернативних технологій виявлення полум'я на основі використання ПВС. ПВС полум'я можуть виявляти загорання на більшій

відстані з меншою кількістю помилкових спрацювань, ніж багатоканальні ІЧ ПС полум'я, навіть якщо в них встановлено вищі параметри чутливості. Дані ПВС полум'я можуть забезпечити адекватне покриття великих ангарів з меншою кількістю сповіщувачів, що знижує початкові витрати та витрати на обслуговування.

У роботі [39] автор детально описує способи, за допомогою яких інтелектуальні ПВС полум'я можуть покращити продуктивність СВП шляхом зменшення кількості помилкових спрацювань. Результати моделювання, проведені для ангарів з моделями літаків, показали потенціал використання ПВС полум'я, щоб покращити продуктивність системи виявлення загорання та зменшення кількості сповіщувачів, необхідних для повного охоплення ангара. Автор оцінює площу, яку охоплює ПВС, і доходить висновку, що запропонований ПВС полум'я покриває більшу площу, на відміну від багатоспектрального ІЧ ПС полум'я, і його продуктивність вища. Однак в роботі не було проведено ґрунтовних досліджень щодо реагування ПВС на різні типи пожеж та у різних умовах експлуатації, як це було зроблено в роботах [32, 33] для захисту великих промислових об'єктів.

У роботі [22] автори стверджують, що ПВС полум'я не спрацьовують на сонячне світло та працюватимуть, поки сонце перебуває в межах їх видимості порівняно з багатоспектральними ІЧ ПС полум'я. Негативно впливати на роботу багатоспектрального ІЧ ПС полум'я може відбите сонячне світло, яке проникає в ангар через відкриті двері, від поверхні снігу та туману. ПВС полум'я можуть виявляти загорання крізь туман, дощ або сніг набагато краще ніж багатоспектральні ІЧ ПС полум'я та помилково не спрацьовувати від CO₂ вихлопів двигунів літаків.

Отже ПВС є чудовою альтернативою традиційним оптичним ПС полум'я. Основні переваги ПВС над оптичними ПС полум'я: вони не реагують на гарячі викиди CO₂, тому технологія не призводить до помилкового спрацювання через вихлопні гази реактивних двигунів або дизель-генераторів; відсутність десенсибілізації через сонячне світло, модульованого чи ні; не піддаються впливу сонячним променям, які відбиваються від снігу та туману; не піддаються впливу випромінювання чорного тіла, що випромінюється корпусом літака та службовими транспортними засобами; не піддаються впливу випромінювання від вже вимкнених реактивних двигунів літаків; не піддаються впливу електромагнітних випромінювань та радіочастот від авіоніки, наземних радарів аеропорту та різних пристроїв зв'язку; не піддаються впливу туману; не піддаються впливу світлових ефектів

зварювання/шліфування; їх робота не залежить від різних рівнів освітлення; можуть відрізнити полум'я пожежі від полум'я з реактивних двигунів; менше піддаються впливу бруду/заліза/маслянистих відкладень на лінзі; функція віддаленого перегляду дозволяє оперативному персоналу візуально підтвердити пожежу в разі спрацювання системи та активувати систему автоматичного пожежогасіння, або відмінити її пуск у разі помилкового спрацювання.

Ці переваги є достатнім аргументом на користь застосування ПВС для захисту авіаційних ангарів. Однак все ж таки існує ймовірність помилкового спрацювання ПВС. Хоча ризик значно менший. Усе залежить від розроблених алгоритмів виявлення загорання, які параметри та методи для визначення характеристик полум'я та диму використовуються. Усе це потребує додаткових досліджень.

Слід відмітити ще одну проблему використання ВСВП і ПВС, це наявність нормативної документації. Донедавна не було впроваджено жодної нормативно-технічної документації, яка б регламентувала їх використання. На пожежонебезпечних об'єктах або об'єктах з ризиком масової загибелі людей можна було використовувати дві системи: традиційну СПС та СПВС. ISO/TS 7240-29:2017 [28] став першою платформою для міжнародного визнання єдиної специфікації. Розробка і випуск ISO 7240-29 дав змогу впровадити нові технології для підвищення пожежної безпеки об'єктів і значно розширити можливості використання ПВС. Міжнародна прийнята специфікація сьогодні є вкрай необхідною. На жаль, без опублікованого комплексного міжнародного стандарту не можна було широко використовувати ВСВП і сприймати їх як повноцінну СПС. Новий ISO/TS 7240-29 надав можливість власникам і страховим компаніям застосовувати міжнародні узгоджені показники продуктивності ПВС. Наявність технічної специфікації дає користувачам і проєктантам можливість використовувати ПВС у системах протипожежного захисту.

Підкомітет ISO визнає, що міжнародний стандарт не дає відповіді на усі запитання, а дає змогу цій галузі розвиватися і впроваджувати уже давно розроблені науковцями алгоритми розпізнавання пожеж. На низку запитань ще потрібно знайти відповіді і цього найкраще можна досягти шляхом отримання практичного досвіду у цій галузі за допомогою цього стандарту та проведення необхідних досліджень.

В Україні у липні 2022 року був прийнятий національний стандарт ДСТУ ISO/TS 7240-29:2022 [29], який розроблений на основі міжнародного стандарту ISO 7240-29:2017 [35] і поки що це єдиний нормативний документ, який діє в Україні і

дає можливість використовувати ПБС. Він визначає вимоги, методи випробування та критерії ефективності ПБС, які працюють у видимому спектрі, для використання в СПС, встановлених у будівлях та зовні. Для випробування інших типів ПБС, що працюють на інших принципах, цей документ можна використовувати лише як рекомендаційний. ДСТУ ISO/TS 7240-29:2022 не поширюється на ПБС, які розроблені для захисту від конкретних ризиків із спеціальними характеристиками, включаючи додаткові функції. В цьому стандарті нічого не сказано про проектування, монтування, введення в експлуатацію та вимоги до обслуговування ВСВП. Усе це викладено в нормативному документі ISO/TS 7240-30:2020 [41], який поки що не прийнятий в Україні. Цей документ визначає мінімальні вимоги до встановлення ВСВП з використанням обладнання, що відповідає стандарту ISO/TS 7240-29:2017.

Національний кодекс пожежної сигналізації (США) NFPA 72 [3] дає можливість використання СПБС полум'я та диму. Розділ 17.7.8 NFPA 72 від 2022 року встановлює вимоги до димових ПБС, а розділ 17.8.5 – ПБС полум'я. Технології ПБС полум'я та диму визнані національною асоціацією протипожежного захисту разом із іншими типами сповіщувачів. Встановлення цих систем вимагає проектування, заснованого на продуктивності. Через варіативність можливостей СПБС і відмінності в технологіях алгоритмів сигналізації, NFPA 72 вимагає, щоб системи перевірялися, тестувалися та обслуговувалися відповідно до опублікованих інструкцій виробника. Проблеми з надійністю системи можуть виникнути через зміну навколишнього освітлення, потоку повітря, використання в різних приміщеннях та вплив неочікуваних факторів. СПБС слід дуже ретельно контролювати, щоб забезпечити правильну роботу в кожному конкретному випадку.

Що стосується ВСВП та ПБС, то також є стандарти:

- FM 3232 [42] – який містить вимоги до роботи ПБС та ВСВП для забезпечення захисту людей, простору будівлі, конструкції, зони чи об'єкта та призначені для виявлення продуктів горіння в конкретному місці.

- UL 268B [43] – використовує UL 268 і містить додаткові вимоги для оцінки димових ПБС відповідно до NFPA 72;

- CNPP LPMES DEC 18 005 [44] – це французька технічна специфікація, яка визначає мінімальні технічні вимоги до ВСВП диму та/або полум'я.

Стандарти UL, і FM Approvals визначають комплексні методи оцінки, але дають змогу виробнику вирішувати конфігурацію оцінки, а

також вимог. Тому важливо розуміти обмеження конфігурації під час виконання тестів.

В Україні необхідно провести значну роботу щодо розроблення власних стандартів, які стосуються виробництва і використання ПБС та узгодження їх з міжнародними.

Висновки

1. Точкові теплові і димові ПС не використовуються для захисту авіаційних ангарів. Великі відкриті зони з великою висотою не дозволяють їм виявити загорання на ранній стадії її розвитку. Висота літаків та стратифікація можуть перешкоджати використанню лінійних димових ПС. На сьогодні, щодо використання аспіраційних системи для захисту авіаційних ангарів дослідження не проводилися.

2. Згідно з проведеними дослідженнями та стандартами для захисту як цивільних, так і військових ангарів в СПС необхідно використовувати оптичні ПС полум'я. Проведені дослідження показали, що ПС полум'я з трьома ІЧ-сенсорами забезпечує найкращий результат розпізнавання пожежі в широкому діапазоні проведених тестових сценаріїв пожеж. В UFC 4-211-01 говориться про використання лише триспектральних ІЧ ПС полум'я. І хоча багатоспектральні ІЧ ПС полум'я мають багато переваг, вони мають і певні ключові недоліки, головним чином пов'язані з помилковими спрацюваннями від джерел завад, не пов'язаних з реальними пожежами. При виборі СВП необхідно керуватися не лише чинними на сьогодні будівельними нормами, а і інженерними та науковими дослідженнями, проведеними кваліфікованими спеціалістами в даній області.

3. Ризики, пов'язані з використанням традиційних оптичних ПС полум'я, демонструють потребу в розробці більш ефективних СВП з меншим ризиком помилкового спрацювання. Одним із перспективних способів підвищення надійності та зменшення часу виявлення загорання є використання високоінтелектуальних ПС полум'я, побудованих на основі нечіткої логіки, нейронної мережі та нечіткої нейронної мережі. Іншим перспективним напрямком для раннього виявлення загорянь є використання ПБС і побудова на їх основі ВСВП. Проведені дослідження для захисту інших об'єктів показали, що пожежні відеосповіщувачі виявляли пожежу майже в кожному випробуванні порівняно із іншими типами ПС.

4. Використання ПБС є чудовою альтернативою заміни традиційної СПС з ПС полум'я. Основні переваги ПБС над оптичними ПС полум'я: вони не реагують на гарячі викиди CO₂; відсутність десенсибілізації через сонячне світло; не піддаються впливу сонячних променів, які

відбиваються від снігу та туману; не піддаються впливу випромінювання чорного тіла; не піддаються впливу випромінювання від вже вимкнених реактивних двигунів літаків; не піддаються впливу електромагнітного випромінювання; не піддаються впливу туману; не піддаються впливу світлових ефектів зварювання/шліфування; їх робота не залежить від різних рівнів освітлення; менше піддається впливу бруду/заліза/маслянистих відкладень на лінзі; функція віддаленого перегляду дає змогу оперативному персоналу візуально підтвердити пожежу в разі спрацювання системи та активувати системи автоматичного пожежогасіння, або відмінити її пуск у разі помилкового спрацювання. Усі ці переваги є достатнім аргументом на користь застосування ПВС для захисту авіаційних ангарів.

5. Для забезпечення ефективного захисту авіаційних ангарів та літаків за допомогою ПВС необхідно провести додаткові дослідження, які дозволять відповісти на питання щодо швидкості виявлення загорання, ймовірності помилкових спрацювань від різних завод, а також місця його встановлення. Слід відмітити ще одну проблему використання ПВС, це відсутність в повній мірі необхідної нормативної документації. Міжнародні стандарти не дають відповіді на усі запитання щодо проектування і використання ПВС. На низку запитань ще потрібно знайти відповіді і цього найкраще можна досягти шляхом отримання практичного досвіду у цій галузі та проведення необхідних досліджень з врахуванням специфіки об'єкта.

Список літератури:

1. NFPA 409. Standard on Aircraft Hangars. Quincy, MA: National Fire Protection Association, 2022.
2. NAS3306. Facility requirements for aircraft operations. Revision 4, May 29, 2020.
3. NFPA 72. National Fire Alarm and Signaling Code. Quincy, MA: National Fire Protection Association, 2022.
4. Mellon M. Understanding NFPA 409: Fire Suppression for Aircraft Hangars. Sep 10, 2022. vanguard-fire.com/understanding-nfpa-409-fire-suppression-for-aircraft-hangars/
5. Air Force Technical Letter ETL 02-15. Fire Protection Engineering Criteria – New Aircraft Facilities. Dec 3, 2002.
6. UFC 4-211-01. Aircraft Maintenance Hangars, with Change 3. April 20, 2021.
7. Robert M. Gagnon. Design of Special Hazard and Fire Alarm Systems. August 17, 2007. 560 p.
8. Joseph L. Scheffey, Allison J. Wakelin, Joseph E. Gott, Robert J. Tabet, and Frederick W. Williams. Aircraft Hangar Fire Suppression System Design Study. Navy Technology Center for Safety and Survivability Washington DC, June 16, 2000. 88 p.
9. Aircraft hangar fire threat study and analysis. / Wells, S. P., et al. Air Force Research Lab Tyndall AFB FL Materials and Manufacturing Directorate, December 1, 1997. 60 p. doi:10.21236/ada344628
10. Kim, Andrew K., and George P. Crampton. Application of a Newly-developed compressed-air-foam fire suppression system. Interflam : proceedings of the ninth international conference, Edinburgh, 17 September 2001, Edinburgh, UK Proceedings, 2001. P. 1219-1224.
11. Liane Ozmun, and Gene Brown. Aircraft Hangar Fire Suppression. July 2020. 9 p. fsb-ae.com/wp-content/uploads/2020/08/Fire-Protection-SME-2020-FINAL.pdf
12. Jim Milke, and Jack Poole. Performance Criteria for Aircraft Hangar Fire Protection Systems. USA, 2022. 79 p. www.nfpa.org/-/media/Files/News-and-Research/Fire-statistics-and-reports/Suppression/RFHangerFPS.pdf
13. ДБН В.2.5-56:2014. Інженерне обладнання будинків і споруд. Системи протипожежного захисту. Зі зміною № 1. Офіц. Вид. К. : Мінрегіон України, 2019. 97 с.
14. ДСТУ CEN/TS 54-14:2021. Системи пожежної сигналізації та оповіщення. Частина 14. Настанови щодо побудови, проектування, монтування, пусконаладжування, введення в експлуатацію, експлуатування та технічного обслуговування (CEN/TS 54-14:2018, IDT). Вид. офіц. Київ : ДП “УкрНДНЦ”, 2021. 81 с
15. Iyaghigba, Samuel David, and Comfort Sunday Ayhok. Hangar fire detection alarm with algorithm for extinguisher. Global Journal of Engineering and Technology Advances. 2021 Vol. 7, No 01. P. 144-155. doi:10.30574/gjeta.2021.7.1.0057
16. Frederick J. Tanis Jr. Life Safety and Fire Analysis – Aircraft Hangar. California : California Polytechnic State University, 2018. 170 p. digitalcommons.calpoly.edu/cgi/viewcontent.cgi?params=/context/fpe_rpt/article/1094/&path_info=Tanis_Final_Report_2018_06_13.pdf
17. Інтернет – ресурс: firepro.com.ua/uk/obladnannya/aspiracijnij-dimovij-pozhezhnij-spovishhuvach-vesda
18. William Pittman. Flame detection through the use of 3D mapping to aircraft hangars. First part article. GULF Fire. 2020. P. 73-76. prodetec.com.au/wp-content/uploads/2020/06/GF17_Pittman_v3.pdf
19. D.T. Gottuk, J.L. Scheffey, F.W. Williams, J.E. Gott, and R.J. Tabet. Optical Fire Detection (OFD) for Military Aircraft Hangars: Final Report on OFD Performance to Fuel Spill Fires and Optical Stresses. Naval Research Laboratory. Washington. 2000. 341 p.
20. MJL-HDBK-1008C. Military Handbook,

Fire Protection for Facilities Engineering, Design, and Construction. Department of the Navy. Washington, DC, 10 June 1997.

21. McNay James. Desensitisation of optical based τ flame detection in harsh offshore environments. *International Fire Professional*. July 2014. No. 9. P. 12-14.

22. William Pittman, and James McNay. Applying Intelligent Visual Flame Detection in Military Aircraft Hangars. 10 p. etapii.com/wp-content/uploads/Draeger-Flame-detection-in-aircraft-hangers.pdf

23. Andrii Kushnir, Bohdan Kopchak, and Vira Oksentyuk. Development of Heat Detector Based on Fuzzy Logic Using Arduino Board Microcontroller. 2023 IEEE 17th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM), Poland, Jaroslaw, February 2023. P. 1-5. doi:10.1109/CADSM58174.2023.10076536

24. Uduak Umoh, Udoinyang G. Inyang, and Emmanuel E. Nyoho. Interval Type-2 Fuzzy Logic for Fire Outbreak Detection. *International Journal on Soft Computing, Artificial Intelligence and Applications (IJSCAI)*. August 2019. Vol. 8, No.3. P. 27-46. doi:10.5121/ijscai.2019.8303

25. Andrii Kushnir, and Bohdan Kopchak. Development of Multiband Flame Detector with Fuzzy Correction Block. 2021 IEEE XVII International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH), Polyana, Ukraine, May 2021, P. 58-63. doi:10.1109/MEMSTECH53091.2021.9468075

26. A. E. Çetin, B. Merci, O. Gunay, B. U. Toreyin, and S. Verstockt. Infrared Sensor-Based Flame Detection. *Methods and Techniques for Fire Detection: Signal, Image and Video Processing Perspectives*. 2016, pp. 47-59. doi:10.1016/B978-0-12-802399-0.00003-X

27. M. Thuillard. A new flame detector using the latest research on flames and fuzzy-wavelet algorithms. *Fire Safety Journal*. Vol. 37, Iss. 4, 2002. P. 371-380. doi:10.1016/S0379-7112(01)00056-X

28. Ziteng Wen, Linbo Xie, Hongwei Feng, Yong Tan. Infrared flame detection based on a self-organizing TS-type fuzzy neural network. *Neurocomputing*. Vol. 337. 2019. P. 67-79. doi:10.1016/j.neucom.2019.01.045

29. Junjie Zhang, Ziyang Ye, and KaiFeng Li. Multi-sensor information fusion detection system for fire robot through back propagation neural network. *PLoS ONE*. Jul. 2020. Vol. 15, No. 7, Art. no. e0236482. doi:10.1371/journal.pone.0236482

30. Yang Feng, Qu Na, and Li Chao. Compound Fire Detection Algorithm Based on Fuzzy Neural Network. *Proceedings of the 2017 2nd International Conference on Machinery, Electronics and Control Simulation (MECS 2017)*, Taiyuan, China, 24-25 June, 2017. doi:10.2991/mecs-17.2017.133

31. O. S. da Penha, and E. F. Nakamura. Fusing light and temperature data for fire detection. *The IEEE*

symposium on Computers and Communications, Riccione, Italy, 22-25 June 2010. P. 107-112. doi:10.1109/ISCC.2010.5546519

32. Zhigang Liu, George Hadjisophocleous, Guofeng Ding, and Choon Siong Lim. Study of a Video Image Fire Detection System for Protection of Large Industrial Applications and Atria. *Fire Technology*. Vol. 48. 2012. P. 459-492. doi:10.1007/s10694-011-0237-6

33. Daniel T. Gottuk, and Joshua B. Dinaburg. Video Image Detection and Optical Flame Detection for Industrial Applications. *Fire Technology*. Vol. 49. 2013. P. 213-251. doi:10.1007/s10694-012-0254-0

34. Video image detection. Comparative testing of various detection technologies. SEC Project No. 1810001-000. February 11, 2010. 33 p. Ел. ресурс: getzfire.com/wp-content/uploads/2020/09/SigniFire-White-Paper.pdf

35. ISO/TS 7240-29:2017. Fire detection and alarm systems – Part 29: Video fire detectors.

36. A. E. Gunawaardena, R. M. M. Ruwanthika, and A. G. B. P. Jayasekara. Computer Vision Based Fire Alarming System. *Moratuwa Engineering Research Conference (MERCon)*. 05-06 April 2016, Moratuwa, Sri Lanka, 2016. P. 325-330. doi:10.1109/MERCon.2016.7480162

37. Кушнір А. П., Копчак Б. Л. Створення алгоритму автоматичного виявлення полум'я на основі комп'ютерного зору з використанням програмного середовища MATLAB. *Пожежна безпека: Збірник наукових праць*. Львів: ЛДУ БЖД, 2020. №36. С. 49-58. doi:10.32447/20786662.36.2020.05

38. Gottuk, D. Video Image Detection Systems Installation Performance Criteria Research Project. *Fire Protection Research Foundation*. October 2008. doi:10.1007/978-1-4614-4202-8

39. William Pittman. Flame detection through the use of 3D mapping to aircraft hangars. Part 2. *Gulf Fire*. January 2020. P. 50-54. prodetec.com.au/wp-content/uploads/2020/06/GF18_Pittman_v2.pdf

40. ДСТУ ISO/TS 7240-29:2022. Системи пожежної сигналізації та оповіщення. Частина 29. Пожежні відеосповіщувачі (ISO/TS 7240-29:2017, IDT)

41. ISO/TS 7240-30:2022. Fire detection and alarm systems – Part 30: Design, installation, commissioning and service of video fire detector systems.

42. FM Approvals Standard 3232. Video Image Fire Detectors for Automatic Fire Alarm Signaling.

43. UL Standard 268B. Outline of Investigation for Video Image Smoke Detectors.

44. CNPP LPMES DEC 18 005. Référentiel pour l'évaluation des systèmes de détection de fumées et/ou de flammes par analyse d'image. www.cnpp.com/

References:

1. NFPA 409. (2022). Standard on Aircraft Hangars. Quincy, MA: National Fire Protection Association, 2022.

2. NAS3306. (2020). Facility requirements for aircraft operations. Revision 4.
3. NFPA 72. (2022). National Fire Alarm and Signaling Code. Quincy, MA: National Fire Protection Association.
4. Mellon M. (2022). Understanding NFPA 409: Fire Suppression for Aircraft Hangars. vanguard-fire.com/understanding-nfpa-409-fire-suppression-for-aircraft-hangars/
5. Air Force Technical Letter ETL 02-15. (2002). Fire Protection Engineering Criteria – New Aircraft Facilities.
6. UFC 4-211-01. (2021). Aircraft Maintenance Hangars, with Change 3.
7. Robert M. (2007). Gagnon. Design of Special Hazard and Fire Alarm Systems.
8. Joseph L. Scheffey, Allison J. Wakelin, Joseph E. Gott, Robert J. Tabet, and Frederick W. Williams. (2000). Aircraft Hangar Fire Suppression System Design Study. Navy Technology Center for Safety and Survivability Washington DC.
9. S.P. Wells, K.S. Cozart, M.B. Mitchell, and R.D. Dodsworth. (1997). Aircraft hangar fire threat study and analysis. Air Force Research Lab Tyndall AFB FL Materials and Manufacturing Directorate. doi:10.21236/ada344628
10. Kim, Andrew K., and George P. Crampton. (2001). “Application of a Newly-developed compressed-air-foam fire suppression system”. *Interflam : proceedings of the ninth international conference, Edinburgh, UK Proceedings, September 17, 2001.* pp. 1219-1224.
11. Liane Ozmun, and Gene Brown. (2020). Aircraft Hangar Fire Suppression. fsb-ae.com/wp-content/uploads/2020/08/Fire-Protection-SME-2020-FINAL.pdf
12. Jim Milke, and Jack Poole. (2022). Performance Criteria for Aircraft Hangar Fire Protection Systems. USA. www.nfpa.org/-/media/Files/News-and-Research/Fire-statistics-and-reports/Suppression/RFHangarFPS.pdf
13. SBR B.2.5-56:2014. Inzhenerne obladnannia budynkiv i sporud. Systemy protypozhezhnoho zakhystu. Zi zminoiu № 1. [Engineering equipment of buildings and structures. Fire protection systems. With change No. 1]. Kyiv : Ministry of the Region of Ukraine, 2019. p. 97.
14. CEN/TS 54-14:2018. Fire detection and fire alarm systems – Part 14: Guidelines for planning, design, installation, commissioning, use and maintenance/
15. Iyaghigba, Samuel David, and Comfort Sunday Ayhok. (2021). “Hangar fire detection alarm with algorithm for extinguisher”. *Global Journal of Engineering and Technology Advances*, vol. 7, No 01, pp. 144-155. doi:10.30574/gjeta.2021.7.1.0057
16. Frederick J. Tanis Jr. (2018). Life Safety and Fire Analysis – Aircraft Hangar. California : California Polytechnic State University. digitalcommons.calpoly.edu/cgi/viewcontent.cgi?params=/context/fpe_rpt/article/1094/&path_info=Tanis_Final_Report_2018_06_13.pdf
17. Available at: firepro.com.ua/uk/obladnannya/aspiracijnij-dimovij-pozhezhnij-spovishhuvach-vesda
18. William Pittman. (2020). “Flame detection through the use of 3D mapping to aircraft hangars. First part article”. *GULF Fire*, pp. 73-76. prodetec.com.au/wp-content/uploads/2020/06/GF17_Pittman_v3.pdf
19. D.T. Gottuk, J.L. Scheffey, F.W. Williams, J.E. Gott, and R.J. Tabet. (2000). Optical Fire Detection (OFD) for Military Aircraft Hangars: Final Report on OFD Performance to Fuel Spill Fires and Optical Stresses. Naval Research Laboratory. Washington.
20. MJL-HDBK-1008C. (1997). Military Handbook, Fire Protection for Facilities Engineering, Design, and Construction. Department of the Navy. Washington, DC.
21. McNay James. (2014). “Desensitisation of optical based flame detection in harsh offshore environments”. *International Fire Professional*, no. 9. pp. 12-14.
22. William Pittman, and James McNay. Applying Intelligent Visual Flame Detection in Military Aircraft Hangars. etapii.com/wp-content/uploads/Draeger-Flame-detection-in-aircraft-hangers.pdf
23. Andrii Kushnir, Bohdan Kopchak, and Vira Oksentyuk. (2023). “Development of Heat Detector Based on Fuzzy Logic Using Arduino Board Microcontroller”. 2023 IEEE 17th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM), Poland, Jaroslaw, February 2023, pp. 1-5. doi:10.1109/CADSM58174.2023.10076536
24. Uduak Umoh, Udoinyang G. Inyang, and Emmanuel E. Nyoho. (2019). “Interval Type-2 Fuzzy Logic for Fire Outbreak Detection”. *International Journal on Soft Computing, Artificial Intelligence and Applications (IJSCAI)*, vol. 8, no.3. pp. 27–46. doi:10.5121/ijscai.2019.8303
25. Andrii Kushnir, and Bohdan Kopchak. (2021). “Development of Multiband Flame Detector with Fuzzy Correction Block”. 2021 IEEE XVII International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH), Polyana, Ukraine, May 2021, pp. 58-63. doi:10.1109/MEMSTECH53091.2021.9468075
26. A. E. Çetin, B. Merci, O. Gunay, B. U. Toreyin, and S. Verstockt. (2016). “Infrared Sensor-Based Flame Detection,” *Methods and Techniques for Fire Detection: Signal, Image and Video Processing Perspectives*, pp. 47-59. doi:10.1016/B978-0-12-802399-0.00003-X
27. M. Thuillard. (2002). “A new flame detector using the latest research on flames and fuzzy-wavelet

algorithms”. *Fire Safety Journal*, vol. 37, iss. 4, pp. 371-380. doi:10.1016/S0379-7112(01)00056-X

28. Ziteng Wen, Linbo Xie, Hongwei Feng, Yong Tan. (2019). “Infrared flame detection based on a self-organizing TS-type fuzzy neural network”. *Neurocomputing*, vol. 337, pp. 67-79. doi:10.1016/j.neucom.2019.01.045

29. J unJie Zhang, ZiYang Ye, and KaiFeng Li. (2020). “Multi-sensor information fusion detection system for fire robot through back propagation neural network”. *PLoS ONE*, vol. 15, no. 7, Art. no. e0236482. doi:10.1371/journal.pone.0236482

30. Yang Feng, Qu Na, and Li Chao. (2017). “Compound Fire Detection Algorithm Based on Fuzzy Neural Network”. *Proceedings of the 2017 2nd International Conference on Machinery, Electronics and Control Simulation (MECS 2017)*, Taiyuan, China, 24-25 June, 2017. doi:10.2991/mecs-17.2017.133

31. O. S. da Penha, and E. F. Nakamura. (2010). “Fusing light and temperature data for fire detection”. *The IEEE symposium on Computers and Communications*, Riccione, Italy, 22-25 June 2010, pp. 107-112. doi: 10.1109/ISCC.2010.5546519

32. Zhigang Liu, George Hadjisophocleous, Guofeng Ding, and Choon Siong Lim. (2012). “Study of a Video Image Fire Detection System for Protection of Large Industrial Applications and Atria”. *Fire Technology*, vol. 48, pp. 459–492. doi:10.1007/s10694-011-0237-6

33. Daniel T. Gottuk, and Joshua B. Dinaburg. (2013). “Video Image Detection and Optical Flame Detection for Industrial Applications”. *Fire Technology*, vol. 49, pp. 213–251. doi:10.1007/s10694-012-0254-0

34. Video image detection. Comparative testing of various detection technologies. SEC Project No. 1810001-000. February 11, 2010. 33 p. Ел. ресурс: getzfire.com/wp-content/uploads/2020/09/SigniFire-White-Paper.pdf

35. ISO/TS 7240-29:2017. Fire detection and alarm systems – Part 29: Video fire detectors.

36. A. E. Gunawaardena, R. M. M. Ruwanthika, and A. G. B. P. Jayasekara. (2016). “Computer Vision Based Fire Alarming System”. *Moratuwa Engineering Research Conference (MERCon)*, Moratuwa, Sri Lanka, April 05-06, 2016. P. 325-330. doi:10.1109/MERCon.2016.7480162

37. A. P. Kushnir, and B. L. Kopchak. (2020). “Development of computer vision-based automatic flame detection algorithm using matlab software environment MATLAB”. *Fire Safety*, no. 36, pp. 49-58. doi:10.32447/20786662.36.2020.05

38. Gottuk, D. (2008). *Video Image Detection Systems Installation Performance Criteria Research Project*. Fire Protection Research Foundation. doi:10.1007/978-1-4614-4202-8

39. William Pittman. (2020). “Flame detection through the use of 3D mapping to aircraft hangars. Part 2”. *Gulf Fire*, pp. 50-54. prodetec.com.au/wp-content/uploads/2020/06/GF18_Pittman_v2.pdf

40. DSTU ISO/TS 7240-29:2022. Systemy pozheznoi syhnalizatsii ta opovishchuvannia. Chastyna 29. Pozhezni videospovishchuvachi [Fire detection and alarm systems – Part 29: Video fire detectors] (ISO/TS 7240-29:2017, IDT)

41. ISO/TS 7240-30:2022. Fire detection and alarm systems – Part 30: Design, installation, commissioning and service of video fire detector systems.

42. FM Approvals Standard 3232. *Video Image Fire Detectors for Automatic Fire Alarm Signaling*.

43. UL Standard 268B. *Outline of Investigation for Video Image Smoke Detectors*.

44. CNPP LPMES DEC 18 005. Référentiel pour l'évaluation des systèmes de détection de fumées et/ou de flammes par analyse d'image. www.cnpp.com/.

© I. А. Оношко, А. П. Кушнір,
С. Я. Вовк, В. А. Кобко, 2023.

Оглядова стаття.

Надійшла до редакції 26.10.2023.

Прийнято до публікації 06.12.2023.