

УДК (354.404+614.84):528.835.042.6

## ОБҐРУНТУВАННЯ ВИМОГ ДО ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАСОБІВ ВЕДЕННЯ РОЗВІДКИ ПОЖЕЖ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

С.П. Мосов<sup>1</sup>, д-р. військ. наук, проф., С.А. Станкевич<sup>2</sup>, д-р. техн. наук, доц., С.М. Чумаченко<sup>3</sup>,

д-р. техн. наук, ст. наук. співр.

<sup>1</sup>Черкаський інститут пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗУ

<sup>2</sup>Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГННАН України

<sup>3</sup>Український науково-дослідний інститут цивільного захисту, Україна

### ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ

Надійшла до редакції: 18.04.2017  
Пройшла рецензування: 15.05.2017

### КЛЮЧОВІ СЛОВА:

пожежа, засіб ведення розвідки, безпілотні літальні апарати, аерознімальна апаратура

### АНОТАЦІЯ

У статті описано порядок обґрунтування вимог до технічних характеристик засобів ведення повітряної розвідки пожеж, що встановлюються на безпілотних літальних апаратах, у видимому та інфрачервоному діапазонах спектра в інтересах оперативного виконання завдань розвідки пожеж і місць їх імовірного виникнення

**Постановка проблеми.** Існуючі системи аерознімання з борту безпілотних літальних апаратів (далі – БПЛА) як правило створювалися без урахування специфічних вимог, що пред'являються до дистанційного виявлення осередків займання та пожеж, і тому вони не завжди є ефективними для вирішення цього завдання. Задоволення науково обґрунтованим вимогам до бортової аерознімальної апаратури БПЛА потенційно спроможне підвищити повноту і достовірність виявлення пожеж, особливо прихованих типу торф'яних, та забезпечити більш глибоку автоматизацію обробки матеріалів аерознімання в інтересах розвідки пожеж.

**Аналіз останніх досягнень і публікацій.** Ведення розвідки пожеж за допомогою БПЛА має певні переваги над традиційними засобами – наземними та повітряними, з борта літаків і вертольотів, що підтверджує існуючий світовий досвід. Окрім високої економічної ефективності (здешевлення у десятки разів), БПЛА забезпечують додаткові переваги при веденні розвідки пожеж [1, 2]:

- маловисотність – можливість виконувати знімання з висот від 10 до 200 метрів для одержання зображень надвисокої розрізненості;
- точковість – можливість детального знімання невеликих об'єктів і ділянок там, де отримати зображення іншими способами не рентабельно або технічно неможливо, наприклад, в умовах міської забудови;
- мобільність – спроможність обходитися без аеродромів або спеціально підготовлених злітних майданчиків; БПЛА легко

транспортуються легковими автомобілями (а деякі переносяться вручну);

- відсутність складної процедури дозволів і узгодження польотів для БПЛА вагою до 20 кг;
- висока оперативність – повний цикл застосування, від виїзду в район події до отримання документальних результатів, займає одиниці годин.

Різні об'єкти аерознімання мають неоднакові енергетичні та спектральні відбивні й випромінювальні характеристики, відрізняються своїми геометричними розмірами і формою, характером змін у часі та просторі. Безумовно, ці особливості об'єктів мають враховуватися при виборі аерознімальної системи. При цьому, у першу чергу, розглядаються такі характеристики [2, 5]:

- спектральний діапазон, в якому виявляються об'єкти спостереження;
- потрібна детальність реєстрації зображень об'єктів;
- необхідні радіометрична розрізненість і динамічний діапазон яскравостей об'єктів;
- площа (геометричні розміри) сцени – ділянки земної поверхні, яка буде зніматися;
- задана оперативність – максимально припустимий час з моменту надходження завдання на аерознімання до надання інформації про об'єкти.

Ще одним чинником, який треба враховувати при аналізі системи розвідки та спостереження, є тип аерознімальної апаратури. Внаслідок складності формування аерозображення, перш за все в різних робочих

\*E-mail: s\_chum@ukr.net

діапазонах електромагнітного спектру, дотепер не вдається сконструювати універсальну аерознімальну апаратуру. Тому для одержання інформації про земну поверхню та поточний стан об'єктів сцени на безпілотних носіях на сьогоднішній день встановлюють оптико-електронні, інфрачервоні, лазерні і радіолокаційні системи моніторингу земної поверхні [6, 7].

Для об'єктивного оцінювання можливостей виявлення та розпізнавання об'єктів за матеріалами аерознімання при застосуванні безпілотної розвідувальної системи використовуються різні розрахункові моделі та методи: енергетичні, різкісні, просторово-частотні, інформаційні [8].

**Постановка завдання та його розв'язання.** Метою статті є розробка підходів до визначення вимог до складу та орієнтовних технічних характеристик безпілотних авіаційних систем, які можуть застосовуватися для оперативного виконання завдань розвідки пожеж і місць їх імовірного виникнення.

**Виклад основного матеріалу.** Останнім часом малогабаритні БПЛА знаходять все більш широке застосування для повітряного моніторингу різноманітних об'єктів, в тому числі в сфері пожежної безпеки. Застосування БПЛА для дистанційного зондування пожеж і місць їх ймовірного виникнення є новим і перспективним напрямком як для нашої країни, так і для провідних країн світу. Мають місце чисельні приклади застосування БПЛА для вирішення локальних завдань, пов'язаних з дистанційним зондуванням пожеж чи можливих місць їх виникнення, а також приклади моніторингу ситуації під час гасіння пожеж.

Одним із перспективних підходів до вирішення завдання щодо формування вимог до ТТХ безпілотних авіаційних комплексів (БПАК) є підхід, який активно розвивається при розв'язанні завдань системного передбачення і який отримав назву сценарного підходу [22-25].

Метод сценаріїв знайшов широке розповсюдження у світі при розробці управлінських рішень завдяки тому, що надає можливість оцінити найбільш ймовірний хід розвитку подій і можливі наслідки ухвалюваних рішень.

Термін сценарій розглядається нами як відносна картина можливого розвитку подій при пожежі на ПС та відповідно до нього вибір типів БПАК і способів їх застосування. Сценарії розвитку типових пожеж, що розробляються фахівцями, дозволяють з тим або іншим рівнем достовірності визначити

можливі тенденції та напрямки розвитку БПАК для цієї сфери, взаємозв'язки між зовнішніми та внутрішніми чинниками їх розвитку, сформувані картину можливих станів пожежі та особливості застосування в них БПАК під впливом тих або інших чинників.

Сценарій повинен давати послідовні відповіді на такі питання:

як саме, крок за кроком, може виникати й розвиватись та чи інша гіпотетична пожежа;

які альтернативні типи БПАК з конкретними ТТХ потрібно застосовувати на кожному етапі розвитку подій для того, щоб ефективно вплинути на даний процес;

які ефективні методи повітряного спостереження та моніторингу потрібно реалізувати тим чи іншим типом БПЛА при пожежі на ПС.

Технології сценарного підходу, в нашому випадку, спрямовані на розв'язання п'яти основних проблем:

виділення ключових моментів розвитку пожежі і розробки на цій основі варіантів її динаміки;

комплексний аналіз і оцінка кожного із отриманих варіантів, вивчення їх особливостей і можливих наслідків реалізації;

вибір відповідного типу БПАК для реалізації поставлених завдань;

вибір відповідного типу БПЛА з відповідними ТТХ;

вибір із множини варіантів їх застосування оптимального за ресурсно-часовими критеріями.

В результаті застосування запропонованих схем та їх аналізу можна отримати різні варіанти конкретних сценаріїв поточного стану і перспектив розвитку обраної моделі складної системи БПАК.

Основні методи генерації сценаріїв прийнято поділяти на неформальні, формалізовані і частково-формалізовані. До неформальних відносяться методи побудови сценаріїв з пріоритетним використанням думки експертів. До формалізованих відносяться методи генерації сценаріїв, що базуються на автоматичній або автоматизованій процедурі. До частково-формалізованих відносяться схеми формалізованої побудови дерева подій пожежі, що корегуються за допомогою експертних оцінок.

В нашому випадку у типовий сценарій включаються:

техногенна складова – джерела небезпеки виникнення пожежі;

природно-техногенна підсистема – повітря, поверхневі води, ґрунти, інженерна інфраструктура, які розглядаються як

середовища розгортання механізмів ліквідації пожежі;

БПАК – технічна складова з відповідним корисним цільовим навантаженням, що реалізовує завдання моніторингу і ліквідації пожежі на ПС;

способи застосування БПАК – технології реалізації типових завдань у сфері цивільного захисту для гасіння пожеж;

Існує декілька підходів до розробки сценаріїв, але всі вони засновані на трьох загальних положеннях:

початковим пунктом завжди повинна бути точна оцінка реальної пожежі, що веде до розуміння динаміки впливаючих чинників;

для впливаючих чинників пожежі з невизначеними тенденціями розвитку повинні бути виконані спеціальні прогнози і зроблені раціональні пропозиції експертів;

повинна бути розроблена множина альтернативних сценаріїв розвитку пожежі та відповідних способів застосування БПАК (як мінімум три - песимістичний, оптимістичний і найбільш ймовірний (реалістичний або середній)), що є певною логічною картиною.

Існує два типи сценаріїв розвитку пожежі. Перший тип містить опис послідовності кроків, що ведуть до прогнозованого стану процесу розвитку пожежі, чинників і подій, що роблять вирішальний вплив на цей процес. Другий тип сценаріїв містить опис можливих наслідків для навколишнього середовища і людей, якщо пожежа досягне прогнозованого образу.

На рис. 1 представлена структурно-функціональна схема застосування сценарного підходу першого типу сценаріїв в методиці обґрунтування вимог до ТТХБПАК для вирішення поставлених завдань.

Оскільки в реальних ситуаціях разом з кількісними змінними використовуються й якісні, передбачається розробка для кожної змінної вербально-числової шкали, що містить як чисельні значення градацій, так і їх змістовний опис.

Змістовний опис дозволяє розширити склад змінних, включаючи в нього змінні, що дійсно відображають характер ситуації застосування БПАК, хоча і не мають кількісної природи. Кількісні значення змінних дозволяють надійніше визначати можливі небезпеки, вимоги до цільового корисного навантаження та ТТХ.

Якщо змінні безперервні, то доцільне виділення характерних діапазонів їх значень для використання при аналізі ситуації застосування БПАК.

Залежно від типу об'єктів аерознімання виділяють два роди завдань дешифрування аерознімків. Завдання першого роду припускають виявлення і розпізнавання компактних об'єктів складної форми. До таких об'єктів відноситься передусім об'єкти штучного походження. Як правило, основна інформація для вирішення задач першого роду виконується з аерознімків високої просторової розрізненості [3]. До завдань другого роду відносяться виявлення та класифікація площадкових об'єктів з приблизно незмінними статистичними властивостями.

Якщо для об'єктів першого роду основними розпізнавальними ознаками є форма і деталі, то для об'єктів другого роду – зареєстровані спектральні сигнали [4]. Слід зауважити, що для розвідки пожеж являють інтерес об'єкти як першого (будівлі, споруди, інженерна інфраструктура тощо) так і другого (лісові та інші природні пожежі, розливи палильних рідин, відкрите полум'я тощо) родів.

Основними вимогами, що пред'являються до авіаційного носія апаратури спостереження в таких випадках, є забезпечення оперативності та інформативності аерознімання. БПЛА вертикального зльоту та посадки мають певні переваги при виявленні пожеж і моніторингу місць їх імовірного виникнення: простота управління, маневреність, надійність на режимах польоту навколо земної поверхні та місцевих предметів і споруд, можливості діяти в режимі зависання над об'єктом у разі необхідності. Перспективною авіаційною платформою для систем розвідки пожеж виступає такий тип БПЛА, як мультикоптер [9]. Це універсальні, конструктивно надійні, компактні та економічні БПЛА у порівнянні з БПЛА традиційної гелікоптерної схеми.

Сучасні мультикоптери, що обладнані безколекторними електродвигунами та літій-полімерними акумуляторами, забезпечують повітряне спостереження на відстанях від сотень метрів до декількох десятків кілометрів при швидкостях польоту до (30-60) км/год протягом (10-45) хв. за допомогою бортової аерознімальної апаратури масою від 0,3 до 5 кг [10], що є достатнім для ведення повітряної оптико-електронної розвідки пожеж.

Основними показниками, що визначають ТТХ і можливості аерознімальної системи, є робочий спектральний діапазон (діапазони), геометрія побудови зображень і забезпечувана розрізненість – просторова, радіометрична та спектральна [11].

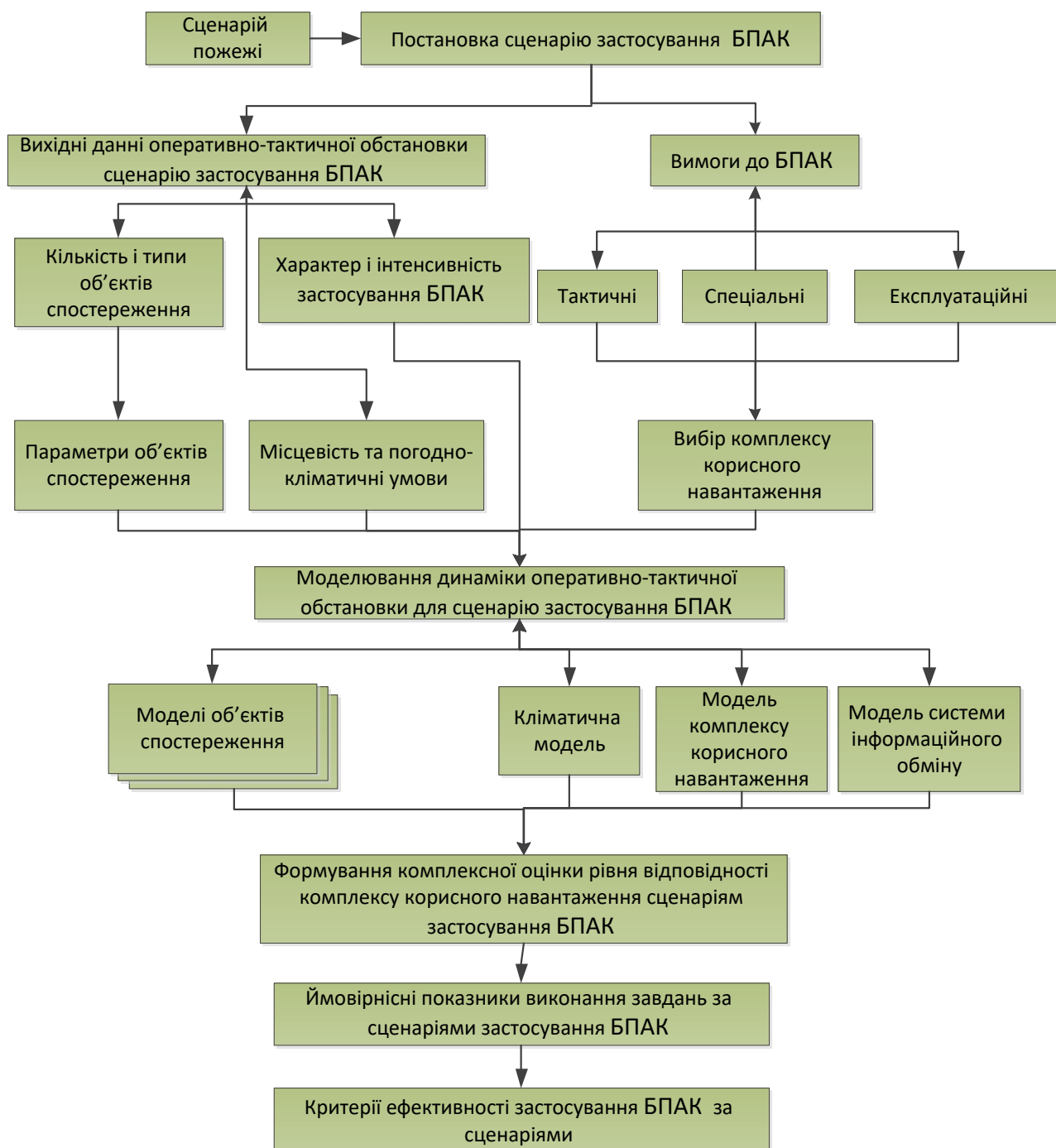


Рисунок 1 - Узагальнена структурно-функціональна модель застосування сценарного підходу до обґрунтування вимог до ТТХБПАК та способів їх застосування

Ефективність застосування бортової аерознімальної апаратури залежить від її власних технічних характеристик та обраних параметрів польоту носія при виконанні аерознімання. Якнайповніше ефективність аерознімальних систем описується імовірністю  $P_0$  виявлення об'єктів на отримуваних зображеннях. У праці [12] показано, що цю

імовірність можна приблизно оцінити за формулою:

$$P_0 = \exp \left[ \frac{\ln \alpha}{\lg \frac{1+K}{1-K}} \left( \frac{d}{d_0} \right)^2 \right], \quad (1)$$

де  $d$  – забезпечувана аерознімальною системою детальність на місцевості,  $d_0$  – характерна детальність об'єкта знімання,  $\alpha$  – імовірність правильного виявлення об'єкта на зображенні просторової розрізненості, що дорівнює характерній детальності,  $K$  – радіометричний контраст об'єкта на зображенні.

Враховуючи геометрію побудови зображень в сучасній цифровій аерознімальній апаратурі [13], можна отримати узагальнене аналітичне співвідношення взаємозв'язку технічних характеристик аерознімальної системи та параметрів польоту носія, яке забезпечує максимум середньої імовірності виявлення об'єкта при зніманні [14]:

$$\frac{\gamma H}{d_0} \sqrt{\frac{-\ln \alpha_0}{\lg \frac{1+K}{1-K}}} = \frac{1}{\operatorname{tg} \beta} \operatorname{erf}^{-1}\left(\frac{2\beta}{\pi}\right), \quad (2)$$

де  $\gamma$  – кутова розрізненість аерознімальної апаратури,  $\beta$  – кут огляду апаратури,  $H$  – висота аерознімання.

Співвідношення (2) може використовуватися при обґрунтуванні вимог до ключових технічних характеристик оптико-електронної аерознімальної апаратури БПЛА з урахуванням завдань розвідки пожеж і місць їх імовірного виникнення, до яких слід віднести: виявлення місць (незаконні звалища та накопичення пожежонебезпечного сміття, наявність великих площ сухої трави, торфовищ чи сухого лісу тощо) імовірного виникнення пожежі; виявлення джерел загоряння на місцевості та появи диму; встановлення місцезнаходження людей і тварин, визначення існуючої їм загрози від пожежі, а також шляхів і способів евакуації; визначення місця та розмірів пожежі, об'єктів горіння, а також напрямів та динаміки розповсюдження вогню; спостереження за процесом гасіння пожежі; виявлення місць імовірних руйнувань та обвалів; визначення можливих шляхів і напрямів введення та переміщення сил і засобів для ліквідації пожежі; визначення необхідності евакуації матеріальних цінностей, крупного домашнього скота, шляхів і способів їх евакуації; оцінка результатів гасіння пожежі; оцінка збитків від пожеж тощо.

Аналіз завдань розвідки пожеж і місць їх імовірного виникнення дозволяє визначити можливі геометричні розміри та температурні контрасти, що підлягають дистанційному виявленню з повітря (табл. 1). Виходячи з цього

формулюються кількісні вимоги до бортової аерознімальної апаратури видимого діапазону (цифрових камер) і теплового діапазону з можливостями калібрування та дистанційного вимірювання температури об'єктів спостереження (інфрачервоних радіометрів).

Таблиця 1 - Температурні показники пожеж (приклади) [15-17]

№	Назваоб'єкту	Температура запалення, °С	Температура горіння, °С
1.	Торф	225	530-650
2.	Кам'яне вугілля	325-535	900-1400
3.	Нафтопродукти	220-375	1100-1300
4.	Терміт	1300	2000-3000
5.	Ліс	300	750-900
6.	Суха трава		700-800

Аерознімання в інфрачервоному діапазоні дозволяє отримувати додаткову інформацію про пожежонебезпечні об'єкти та процеси виникнення й розповсюдження пожеж на земній поверхні, починаючи з виявлення перших ознак пожежі – збільшення температури об'єкту чи появи диму. Інфрачервоні аерознімальні системи забезпечують отримання зображень об'єктів за їх власним тепловим випромінюванням, тому за їх допомогою аерознімання може проводитися як вдень, так і вночі.

Зараз багато компаній пропонують малогабаритні тепловізійні камери дальнього інфрачервоного діапазону. Деякі з таких камер спеціально призначені для встановлення на безпілотні носії, інші передбачають таку можливість [18]. Більшість наявних на ринку зразків авіаційних інфрачервоних радіометрів побудовано на основі неохолоджуваних мікроболометричних матриць розміром не більш ніж (640×512) фотодетекторів 25- або 17-мікронного технологічного процесу, що суттєво обмежує просторові характеристики аерознімання – кутову розрізненість та кут огляду – у порівнянні з цифровими камерами видимого діапазону [19]. Вагові показники сучасних інфрачервоних радіометрів (маса не більше 1 кг) допускають їх встановлення на легкі мультикоптерні платформи.

Радіометричний контраст в інфрачервоній знімальній апаратурі при зніманні вночі визначається в основному спектральною щільністю енергетичної світності  $M(\lambda, T)$  власного теплового випромінювання об'єкта і фона відповідно до закону Планка [20]:

$$M(\lambda, T) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 \left[ \exp\left(\frac{hc}{k\lambda T}\right) - 1 \right]}, \quad (3)$$

де  $\lambda$  – довжина хвилі електромагнітного випромінювання,  $T$  – температура об'єкта,  $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$  Дж·с – стала Планка,  $c = 2,998 \cdot 10^8$  м/с – швидкість світла у вакуумі,  $k = 1,381 \cdot 10^{-23}$  Дж/К – стала Больцмана.

На рис. 1 наведено розрахункові залежності імовірності виявлення осередку

займання розміром 3 м з температурою  $T_0$  на фоні місцевості з температурою  $T = 25^\circ\text{C}$  за допомогою типового мікроболометричного матричного інфрачервоного радіометра з розміром фотоприймального елемента 17 мкм і фокусною відстанню 35 мм від дальності знімання  $D$  [21].

Із залежності рис. 2 можна знайти максимальну граничну дальність до пожежонебезпечного об'єкта, з якої він виявляється з певною наперед заданою імовірністю.

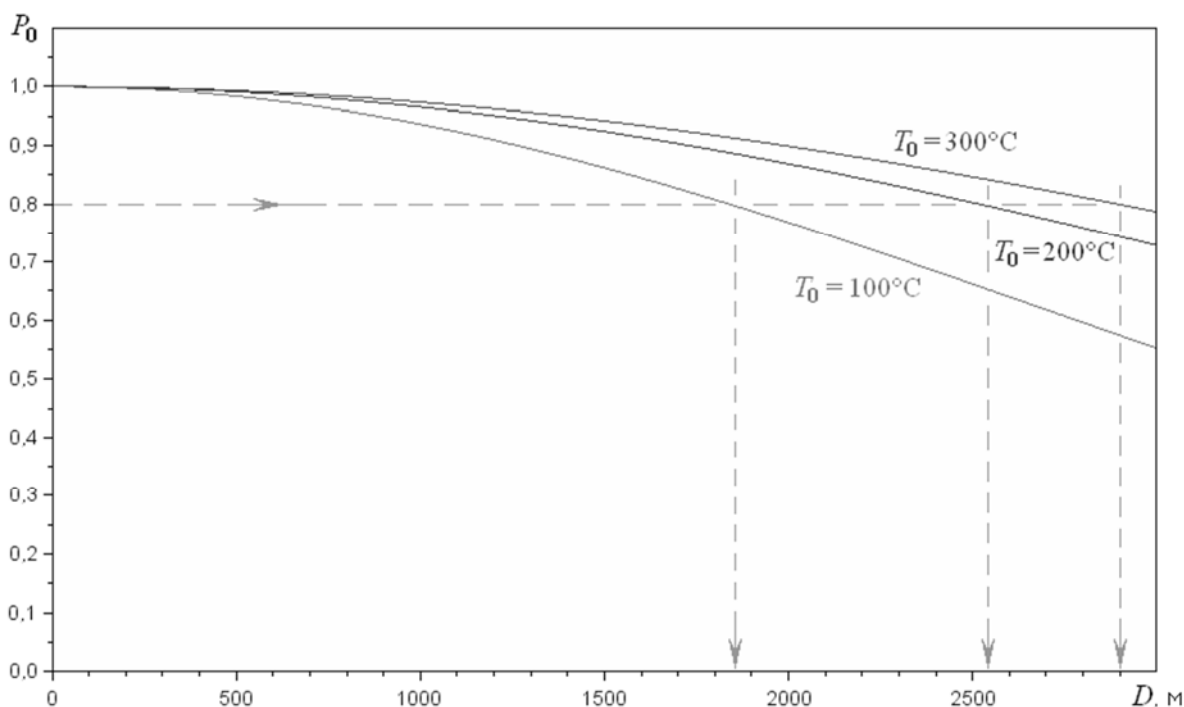


Рисунок 2 - Залежність імовірності дистанційного виявлення осередку займання на інфрачервоних зображеннях за температурним контрастом від відстані

Ще однією важливою характеристикою інфрачервоної знімальної апаратури, яка має враховуватися, є допустимий діапазон температур, що вимірюється. На рис. 3 показано температурні поля ділянки торфовища із загашеною підземною пожежею, одержані за інфрачервоними зображеннями з борта БПЛА (а) і з наземного вимірювального тепловізора (б).

Виявлений підземний осередок займання з фактичною поверхневою температурою  $270^\circ\text{C}$  на інфрачервоному аерозображенні промаркований як  $55^\circ\text{C}$  внаслідок некоректно обраної бортової камери з динамічним діапазоном вимірюваних температур  $-40^\circ\text{C} \dots +60^\circ\text{C}$ , що неприпустимо.

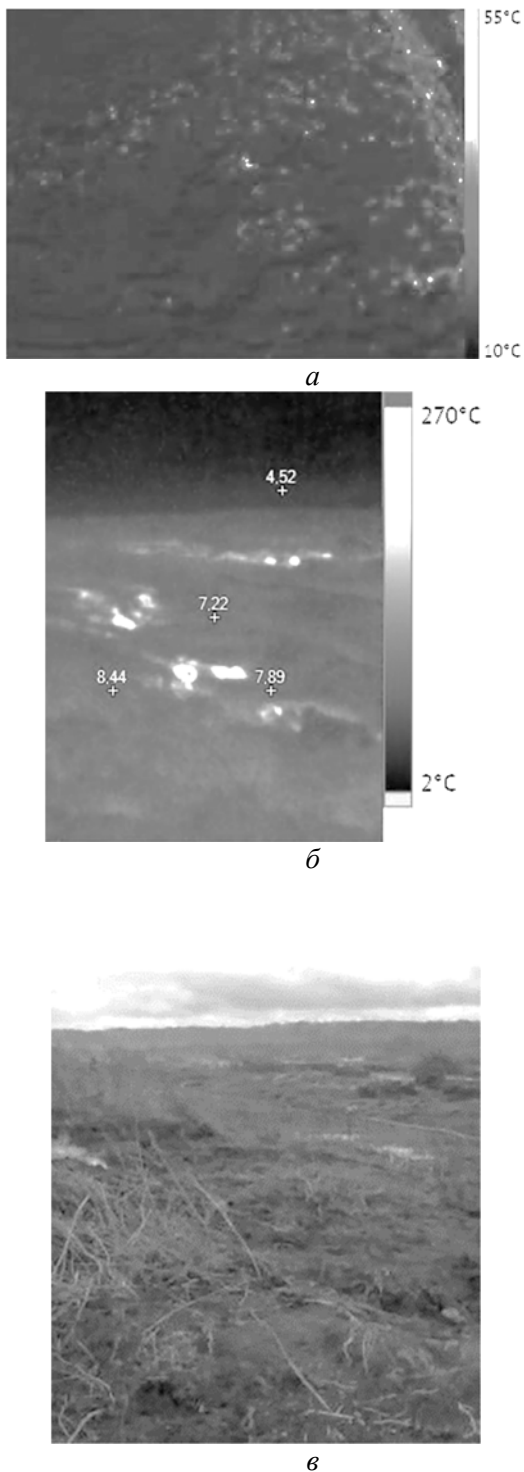


Рисунок 3 - Прихований осередок підземного горіння торфу: *a* – інфрачервоне зображення з борта БПЛА, *б* – наземне інфрачервоне зображення, *в* – наземне зображення видимого діапазону

**Висновки.** Таким чином, загальний порядок обґрунтування вимог до технічних характеристик засобів ведення розвідки пожеж, що встановлюються на БПЛА, має включати такі основні етапи: 1) визначення та аналіз основних характеристик об'єктів спостереження; 2) вибір платформи-носія,

виходячи з геометричних розмірів об'єктів аерознімання і вимог до оперативності; у теперішніх умовах найбільш доцільним здається вибір мультикоптерної платформи БПЛА; 3) вибір складу бортової аерознімальної апаратури БПЛА; як правило, до її складу включаються дві матричні цифрові камери – видимого й дальнього інфрачервоного діапазонів, інколи – лазерний далекомір-вказувач; 4) розрахунок орієнтовних технічних характеристик аерознімальної апаратури: кутової розрізненості та кутів огляду – за співвідношенням (2), температурної чутливості – за співвідношенням (3), за ними – типу фотоприймальних матриць та фокусних відстаней оптичних систем, за ними – параметрів радіоканалу передачі зображень з борта на наземний приймальний пункт; 5) виходячи з характеристик аерознімальної апаратури – розрахунок потрібних параметрів польоту (висоти, кутів візування тощо) і схеми аерознімання (площ захоплення місцевості, кількості заходів); 6) попередня оцінка очікуваної ефективності – імовірності виявлення об'єктів за співвідношенням (1) та коректування плану ведення розвідки в разі незадовільної величини цієї імовірності.

Застосування викладеного порядку обґрунтування вимог дозволить об'єктивно визначати кількісні технічні характеристики БПЛА-носія та його бортової аерознімальної апаратури, що має привести до підвищення загальної ефективності ведення повітряної розвідки пожеж.

**Перспективи подальших досліджень.** Не вирішеними залишаються питання оптимального комплексування даних від різних типів апаратури при веденні розвідки пожеж, зокрема інфрачервоних і видимих зображень; застосування інших, більш складних типів аерознімальної апаратури, наприклад багатоспектральної та радіолокаційної; технічних проблем організації безперервного моніторингу значних площ місцевості та ділянок на великій віддалі від місця базування БПЛА пожежної розвідки; повної автоматизації виявлення пожеж і місць їх виникнення за результатами аерознімання та створення відповідних автоматизованих робочих місць (АРМ) операторів БПЛА; розробки нових моделей загорання та розповсюдження пожеж, що забезпечить не тільки своєчасне їх виявлення, але і прогнозування для вжиття профілактичних заходів.

**СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**

1. Аерокосмічні знімальні системи / Х.В. Бурштинська, С.А. Станкевич. – Львів: Вид-во Національного університету “Львівська політехніка”, 2010. – 292 с.
2. Застосування безпілотних літальних апаратів у воєнних конфліктах сучасності / [Ю.К. Зіатдінов, М.В. Куклінський, С.П. Мосов, А.Л. Фещенко та ін.]; під ред. С.П. Мосова. – К.: Вид. дім “Києво-Могилянська академія”, 2013. – 248 с.
3. Станкевич С.А. Сравнительная оценка информативности цифровых аэрокосмических изображений высокого и низкого разрешения / В.И. Кононов, С.А. Станкевич. // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского, 2004. – Т.17. – № 2. – С.88-95.
4. Станкевич С.А. Кількісне оцінювання інформативності гіперспектральних аерокосмічних знімків при вирішенні тематичних задач дистанційного зондування Землі // Доповіді НАН України, 2006.– № 10. – С.136-139.
5. Arnold R.H. Interpretation of Airphotos and Remotely Sensed Imagery. – N.Y.: Prentice Hall, 1996.– 262 p.
6. Беспилотные авиационные комплексы: методика сравнительной оценки боевых возможностей / [Митрахович М.М., Силков В.И., Станкевич С.А. и др.]; под ред. В.И. Силкова.– Киев: ЦНИИВВТВСУ Украины, 2012.– 288 с.
7. Мосов С. Беспилотная разведывательная авиация стран мира: история создания, опыт боевого применения, современное состояние, перспективы развития: [монография] / С. Мосов. – К.: Изд. дом “РУМБ”, 2008. – 160 с.
8. Методы количественной оценки эффективности средств аэрокосмической разведки / Ю.К. Ребрин, С.А. Станкевич, С.П. Мосов. – Киев: КИВВС, 1997.– 262 с.
9. Метод размещения сенсоров в зоне чрезвычайной ситуации на базе технологии составных динамических систем / [Лысенко А.И., Тачина Е.Н., Панченко А.В., Бурачинская С.Э., Олейник А.А.] // Проблемы информатизации та управління.– 2014. – № 3(47).– С.41-45.
10. Multicopter design optimization and validation / O. Magnussen, M. Ottestad, G. Hovland // Modeling, Identification and Control, 2015. – Vol.36.– No.2.– P.67-79.
11. Ребрин Ю.К. Оптико-электронное разведывательное оборудование летательных аппаратов.– Киев: КВВАИУ, 1988.– 452 с.
12. Станкевич С.А. Уточнення відомої емпіричної формули оцінки імовірності правильного дешифрування об’єктів на аерокосмічному зображенні / С.А. Станкевич // Збірник наукових праць Наукового центру ВПСЗС України.– Вип.7.– Київ: НЦВПС, 2004.– С.242-246.
13. Станкевич С.А. Аналіз принципів технічної реалізації та застосування зарубіжних авіаційних цифрових систем одержання зображень / С.А. Станкевич // Збірник наукових праць Наукового центру ВПС України.– Вип.7.– Київ: НЦВПС, 2004.– С.232-241.
14. Станкевич С.А. Оптимізація параметрів видової аерознімальної апаратури за умовою максимуму середньої імовірності виявлення об’єктів на зображенні / С.А. Станкевич, С.В. Шкляр // Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту авіації.– Вип.8.– Київ: ДНДІА, 2005.– С.133-136.
15. Пожарная тактика / [М.П. Бьяжев, М.В. Данилов, В.Я.Мялло, П.М. Платунов].– М.: Изд-во Минкомхоз РСФСР, 1963.– 264 с.
16. Драйздейл Д. Введение в динамику пожаров / Д. Драйздейл; перевод с англ. под ред. д.т.н. Ю.А. Кошмарова, к.т.н. В.Е. Макарова. – М.: Стройиздат, 1990.– 424 с.
17. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: [справочн. изд.] / [А.Н. Баратов, А.Я. Корольченко, Г.Н. Кравчук и др.]. В 2-х кн. Кн1.– М.: Химия, 1990 – 496 с.
18. Introducing a low-cost mini-UAV for thermal- and multispectral-imaging / J. Bendig, A. Bolten, G. Bareth // International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences.– 2012.– Vol. XXXIX.– No. B1.– P.345-349.
19. Low-cost UAV-based thermal infrared remote sensing: Platform, calibration and applications / H. Sheng, H. Chao, C. Coopmans, J. Han, M. McKee, Y.Q. Chen // Proceedings of IEEE/ASME International Conference on Mechatronics and Embedded Systems and Applications (MESA 2010).– Qingdao: IEEE, 2010.– P.38-43.
20. Криксунов Л.З. Справочник по основам инфракрасной техники / Л.З. Криксунов. – М.: Советское радио, 1978.– 400 с.
21. Станкевич С.А. Технологія підвищення розрізненості інфрачервоних мікроболометричних спектродіаметрів для задач цивільного захисту / С.А. Станкевич, М.С. Лубський, К.В. Добровольська // Праці Міжнародної науково-практичної конференції “Актуальні проблеми моделювання ризиків і загроз виникнення надзвичайних ситуацій на об’єктах критичної інфраструктури”.– Київ: УкрНДІЦЗ, 2015.– С.241-246.
22. Згуровський М.З., Павлов А.А. Принятие решений в сетевых системах с ограниченными ресурсами. – К.: «Наукова думка», 2010.- 574 с
23. Катренко А.В., Пасічник В.В., Пасько В.П. Теорія прийняття рішень. Підручник. - К.: Видавнича група ВНУ, 2009.- 448 с.
24. Ільченко М.Ю., Кравчук С.О. Сучасні телекомунікаційні системи. – К.: НВП “Наукова думка”, 2008. – 328 с.
25. Згуровський М. З., Панкратова Н. Д. Основи системного аналізу. Підручник. – К.: Видавнича група ВНУ, 2007.- 544 с.



## JUSTIFICATION OF THE REQUIREMENTS TO TECHNICAL CHARACTERISTICS OF FIRE EXPLORATION MEANS USING UNMANNED AERIAL VEHICLES

*S. Mosov<sup>1</sup>, Doctor of Military Sciences, Professor, S. Stankevych<sup>2</sup>, Doctor of Technical Sciences, Docent, S. Chumachenko<sup>3</sup>, Doctor of Technical Sciences, Senior Research Fellow*

*<sup>1</sup>Cherkassy Institute of Fire Safety named after Chernobyl Heroes of National University of Civil Protection of Ukraine*

*<sup>2</sup>Scientific Centre for Aerospace Research of the Earth, Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine*

*<sup>3</sup>The Ukrainian Civil Protection Research Institute, Ukraine*

---

### KEYWORDS

fire accident, reconnaissance system, unmanned aerial vehicles, airborne imaging equipment

### ANNOTATION

The paper describes the procedure for requirements justification to technical specifications of means of conducting reconnaissance of fires, which mounted on unmanned aerial vehicles, in the visible and infrared spectral ranges for quick reconnaissance of fire events and fire possible occurrence locations

## ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ТЕХНИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ СРЕДСТВ ВЕДЕНИЯ РАЗВЕДКИ ПОЖАРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

*С.П. Мосов<sup>1</sup>, д-р. воен. наук, проф., С.А. Станкевич<sup>2</sup>, д-р. техн. наук, доц., С.Н. Чумаченко<sup>3</sup>, д-р. техн. наук, ст. научн. сотр.*

*<sup>1</sup>Черкасский институт пожарной безопасности им. Героев Чернобыля НУГЗУ*

*<sup>2</sup>Научный Центр аэрокосмических исследований Земли Института геологических наук НАН Украины*

*<sup>3</sup>Украинский научно-исследовательский институт гражданской защиты, Украина*

---

### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

пожар, средство ведения разведки, беспилотные летательные аппараты, аэросъемочная аппаратура

### АННОТАЦИЯ

В статье описан порядок обоснования требований к техническим характеристикам средств ведения разведки пожаров, которые устанавливаются на беспилотных летательных аппаратах, в видимом и инфракрасном диапазонах спектра в интересах оперативного выполнения задач разведки пожаров и мест их возможного возникновения