

УДК 621.391: 004.056.5

*Р. А. Заєць, О. С. Куліца, канд. техн. наук, Д. А. Журбинський, канд. техн. наук,
С. Д. Щіпець, канд. техн. наук, доцент,
Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля
Національного університету цивільного захисту України*

ОБҐРУНТУВАННЯ УМОВ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ АЕРОМОНІТОРИНГУ ПОЖЕЖ В ПРИРОДНИХ ЕКОСИСТЕМАХ ТА НА ВІДКРИТИХ ТЕРИТОРІЯХ

У статті обґрунтовано напрямок підвищення ефективності функціонування системи з попередження та ліквідації пожеж в природних екосистемах та на відкритих територіях із використанням бортових засобів повітряного моніторингу. У зв'язку з чим, варіантом забезпечення даного аспекту є напрям, заснований на використанні технологій компресії зображень. В результаті проведеного дослідження визначено, що доступність відеоінформації аеромоніторингу залежить від часових проміжків. Час доступу до відеоінформації має змінюватися в межах від декількох секунд до декількох хвилин, аж до реального часу. Обґрунтовано напрямок підвищення доступності відеоінформації на основі вдосконалення технологій компресії зображень з контрольованою втратою якості.

Ключові слова: торф'яна пожежа, пожежа в природній екосистемі, пожежа на відкритій території, буферний запам'ятовуючий пристрій, безпілотний літальний апарат, пілотований літальний апарат, зовнішній пристрій, канал зв'язку, надзвичайна ситуація.

Постановка проблеми. Упродовж 2019 року в природних екосистемах та на відкритих територіях кількість пожеж збільшилась на 51,4 % і становить 56 268 пожеж або 59,1 % від загальної кількості пожеж в Україні (у 2018 році – 37 162 пожежі або 47,3 %) [1]. Прямі збитки збільшились у 2,6 рази і становлять 141 млн 38 тис. грн; побічні збитки збільшились у 2,1 рази і становлять 3 млрд 388 млн 726 тис. гривень. Кількість людей, загиблих унаслідок пожеж у природних екосистемах та на відкритих територіях збільшилась у 2,4 рази і становить 84 людини проти 35 у 2018 році, кількість травмованих на пожежах людей збільшилась на 70,0 % і становить 119 людей проти 70 у 2018 році.

Також, цими пожежами було знищено та пошкоджено 1 634 будівлі і споруди, 126 одиниць техніки, близько 700 га хліба на корені та у валках, 472 га торфовищ.

Одними з найбільш вразливих екосистем планети є водно-болотні угіддя. Збереження й раціональне використання торфових боліт – одне з пріоритетних завдань міжнародної політики охорони навколишнього середовища та протидії негативним наслідкам змін клімату. У Земельному кодексі України зазначено,

«торфовища з глибиною залягання торфу більше 1 м і осушені незалежно від глибини...», належать до особливо цінних земель, а отже, потребують особливої охорони і раціонального використання [2].

Розвиток інформаційно-комунікаційних технологій має важливе значення для побудови систем своєчасного попередження, виявлення, локалізації та ліквідації пожеж в природних екосистемах та на відкритих територіях.

З огляду на вищезазначене, підвищення доступності відеоінформації аеромоніторингу з необхідною їй цілісністю в системі гасіння пожеж в природних екосистемах та на відкритих територіях є актуальною науково-прикладною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблемою попередження та гасіння пожеж на торф'яниках та торфорозробках займалось багато вчених: Гришин А. М., Ключ П. П., Шкарабура М. Г., Єлагін Г. І., Мигаленко К. І. та інші, але недостатню увагу приділялось питанням задимленості територій під час торф'яних пожеж та їх впливу на біоценоз та екосистему загалом [3].

Серед низки небажаних процесів, що простежуються на торфових болотах, є їх деградація під впливом пірогенного фактору. В особливо посушливі роки затяжні пожежі на торфовищах регіону можуть відбуватись протягом тривалого часу, завдаючи значних матеріальних збитків та порушуючи екологічну рівновагу довкілля [4].

Для мінімізації збитку від НС та економії витрат на організацію моніторингу необхідно здійснювати відеоінформаційне забезпечення з використанням бортових засобів повітряного спостереження. У цьому випадку ключовою складовою є забезпечення вимог по доступності відеоінформації аеромоніторингу.

У той же час, для вирішення завдань, пов'язаних з розпізнаванням і ідентифікацією об'єктів моніторингу необхідно збільшувати роздільну здатність зображень і їх достовірність. Це призводить до збільшення обсягів відеоінформації аеромоніторингу. З іншого боку відеоінформаційне забезпечення з використанням аеромобільних засобів характеризується наявністю проблемних недоліків, а саме: обмежені характеристики обробки і передачі даних в інфокомунікаційних системах. У зв'язку, з чим виникає загроза доступності інформаційних ресурсів аеромоніторингу з необхідною цілісністю з боку суб'єкта доступу (особи яка приймає рішення в НС). Це впливає на збільшення часу доставки інформації і є причиною неможливості доступу до інформаційних ресурсів у зв'язку з обмеженим часом сеансу зв'язку. В результаті процес інформаційного забезпечення системи контролю НС на основі засобів повітряного відеоспостереження характеризується наявністю протиріччя. З одного боку необхідно забезпечити необхідну роздільну здатність і цілісність відеоінформаційного ресурсу. З іншого боку існує загроза з боку суб'єкта доступу в умовах проведення аеромоніторингу гасіння пожеж в природних екосистемах та на відкритих територіях.

Значний внесок у розвиток теорії інформаційної безпеки в інформаційно-комунікаційних системах внесли багато вчених. Серед вітчизняних слід виділити таких вчених як: Конахович Г. Ф., Корченко А. Г., Юдін О. К. та інші [5-6].

В результаті зроблено значний розвиток в області теорії і практики створення методів забезпечення таких категорій інформаційної безпеки як доступність, цілісність та конфіденційність. Дані категорії в значній мірі пов'язують з методами криптографічного захисту інформації. Такий підхід не враховує іншу сторону базових категорій інформаційної безпеки, обумовлену особливостями формування, обробки, передачі, сприйняття і впливу на користувачів відеоінформаційних ресурсів. Тут слід враховувати такі характеристики як оперативність і своєчасність доставки, якість і достовірність видових зображень. У зв'язку з чим, варіант забезпечення даного аспекту інформаційної безпеки є напрямком, заснованим на використанні технологій компресії зображень.

Вагомий внесок у розвиток теоретичних основ компресії видових зображень зробили такі вчені: Баранник В. В. Корольов А. В., Рябко Б. Я. та інші [7-9]. Із зарубіжних дослідників значний внесок зробили Претто У., Шеннон К. [10-11].

У той же час в результаті оцінки ефективності методів стиснення показано, що клас методів, що володіє властивостями стиснення без втрати інформації на основі реалізації процесів з низькою і обмеженою складністю обробки, пов'язаний з можливістю виникнення загрози відносно доступності відеоінформації аеромоніторингу. Значить, в процесі використання технологій компресії для вирішення сформульованої науково-прикладної задачі з'являється протиріччя. Дане протиріччя розкладається на дві складові, а саме:

1. З одного боку методи з внесенням спотворень призводять до зниження роздільної здатності, а отже, порушується умова забезпечення характерної детальності об'єктів моніторингу. Значить, це призводить до порушення цілісності відеоінформаційного ресурсу. З іншого боку використання методів без втрати цілісності пов'язано з низькими ступенями стиснення, і як наслідок із зростанням часу доставки даних. Звідки порушується категорія доступності інформації, а в умовах обмеженого сеансу зв'язку додатково порушується умова цілісності інформації.

2. З одного боку використання методів стиснення, що вимагають низьку складності

обчислення забезпечує зниження затримки на обробку. З іншого боку такі методи не забезпечують необхідного рівня стиснення, що збільшує час передачі, а значить, призводить до порушення доступності відеоінформації.

У зв'язку з цим, для вирішення суперечності пропонується використовувати клас методів, що володіють такими властивостями як: стиснення з контрольованими втратами якості реконструйованих зображень; реалізація процесу стиснення з обмеженою складністю. Це дозволить зберегти необхідну цілісність відеоінформації та підвищити доступність до неї з використанням інформаційно-телекомунікаційних технологій аеромобільного моніторингу [12-14].

Формулювання цілей статті.

Мета роботи полягає у підвищенні доступності до відеоінформації аеромоніторингу пожеж в природних екосистемах та на відкритих територіях з заданим рівнем її цілісності на основі технологій компресії зображень з контрольованими спотвореннями і обмеженою складністю реалізації

Для досягнення сформульованої мети необхідно вирішити такі завдання:

- обґрунтувати напрямок підвищення ефективності функціонування системи гасіння пожеж в природних екосистемах та на відкритих територіях із використанням бортових засобів повітряного моніторингу;

- показати, що доступність відеоінформації аеромоніторингу залежить від часових проміжків;

- показати важливість забезпечення цілісності відеоінформації аеромоніторингу гасіння пожеж в природних екосистемах та на відкритих територіях.

Виклад основного матеріалу дослідження. Відповідно до завдань певними концепціями і законами України, в тому числі згідно з постановою Кабінету Міністрів України від 30 вересня 2015 р. №775 «Про затвердження Порядку створення та використання матеріальних резервів для запобігання і ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій» потрібно забезпечити:

1) комплекс заходів спрямованих на попередження виникнення надзвичайних ситуацій (НС), проведення організаційних дій з населенням;

2) моніторинг локалізації та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій як природного, так і техногенного характеру.

Для виконання окремого доручення Першого віце-прем'єр-міністра України, Державне агентство лісових ресурсів України зобов'язало всіх керівників підпорядкованих підприємств забезпечити:

- своєчасне виявлення пожеж та їх гасіння на початковій стадії;

- передачу достовірної інформації про пожежонебезпечну ситуацію у відповідності з нормативними документами.

Своєчасність реагування на загрозу виникнення пожеж в природних екосистемах та на відкритих територіях залежить від наступних основних часових складових процесу переробки інформації:

- час формування інформації, T_{ϕ} ;

- час доступу до інформації, $T_{\text{д}}$;

- час аналізу інформації для прийняття рішень, $T_{\text{пр}}$;

- час доведення вказівок, $T_{\text{дв}}$.

З урахуванням чого сумарний час T_{Σ} переробки інформації становить

$$T_{\Sigma} = T_{\phi} + T_{\text{д}} + T_{\text{пр}} + T_{\text{дв}}, \quad (1)$$

Виходячи з досвіду управління в період пожеж в природних екосистемах та на відкритих територіях, можна укласти наступне:

1) найбільш повну та достовірну інформацію особа, яка приймає рішення отримує на основі відеоінформаційного забезпечення;

2) основна затримка в процесі переробки відеоінформації проходить на етапі доступу до неї. Звідси доступ до відеоінформації повинен здійснюватися з мінімальними затримками $T_{\text{д}}^{(\text{тр})}$, що не перевищують декількох десятків секунд, аж до реального часу. З урахуванням чого формуються вимоги специфікацій відеоінформаційних послуг [12] щодо затримки в процесі доступу до ресурсів відеоданих.

Під доступністю в загальному випадку розуміється можливість доступу до інформаційного ресурсу в процесі її обробки, зберігання та передачі.

У загальному випадку тут розуміється як можливість безпосереднього доступу до інформації, так і можливість заняття ресурсу протягом деякого проміжку часу. Надалі інтерес буде представляти тільки перша складова.

Доступність інформації в інформаційних системах як категорія інформаційної безпеки це властивість інформації, яка полягає в можливості безпосереднього доступу до неї з боку процесу або авторизованого користувача відповідно до встановленої політики безпеки в необхідній формі та в необхідні часові терміни.

Під необхідними часовими термінами, за яким може бути надана можливість доступу до відеоінформації, зазвичай розуміється реальний час. Час доступу T_d , включає в себе наступні основні затримки, а саме:

- час обробки запита T_{oz} , в тому числі час визначення авторизації користувача;
- зворотне проходження інформації $T_{зп}$, включаючи час на обробку необхідної інформації (час зчитування, дешифрування, завадостійке декодування);
- час на передачу інформації.

В результаті чого отримуємо

$$T_d = T_{oz} + T_{зп}, \quad (2)$$

У процесі розробки системи моніторингу територій для раннього попередження та ліквідації пожеж в природних екосистемах та на відкритих територіях потрібно враховувати наступні фактори:

- 1) наявність значних географічних масштабних територій, що вимагають проведення моніторингу;
- 2) наявність областей, важкодоступних (гірські та лісові місцевості) для наземного транспорту;
- 3) можливість охоплення стихійним лихом значних територій в короткі терміни;
- 4) наявність ризику нанесення істотного збитку.

У зв'язку з чим, система моніторингу повинна включати в себе як наземну, так і аерокосмічну складові.

У той же час проблемними залишаються питання, пов'язані з вирішенням наступних суперечностей:

- з одного боку для зниження збитку від пожеж в природних екосистемах та на відкритих територіях необхідно забезпечити раннє попередження його виникнення. Для цього потрібно своєчасно доводити (доступ) достовірну (цілісну) інформацію про поточну обстановку, і в першу чергу відеоінформацію;

- з іншого боку для оперативного доведення достовірної інформації, враховуючи значні контрольовані територіальні площі, необхідно використовувати значну кількість як наземних, так і повітряних засобів спостереження, а також інфокомунікаційні технології. Це в свою чергу пов'язано зі значними фінансовими витратами.

Тому потрібно формувати систему моніторингу на основі найбільш ефективних засобів відеоспостереження з використанням сучасних бездротових інформаційно-телекомунікаційних технологій.

Звідси можна зробити висновок, що вагоме значення набирає система дистанційного відеомоніторингу з використанням повітряних засобів: безпілотні літальні апарати, пілотована авіація, включаючи літаки і вертольоти.

Це обґрунтовується:

1. Перевагами аеромобільного моніторингу щодо космічного сегмента є:

- менші фінансові витрати;
- можливість оперативного керування літальним апаратом або дистанційно (безпілотники), пілотовані (вертольоти);
- можливість швидкого оновлення інформації про контрольовані об'єкти (не потрібно чекати поки буде зроблений оборот супутника);
- допускається відсутність пілотів.

2. Перевагами аеромобільних засобів щодо наземного сегмента є:

- можливість отримання відеоінформації з важкодоступних для наземного транспорту районів;

- можливість отримання оглядових знімків (панорамних знімків);
- можливість більш оперативного доступу до контрольованих територій, використовуючи перевагу по швидкості повітряних засобів відносно наземних.

Відеоінформаційна взаємодія дозволяє в найбільш повній, наочній і інформативній формах забезпечувати осіб, які приймають рішення необхідними відомостями. При цьому, різко скорочується кількість невірно прийнятих рішень.

Для цього використовується можливість як безпосередньої доставки інформації на центр обробки і управління, так і з використанням проміжного стаціонарного пункту збору та ретрансляції відеоданих.

Використання проміжного пункту дозволяє здійснювати збір інформації в тих випадках, коли безпосередня доставка інформації з аеромобільних засобів, ускладнена. Наприклад, для БПЛА така ситуація можлива поза його зони видимості для оператора дистанційного керування.

Досвід ліквідації пожеж в природних екосистемах та на відкритих територіях за останнє десятиліття демонструє поширення інтенсивності використання БПЛА в системі повітряного відеоспостереження. Зросла роль безпілотників для отримання оперативної інформації в процесі ліквідації, це підтверджується тим, що частка їх використання зросла за останні два роки на 30%. Важливість і перспективне використання БПЛА для отримання інформації при моніторингу пожеж в природних екосистемах та на відкритих територіях підтверджується тим, що близько 80% від загальної її кількості доставлялося з використанням аеромобільних засобів [9-11].

Основними перевагами організації відеоспостереження з використанням БПЛА в порівнянні з іншими літальними апаратами є: відсутність «дорогого» екіпажу; невелика вартість і малі експлуатаційні витрати; підвищена надійність; зменшення маси і вартості апарата завдяки зняттю багатьох конструктивних обмежень, пов'язаних з відсутністю льотчика; на порядок і більше підвищується час перебування БПЛА в районі моніторингу.

Вимагається з використанням інформаційно-комунікаційних технологій на борту аеромобільної складової забезпечити:

- безперервне і періодичне оцінювання стану об'єктів моніторингу для визначення джерел і ступеня небезпеки контрольованих територій;

- оперативний збір, доставку і аналіз відеоінформації про стан об'єктів моніторингу, включаючи процеси ідентифікації і розпізнавання об'єктів.

Залежно від ступеня важливості вирішуваних завдань, а також, виходячи з психофізичних особливостей сприйняття та аналізу інформації особою, яка приймає рішення, час доступу до інформації має змінюватися в межах від декількох секунд до декількох хвилин.

У разі дистанційного отримання відеоінформації з використанням повітряних засобів, доступ організовується в режимі трансляції. У цьому випадку, доведення відеоінформації (обробка і передача) має здійснюватися за часом, близьким до реального.

Тимчасова затримка $T(W)_{\text{опи}}$ на обробку та передачу відеоінформації оцінюється за формулою

$$T(W)_{\text{опи}} = T(W, U_o)_{\text{обр}} + T(W, U_{\text{п}})_{\text{п}}, \quad (3)$$

і відповідно включає дві складові, а саме:

1) затримка $T(W, U_o)_{\text{обр}}$ на обробку відеоданих на передавальній і приймальній сторонах. Затримка на обробку відеоданих на борту повітряного засобу спостереження визначається тимчасовими витратами на фільтрацію, стиск і завадостійке кодування;

2) затримка $T(W, U_{\text{п}})_{\text{п}}$ на передачу відеоданих з використанням телекомунікаційних мереж.

Якщо відома середня швидкість $U_{\text{п}}$ передачі даних у мережі, і середня продуктивність U_o бортових комплексів повітряного спостереження, то формула (3) прийме наступний вигляд

$$T(W)_{\text{опи}} = Q_{\text{эл}} / U_o + W / U_{\text{п}}, \quad (4)$$

де $Q_{\text{эл}}$ - кількість елементів у зображенні, рівне

$$Q_{\text{эл}} = L_{\text{стр}} \times L_{\text{стб}}, \quad (5)$$

Тут $L_{стр}$, $L_{стб}$ - відповідно кількість рядків і стовпців в зображенні.

Аналіз виразу (4) показує, що для заданих параметрів зображень, затримка $T(W)_{опи}$ на обробку та передачу відеоданих залежить від бортових характеристик апаратури обробки і передачі відеоданих. У той же час бортові комплекси повітряного спостереження відрізняються наявністю масогабаритних і енергетичних обмежень. Це є причиною обмежених тактико-технічних характеристик бортових комплексів, включаючи обчислювальну апаратуру і апаратуру приймально-передавального тракту.

З іншого боку, обмеженість масогабаритних і енергетичних можливостей повітряних засобів відеоспостереження з урахуванням їх значної віддаленості від наземних центрів прийому інформації та особливостей рельєфу місцевості (гірські ділянки, лісові масиви) впливає не тільки на збільшення затримки доставки відеоданих, а й на обмежений час сеансу зв'язку $T_{сз}$.

Обмеженість сеансу зв'язку істотно проявляється для середніх і міні БПЛА, і визначається часом перебування безпілота в зоні прямої видимості для наземного центру прийому інформації. Для забезпечення передачі інформації за межами зони прямої видимості використовуються можливості по ретрансляції угруповання низькоорбітальних космічних апаратів. Однак, тут доводиться стикатися з двома проблемними чинниками, а саме тими, що пропускна здатність каналу супутникового зв'язку обмежена величиною 9,6 Кбіт/с, а оренда більшої кількості каналів зв'язку вимагає додаткових фінансових витрат.

Тому необхідний час $T_{нч}$ доставки відеоінформації буде формуватися з урахуванням обмеженого сеансу зв'язку і оцінюватися

$$T_{нч} = \min\{T_{опи}^{(нч)}; T_{сз}\} \quad (6)$$

Значить, можна зробити висновок, що для підвищення готовності підприємств галузі до пожежонебезпечного періоду, мінімізацію фінансових затрат на протипожежне облаштування лісових масивів, забезпечення своєчасного виявлення, оперативного реагування та

ліквідації пожеж в природних екосистемах та на відкритих територіях, на початковій стадії потрібно залучати аеромобільні засоби відеоспостереження.

У той же час, для сегмента відеомоніторингу з використанням аеромобільних засобів властиві проблемні недоліки, такі як: обмеженість масогабаритних і енергетичних характеристик і значна віддаленість від наземного центру прийому інформації, що впливає на зниження часу сеансу зв'язку. Це призводить до порушення доступності інформації як категорії інформаційної безпеки, а саме існують загрози наступного характеру:

- перевищення необхідної затримки доступу до інформації;
- отримання інформації у формі, що не відповідає необхідному виду уявлення;
- отримання неповної інформації.

Досвід ліквідації пожеж в природних екосистемах та на відкритих територіях показує, що динамічна обстановка ускладнює вибір об'єктів спостереження заздалегідь перед процесом моніторингу. І, в той же час підвищується значимість відеоінформації, одержуваної в процесі раннього прогнозування або ліквідації пожеж в природних екосистемах та на відкритих територіях. Значить, необхідно забезпечити дві ключових складових безпеки інформації, таких як цілісність і доступність відеоінформації.

Цілісність відеоінформації аеромоніторингу - це стан, в якому видові зображення, одержувані на приймальній стороні, зберігають інформаційний зміст, що забезпечує необхідний комплекс вирішення завдань ідентифікації і розпізнавання об'єктів моніторингу.

Звідси цілісність відеоінформації аеромоніторингу буде формуватися на основі двох базових складових, а саме:

- 1) якість відеоінформації;
- 2) достовірність відеоінформації.

Достовірність відеоінформації в процесі аеромоніторингу визначається наступними компонентами:

- рівень спотворень і втрат інформаційного змісту;
- своєчасність відеоінформації для забезпечення адекватності прийнятих

рішень поточної обстановки. Очевидно, що старіння інформації внаслідок її несвоєчасної доставки призводить до прийняття запізнілих рішень, які не відповідатимуть поточній обстановці, а отже будуть помилковими.

Достовірність є показником системи обробки щодо збереження тієї якості відеоінформації, яка була сформована бортовою апаратурою знімання і реєстрації зображень. При цьому не вказується на скільки якість одержуваних зображень відповідає класу вирішуваних завдань аналізу. Для цього використовується поняття якості зображень.

Кількісним показником якості видових зображень, що формуються засобами аеромобільного моніторингу, є їх роздільна здатність.

Необхідна роздільна здатність видових зображень визначається з умови забезпечення необхідного рівня деталізації, що впливає на процес дешифрування зображення типового об'єкта моніторингу. Оцінка рівня деталізації або характерної деталістості на місцевості з урахуванням рівня дешифрування зображень типового об'єкта моніторингу, визначаються на основі емпіричного підходу з використанням методики «міри».

Відеоінформація в центрі обробки і прийняття рішень відображається у вигляді: фотознімків, відеоінформації, прив'язаної до картографічного фону, відеоінформаційних моделей досліджуваних районів. При цьому найбільша питома вага серед усього потоку відеоінформації доводиться на видові зображення, насичені деталями різної характерної деталістості.

У зв'язку з чим, для кожного рівня управління попередження і ліквідації пожеж в природних екосистемах та на відкритих територіях необхідно забезпечити заданий рівень деталістості об'єктів моніторингу, інформація про які використовується для прийняття рішень. Зрозуміло, що для різних рівнів управління потрібні різні рівні характерної деталістості об'єктів контролю.

В даний час для формування видових зображень на борту використовується цифрова оптико-електронна апаратура. При цьому роздільна здатність сформованих

зображень повинна відповідати необхідній характеристиці деталістості.

Розмірність зображення вибирається відповідно до забезпечення необхідної характерної деталістості об'єктів моніторингу. У той же час роздільна здатність оптико-електронної апаратури залежить від висоти знімання інформації. Чим вище бортовий засіб знаходиться над об'єктами моніторингу, тим нижча роздільна здатність необхідних знімків. Щоб компенсувати зниження роздільної здатності необхідно збільшити розмірність зображення.

Обсяги зображень залежать від:

– необхідної роздільної здатності, тобто від класу розв'язуваних задач з аналізу об'єктів моніторингу;

– висоти, на якій здійснюється знімання місцевості.

У зв'язку з цим важливо оцінити можливість інформаційних технологій аеромобільного моніторингу щодо своєчасної доставки інформації, тобто забезпечення умови доступності відеоінформаційного ресурсу в заданих умовах з необхідною достовірністю і якістю інформації.

Розглянемо можливість інформаційних систем аеромоніторингу з використанням пілотованих і безпілотних бортових комплексів щодо забезпечення необхідної доступності відеоінформації при виконанні заданих вимог по її цілісності.

Для цього проведемо оцінку базової складової доступності відеоінформації, а саме часу на обробку та її передачу по каналах зв'язку. Оцінка часу буде здійснюватися залежно від швидкості передачі по каналу зв'язку і вимог по спроможності.

На практиці усунення такого недоліку досягається шляхом скорочення розмірів зображень або використання каналів зв'язку з більшою інтенсивністю перешкод. Але, в той же час, такі підходи пов'язані з втратою якості і достовірності відеоінформації. Отже, створюється загроза порушення категорії цілісності відеоінформації. Погрозами цілісності інформації становлять загрози, які відносяться до несанкціонованої модифікації інформації.

Загрози цілісності відеоінформації аеромоніторингу, призводять до порушення функціонування системи попередження і ліквідації пожеж в природних екосистемах та на відкритих територіях, і обумовлені:

- невідповідністю необхідного ступеня характерної детальності, тобто невідповідністю необхідної роздільної здатності;

- втратою частини відеоданих в результаті обмеженого сеансу зв'язку;

- спотворенням семантичного змісту зображень в результаті внесення як активних спотворень, так і пасивних спотворень [12-14].

Значить, процес інформаційного забезпечення системи контролю пожеж в природних екосистемах та на відкритих територіях здійснюється на основі засобів повітряного відеоспостереження і характеризується наявністю протиріччя.

З одного боку, це необхідність забезпечення своєчасного доступу до відеоінформації аеромоніторингу аж до реального часу. З іншого боку, це наявність значних затримок у процесі доведення відеоінформації з бортів повітряних засобів, обумовлене:

- жорсткими вимогами щодо якості та достовірності відеоінформації, що тягне за собою збільшення обсягів видових зображень;

- обмеженими пропускними можливостями каналів зв'язку;

- обмеженим часом сеансу зв'язку, викликаним як обмеженим часом знаходження борта в зоні видимості, так і обмеженим енергетичним ресурсом.

Це призводить до появи загроз щодо порушення інформаційної безпеки за категоріями доступності та цілісності відеоінформації.

Тому підвищення доступності відеоінформації аеромоніторингу з необхідною її цілісністю в системі попередження та ліквідації надзвичайних ситуацій є актуальною науково-прикладною задачею.

Математично це формулювання запишеться наступним чином:

$$T_d \sim T(d, h, U_{\Pi}) = \left(\sum_{i=1}^3 Q_{эл} \times b_i \right) / U_{\Pi} \leq \min \{ T_{опи}^{(тр)}; T_{сц} \};$$

$$\begin{cases} d \leq d_0; \\ \delta \geq \delta^{(тр)}; \end{cases} \quad (7)$$

де $T(d, \delta, U_{\Pi})$ - час передачі відеоінформації в залежності від роздільної здатності, який формується рівнем достовірності та швидкості передачі з борту;

T_d - час доступу до відеоінформації;

$d_0, \delta^{(тр)}$ - необхідні значення відповідно для роздільної здатності та рівня достовірності;

b_i - глибина оцифровки i -ї колірної площини моделі RGB;

$Q_{эл}$ - кількість елементів у зображенні;

$\min \{ T_{опи}^{(тр)}; T_{сц} \}$ - мінімальне значення з необхідного часу $T_{опи}^{(тр)}$ на обробку та передачу і часу $T_{сц}$ сеансу зв'язку.

Як показує аналіз співвідношення (7) знизити час доступу до відеоінформації при заданій швидкості передачі по каналу зв'язку можна в результаті зменшення обсягів видових зображень. Ефективність такого підходу у вирішенні сформульованого завдання обґрунтовується наявністю для видових зображень різних класів надмірності.

Клас надмірності визначається типом закономірностей, які виявляються в процесі обробки зображень.

Зниження обсягів зображення на основі скорочення надмірності забезпечується в результаті використання технологій компресії. У кінцевому підсумку це дозволяє не тільки зменшити обсяг переданих відеоданих по каналах зв'язку, але і вивільнити вільне місце на зовнішніх запам'ятовуючих пристроях. Технології компресії відеоданих інтегруються в систему обробки зображень відразу після етапу їх реєстрації.

Сучасні технології компресії зображень будуються на основі комплексного принципу, що створює можливість для усунення декількох класів надмірності. Процеси скорочення надмірності для кожної технології компресії мають свої особливості, що впливають на забезпечення категорій інформаційної безпеки (доступності, цілісності).

Розглянемо деякі класифікуючі принципи - залежно від можливостей технологій обробки щодо зниження ризику

порушення доступності відеоінформації. Забезпечення вимог по доступності інформації підвищується, коли знижується час доступу до відеоінформації аеромоніторингу, тобто

$$T(d, h, U_{\text{п}})_{\text{п}} = \left(\sum_{i=1}^3 Q_{\text{эл}} \times b_{i1} \right) / U_{\text{п}} \rightarrow \min. \text{ Для цього}$$

необхідно забезпечити зменшення обсягів відеоданих $W(\delta^{(\text{ТР})})$, при заданій величині $\delta^{(\text{ТР})}$. З позиції технологій компресії це трактується як виконання умови щодо підвищення коефіцієнта стиснення $\eta(\delta)_{\text{сж}}$:

$$\eta(\delta)_{\text{сж}} \rightarrow \max, \quad (8)$$

де $\eta(\delta)_{\text{сж}}$ - значення коефіцієнта стиснення для рівня достовірності рівного δ .

Коефіцієнт стиснення вказує на ступінь зниження початкових обсягів видових зображень. Звідси даний принцип групує методи компактного подання щодо можливості зниження обсягів реалістичних зображень насичених дрібними об'єктами і деталями.

Це дозволить зберегти необхідну цілісність відеоінформації та підвищити доступність до неї з використанням інформаційно-телекомунікаційних технологій аеромобільного моніторингу [12].

Значить, мета досліджень полягає в підвищенні доступності до відеоінформації аеромобільного моніторингу із заданим рівнем її цілісності на основі технологій компресії зображень.

Математично це можна подати так:

$$\eta(\delta)_{\text{сж}} \rightarrow \max; \quad (9)$$

$$\begin{cases} \delta \geq \delta^{(\text{ТР})}; \\ v_{+;-}^{(\text{сж})} \sim n^2; v_{\times;\div}^{(\text{сж})} \sim n^2. \end{cases} \quad (10)$$

Висновки. На основі матеріалу аналізу та досліджень, проведених у роботі, можна зробити наступні висновки:

1. Обґрунтовано, що для підвищення ефективності функціонування систем з попередження та ліквідації надзвичайних ситуацій (мінімізації збитків від пожеж в природних екосистемах та на відкритих територіях, економії витрат на організацію моніторингу) необхідно здійснювати відеоінформаційні забезпечення з

використанням бортових засобів повітряного моніторингу.

2. В результаті аналізу основних етапів доставки і аналізу інформації обґрунтовані вимоги щодо доступності відеоінформації аеромоніторингу. Час доступу до відеоінформації має змінюватися в межах від декількох секунд до декількох хвилин, аж до реального часу.

3. Показано, що для сегмента відеомоніторингу з використанням аеромобільних засобів властиві проблемні недоліки, такі як: обмеженість масогабаритних і енергетичних характеристик і значна віддаленість від наземного центру прийому інформації, що впливає на зниження часу сеансу зв'язку. Це призводить до порушення доступності інформації як категорії інформаційної безпеки, а саме існують загрози наступного характеру: перевищення необхідної затримки доступу до інформації; отримання інформації в формі, що не відповідає необхідному виду подання; отримання неповної інформації.

4. Аналіз особливостей забезпечення цілісності відеоінформації аеромоніторингу виявив, що:

1) зростає важливість відеоінформації, підвищується її цінність, що викликано необхідністю прийняття рішень в процесі моніторингу надзвичайної ситуації;

2) цілісність відеоінформації аеромоніторингу характеризується двома складовими: достовірністю (рівень спотворень) і якістю (роздільна здатність) інформації;

3) аеромоніторинг характеризується формуванням видових зображень насичених об'єктами різної детальності. При цьому, частка дрібних деталей в зображеннях досягає 90%. Це висуває підвищені вимоги щодо забезпечення роздільної здатності знімків;

4) для забезпечення необхідної якості і достовірності інформації в процесі вирішення завдань з аналізу об'єктів контролю потрібно формувати видові зображення, які мають значні обсяги. Це диктується необхідністю забезпечення вимог по характерній детальності об'єктів моніторингу.

В результаті чого виявлено, що процес інформаційного забезпечення системи

контролю пожеж в природних екосистемах та на відкритих територіях здійснюється основі засобів повітряного відеоспостереження і характеризується наявністю протиріччя. З одного боку, це необхідність забезпечення своєчасного доступу до відеоінформації аеромоніторингу аж до реального часу. З іншого боку, це наявність значних затримок у процесі доведення відеоінформації з бортів повітряних засобів, обумовлене: жорсткими вимогами щодо якості та достовірності відеоінформації, що тягне за собою збільшення обсягів видових зображень;

обмеженими пропускними здатностями каналів зв'язку; обмеженим часом сеансу зв'язку, викликаним як обмеженим часом перебування борту в зоні видимості, так і обмеженим енергетичним ресурсом. Це призводить до появи загроз щодо порушення інформаційної безпеки за категоріями доступності та цілісності відеоінформації.

Перспективи подальших досліджень. Результати проведеного дослідження можуть бути використані для подальшої розробки технологій компресії видових зображень.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Аналітична довідка про пожежі та наслідки від них в Україні за 12 місяців 2019 року. [Електронний ресурс]. Режим доступу: www.undicz.mns.gov.ua. (дата звернення: 06.10.2019).

2. Земельний кодекс України від 25 жовтня 2001 року № 2768-III. Відомості Верховної Ради. – 2002, документ 2768-III. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua>. (дата звернення: 06.06.2019).

3. Мигаленко К. І. Розвиток пожеж на торф'яниках і торфорозробках: монографія / К. І. Мигаленко, Є. С. Ленартович, С. В. Поздєєв, М. М. Семерак – Вид. 1-е. – Черкаси: ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2016. – 140 с.

4. Гаськевич В. Г. Пірогенна деградація ґрунтів Малоого Полісся: ґрунтово-екологічні та соціально-економічні аспекти / Гаськевич В. Г., Нецик М. В. // Вісн. Львів. ун-ту. – Сер. геогр., 2008, вип. 35. – С. 49-57.

5. Конахович Г. Ф. Защита информации в телекоммуникационных системах / Г. Ф. Конахович, В. П. Климчик, С. М. Паук, В. Г. Потапов. – К.: МК – Пресс, 2005. – 288 с.

6. Юдін О. К. Захист інформації в мережах передачі даних: підручник / Г. Ф. Конахович, О. Г. Корченко, О. К. Юдін. – К.: Видавництво ТОВ НВП «ІНТЕРСЕРВІС», 2009. – 714 с.

7. Баранник В.В. Метод підвищення доступності відеоінформації аеромоніторингу / В.В. Баранник, О.С. Кулица //Радиоэлектронные компьютерные системы. №3. – 2013. – С. 17 – 20.

8. Barannik V. Method of data encoding on the basis of punched lexicographic rule / Vladimir Barannik, Valeriy Shinkarev, Oleg Kulitsa // International Conference [«The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics»], (Lviv – Polvana, Ukraine, February 19-23, 2013) / Lviv – Polvana: 2013. – P. 25 – 26.

9. Barannik V. Method Of Encoding Transformant Uolsha Is In Systems Air Monitoring Of Earth / V. Barannik, A. Yakovenko, A. Krasnorutkiy // Lviv-Slavsko, Ukraine, Lviv Polytechnic National University, International Conference TCSET'2009, Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science, February 19-23, 2009. – P. 381-383.

10. Pratt W.K., Chen W.H., Welch L.R. Slant transform image coding // Proc. Computer Processing in communications. – New York: Polytechnic Press, 1969. – P. 63 – 84.

11. Pratt K. Digital Image Processing: PIKS Inside, Third Edition. John Wiley & Sons, Inc., 2001, 738 p.

12. Кулица О.С. Методология устранения избыточности в технологиях компрессии с контролируемой потерей качества / О.С. Кулица // АСУ и приборы автоматизи. – №162. – 2013. – С. 50 – 58.

13. Кулица О.С. Проблемные стороны технологий сжатия с контролируемой потерей качества изображений видеомониторинга в системе МЧС / О.С. Кулица, А.А. Лавренко // 2-а Международная научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов [«Проблемы техносферной безопасности – 2013»], (Москва, Россия 9 апреля 2013г.) / Академия

государственной противопожарной службы МЧС России, Москва, 9 апреля 2013. – С. 155.

14. Куліца О.С. Сучасні технології прийняття рішень при ліквідації надзвичайних ситуацій / О.С. Куліца // XI Міжнародна науково-практична конференція

[«Пожежна безпека та аварійно рятувальна справа: стан, проблеми і перспективи»], (Київ, Україна 25-26 вересня 2013р.) / Український науково-дослідний інститут цивільного захисту, Київ, 2013. – С. 70.

REFERENCES

1. Analitichna dovidka pro pozhezhi ta naslidky vid nykh v Ukraini za 12 misiatsiv 2019 roku. [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: www.undicz.mns.gov.ua. (data zvernennia: 06.10.2019).

2. Zemelnyi kodeks Ukrainy vid 25 zhovtnia 2001 roku № 2768-III. Vidomosti Verkhovnoi Rady. – 2002, dokument 2768-III. [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: <http://zakon.rada.gov.ua>. (data zvernennia: 06.06.2019).

3. Myhalenko K. I. Rozvytok pozhezih na torfianykakh i torforozrobkakh: monohrafiia / K. I. Myhalenko, Ye. S. Lenartovych, S. V. Pozdieiev, M. M. Semerak – Vyd. 1-e. – Cherkasy: ChIPB im. Heroiv Chornobylia NUTsZ Ukrainy, 2016. – 140 s.

4. Haskevych V. H. Pirohenna dehradatsiia gruntiv Maloho Polissia: gruntovo-ekolohichni ta sotsialno-ekonomichni aspekty / Haskevych V. H., Netsyk M. V. // Visn. Lviv. un-tu. – Ser. heohr., 2008, vyp. 35. – S. 49-57.

5. Konakhovych H. F. Zashchyta ynformatsyy v telekommunikatsyonykh systemakh/ H. F. Konakhovych, V. P. Klymchyk, S. M. Pauk, V. H. Potapov. – K.: MK – Press, 2005. – 288 s.

6. Iudin O. K. Zakhyst informatsii v merezhakh peredachi danykh: pidruchnyk / H. F. Konakhovych, O. H. Korchenko, O. K. Yudin. – K.: Vydavnytstvo TOV NVP «INTERSERVIS», 2009. – 714 s.

7. Barannyk V.V. Metod povysheniya dostupnosti vydeoynformatsyy aeromonytorynha / V.V. Barannyk, O.S. Kulytsa //Radyoелектронные компиутерные системы. №3. – 2013. – S. 17 – 20.

8. Barannik V. Method of data encoding on the basis of punched lexicographic rule / Vladimir Barannik, Valeriy Shinkarev, Oleg Kulitsa // International Conference [«The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics»], (Lviv –

Polvana, Ukraine, February 19-23, 2013) / Lviv – Polvana: 2013. – P. 25 – 26.

9. Barannik V. Method Of Encoding Transformant Uolsha Is In Systems Air Monitoring Of Earth / V. Barannik, A. Yakovenko, A. Krasnorutkiy // Lviv-Slavsko, Ukraine, Lviv Polytechnic National University, International Conference TCSET'2009, Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science, February 19-23, 2009. – P. 381-383.

10. Pratt W.K., Chen W.H., Welch L.R. Slant transform image coding // Proc. Computer Processing in communications. – New York: Polytechnic Press, 1969. – P. 63 – 84.

11. Pratt K. Digital Image Processing: PIKS Inside, Third Edition. John Wiley & Sons, Inc., 2001, 738 p.

12. Kulitsa O.S. Metodolohiya ustraneniya yzbytochnosti v tekhnolohiyakh kompressyy s kontrolyruemoi poterei kachestva / O.S. Kulitsa // ASU y prybory avtomatyky. – №162. – 2013. – S. 50 – 58.

13. Kulitsa O.S. Problemnye storony tekhnolohiyi szhatyia s kontrolyruemoi poterei kachestva yzobrazhenyi vydeomonytorynha v systeme MChS / O.S. Kulitsa, A.A. Lavrenko // 2-a Mezhdunarodnaia nauchno-praktycheskaia konferentsiia molodykh uchennykh y spetsyalystov [«Проблемы текhnосферной безопасности – 2013»], (Moskva, Rossyia 9 aprelia 2013h.) / Akademyia hosudarstvennoi protyvopozharnoi sluzhby MChS Rossyy, Moskva, 9 aprelia 2013. – S. 155.

14. Kulitsa O.S. Suchasni tekhnolohii pryiniattia rishen pry likvidatsii nadzvychainykh sytuatsii / O.S. Kulitsa // KhI Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia [«Pozhezha bezpeka ta avariino riatuvalna справа: stan, problemy i perspektyvy»], (Kyiv, Ukraina 25-26 veresnia 2013r.) / Ukrainyskyi naukovo-doslidnyi instytut tsyvilnoho zakhystu, Kyiv, 2013. – S. 70.

*Р. А. Заец, А. С. Кулица, канд. техн. наук, Д. А. Журбинський, канд. техн. наук,
С. Д. Щипец, канд. техн. наук, доцент,
Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобыля
Національного університету громадянської захисту України*

ОБОСНОВАНИЕ УСЛОВИЙ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ АЕРОМОНИТОРИНГА ПОЖАРОВ В ПРИРОДНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ И НА ОТКРЫТЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

В статье обоснованы направления повышения эффективности функционирования системы по предупреждению и ликвидации пожаров в природных экосистемах и на открытых территориях с использованием бортовых средств воздушного мониторинга. В связи с чем, вариантом обеспечения данного аспекта является направление, основанное на использовании технологий компрессии изображений. В результате проведенного исследования установлено, что доступность видеoinформации аэромониторинга зависит от временных промежутков. Время доступа к видеoinформации изменяется в пределах

от нескольких секунд до нескольких минут, до реального времени. Обоснованно направление повышения доступности видеoinформации на основе совершенствования технологий компрессии изображений с контролируемой потерей качества.

***Ключевые слова:** торфяной пожар, пожар в природной экосистеме, пожар на открытой территории, буферное запоминающее устройство, беспилотный летательный аппарат, пилотируемый летательный аппарат, внешнее устройство, канал связи, чрезвычайная ситуация.*

Zaiets R., Kulitsa O., PhD in Technical Sciences, Zhurbynskyi D., PhD in Technical Sciences, Shchipets S., PhD in Technical Sciences, docent, Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chornobyl Heroes National University of Civil Defence of Ukraine

REASONING OF TERMS OF USE OF AEROMONITORING TECHNOLOGIES IN NATURAL ECOSYSTEMS AND OPEN AREAS FIRE

Direction of increasing the efficiency of the system operation for the prevention and elimination of the consequences of emergencies with the use of airborne monitoring was substantiated in the article. In this regard, an option for providing this aspect is a direction based on the use of image compression technologies. As a result of the research it was determined that, the availability of aero monitoring video information depends on time intervals. The access time to video information varies from a few seconds to several minutes or real time. The direction of increasing the accessibility of video information based on the improvement of image compression technologies with controlled loss of quality is substantiated.

The measures taken for the localization and liquidation of the fire and their influence on the ecosystem of the Irdynsky bog massif have been investigated and it has been established that

it leads to a dislocation of the structure and conditions of the functioning of landscapes. Namely: partial physical degradation of soils (rampart, creation of reclamation bands, digging trenches and creating new man-made and excavation of existing reservoirs), flooding the territory (destroying individual sections of the dam), changing the hydrological schedule of the marsh (pumping large volumes of water using powerful pumps). However, it's noted that, in despite of the direct interference with the functioning of the ecosystem, they are not irreversible and can be minimized due to the pliability of the ecosystem and the internal mechanisms of self-regulation.

***Keywords:** peat fire, natural ecosystem fire, open-air fire, buffer storage, drone, manned aircraft, external device, communication channel, emergency.*