

Т.М. Кравець¹, А.Ю. Поляков²

¹Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів.

²Державний науково-дослідний інститут авіації, Київ.

ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ ДЕШИФРУВАННІ АЕРОЗНІМКІВ: ДОСВІД ВІЙНИ

У статті розглянуто застосування апаратно-програмних комплексів (АПК) підтримки прийняття рішень при дешифруванні аерознімків у сучасних умовах війни. Предметом дослідження є процес автоматизації розвідки за допомогою спеціалізованих програмно-апаратних засобів. Метою роботи є визначення вимог до АПК та аналіз їх ролі у підвищенні ефективності дешифрування матеріалів аерофотозйомки. У дослідженні використано методи аналізу бойового досвіду, експертного опитування, системного проєктування та моделювання функціональних сценаріїв. Отримано результати щодо систематизації проблемних питань у сфері дешифрування (маскування об'єктів, обмеженість ресурсів, вплив РЕБ), а також сформульовано загальні функціональні та апаратні вимоги до комплексів. Зроблено висновок, що впровадження АПК забезпечує прискорення розвідувального циклу “виявлення – аналіз – рішення – ураження” та підвищує ситуаційну обізнаність командування. Результати дослідження можуть бути застосовані під час розробки та впровадження нових систем підтримки прийняття рішень у силах оборони України.

Ключові слова: аерознімки, дешифрування, апаратно-програмний комплекс, підтримка прийняття рішень, бойовий досвід.

Вступ

Постановка проблеми. Дешифрування аерознімків у військовому контексті має низку критично важливих аспектів, що потребують вдосконалення та автоматизації.

По-перше, обсяг даних, які надходять від безпілотних авіаційних комплексів (БпАК), зростає у геометричній прогресії. Один політ може формувати тисячі зображень, і ручна обробка такого масиву потребує значних часових ресурсів. Це призводить до затримок у видачі розвідувальної інформації, що безпосередньо впливає на темпи прийняття рішень і своєчасність вогневого ураження.

По-друге, противник активно застосовує заходи маскування та створює хибні об'єкти, що суттєво ускладнює процес дешифрування. Виявлення таких цілей вимагає високого рівня кваліфікації аналітиків, а також використання спеціалізованих алгоритмів, здатних розпізнавати демаскувальні ознаки та нетипові деталі, які не завжди помітні при візуальному аналізі.

По-третє, робота з аерознімками у фронтових умовах обмежується технічними й організаційними факторами: нестабільним інтернет-з'єднанням, відсутністю уніфікованих стандартів обробки, недостатньою кількістю підготовлених дешифрувальників. Це створює додаткові ризики, оскільки дані не завжди можуть бути оперативно оброблені чи інтегровані до систем ситуаційної

обізнаності, таких як “Delta”.

По-четверте, традиційний підхід, заснований на ручному перегляді та аналізі, не відповідає сучасним умовам високої динаміки бойових дій. Відсутність автоматизованих засобів для швидкого визначення координат, формування звітів та передачі інформації у стандартизованому форматі затримує виконання завдань і знижує рівень обізнаності командування.

Таким чином, постає потреба у створенні апаратно-програмних комплексів (АПК) підтримки прийняття рішень, здатних автоматизувати ключові етапи дешифрування аерознімків. Їх розробка та впровадження дозволять скоротити цикл “розвідка – аналіз – рішення – ураження”, підвищити швидкість і точність виявлення об'єктів, а також забезпечити інтеграцію результатів у єдину систему ситуаційної обізнаності. Вирішення цих проблем є критично важливим для підвищення ефективності дій сил оборони України в умовах сучасної війни.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз сучасної нормативно-правової бази та наукових публікацій свідчить про посилення уваги до питання розвитку та застосування апаратно-програмних комплексів підтримки прийняття рішень (АПК СППР) у сфері військової розвідки та дешифрування аерознімків. В умовах зростаючої ролі БпАК особливої актуальності набуває питання автоматизації процесів обробки великих масивів даних та їх інтеграції у системи ситуаційної обізнаності.

Нормативне регулювання використання БпАК та їх даних в Україні здійснюється на основі низки відомих документів. Так, у “Настанові з бойового застосування безпілотних авіаційних комплексів класу І” (Житомирський військовий інститут ім. С. П. Корольова, 2021) окреслено основи тактико-оперативного застосування БпАК [1, с. 42]. Правила технічної експлуатації БпАК І класу державної авіації України визначають порядок забезпечення їхньої працездатності та надійності збору інформації [2]. Тимчасове керівництво з бойової роботи підрозділів БпАК ракетних військ і артилерії ЗС України деталізує практичні процедури взаємодії безпілотних систем і артилерії, що прямо стосується організації процесів дешифрування [3, с. 47].

Важливим елементом нормативного середовища є також Наказ Міністерства оборони України від 13 березня 2023 року № 132, який запровадив використання топографічних карт у єдиній геодезичній системі WGS-84 і проєкції UTM. Це створює основу для уніфікації координат і сумісності результатів дешифрування в різних підрозділах [4].

Міжнародні стандарти, зокрема ISO/IEC/IEEE 29148:2018, щодо інженерії вимог [5] та ISO/IEC 19505-2:2012 UML для моделювання функціональних сценаріїв [6] – визначають методологічну базу для проєктування складних програмно-апаратних систем. Методичні підходи, викладені у класичній праці А. Cockburn “Writing Effective Use Cases” (2001), дозволяють формалізувати сценарії використання АПК СППР у військовому контексті [7]. Додатково, вимоги до надійності апаратної частини підтверджуються американським стандартом MIL-STD-810G [8], що забезпечує придатність систем до експлуатації в екстремальних умовах.

Особливе значення має досвід України у створенні національних систем ситуаційної обізнаності. Система “Delta”, що пройшла випробування у рамках взаємодії з НАТО, стала практичним прикладом інтеграції багатоджерельних даних у єдиний інформаційний простір [9]. Вона демонструє перспективність поєднання технологій збору та обробки даних БпАК з інструментами підтримки прийняття рішень.

У міжнародних наукових дослідженнях останніх років спостерігається активний розвиток методів автоматизованого розпізнавання об’єктів на аерознімках із використанням штучного інтелекту та глибокого навчання [10, р. 82]. Роботи, присвячені обробці гіперспектральних даних на борту БпАК у режимі реального часу, демонструють технічні можливості прискорення дешифрування [11, р. 993]. Систематичні огляди підкреслюють ефективність

алгоритмів машинного навчання у задачах класифікації та сегментації, але водночас акцентують на обмеженнях у стійкості до завад і нестандартних умов [12]. Дослідження у сфері високопродуктивних обчислень показують перспективність їхнього застосування для обробки масивів аерознімків [13, р. 45], а підходи до багатокритеріальної підтримки вибору сенсорів на БпАК [14] підкреслюють необхідність адаптивності та модульності АПК.

Отже, аналіз джерел підтверджує актуальність дослідження проблеми автоматизації дешифрування аерознімків і розвитку апаратно-програмних комплексів підтримки прийняття рішень у військовій сфері. Українські нормативні документи визначають загальні рамки застосування БпАК та картографічних даних, міжнародні стандарти пропонують методологічні засади для побудови систем, а сучасні наукові дослідження окреслюють конкретні технічні шляхи реалізації. Проте залишаються прогалини, пов’язані з інтеграцією таких рішень у реальні умови війни, забезпеченням їх стійкості до РЕБ та автономності. Подальші дослідження повинні бути спрямовані на створення адаптивних і стійких АПК, здатних працювати в умовах інформаційного перевантаження та обмежених ресурсів.

Мета статті. Метою цієї статті є аналіз можливостей застосування апаратно-програмних комплексів підтримки прийняття рішень у процесі дешифрування аерознімків та оцінка їх ефективності для підвищення оперативності й точності військової розвідки. Стаття спрямована на визначення переваг впровадження таких комплексів у бойових умовах, що дозволяє скоротити цикл “розвідка – аналіз – рішення – ураження”, забезпечує стійкість до впливу радіоелектронної боротьби та підвищує ефективність прийняття тактичних і оперативних рішень.

Виклад основного матеріалу

Бойовий досвід 2022–2025 років продемонстрував радикальну трансформацію ролі аерознімків у розвідувально-ударних операціях. БпАК різних класів стали основним оперативним джерелом візуальної інформації на тактичному та оперативному рівнях: вони забезпечують регулярні патрульні та прицільні прольоти, дають можливість швидко отримувати низьковисотні знімки високої розрізненості місцевості та спостерігати за динамікою подій у реальному часі. Такий доступ до оперативної візуальної інформації значно підвищив здатність підрозділів виявляти пересування противника, фіксувати зміни інженерної інфраструктури та уточнювати положення цілей для вогневого ураження.

Разом із тим, війна виявила низку практичних обмежень і проблемних місць у процесах збору, обробки й використання матеріалів аерознімання. По-перше, наростаючий обсяг даних став серйозним “вузьким горлом”: один лише інтенсивний режим повітряного спостереження може породжувати тисячі кадрів за добу, що без спеціалізованих інструментів обробки робить неможливим своєчасне конвертування матеріалів у бойові рішення. По-друге, противник інтенсивно застосовує прийоми маскування та фальш-цілей – спеціальні заслони, макети техніки, замасковані укриття та перевезення техніки під покривами, що суттєво ускладнює автоматичну детекцію та підвищує навантаження на аналітиків. Поєднання маскування з використанням природного укриття і швидкою реконфігурацією позицій створює високий ризик помилкових спрацьовувань або пропусків при візуальному аналізі. По-третє, практична експлуатація показала, що якість і корисність знімків значною мірою залежать від різноманітних факторів сенсорної і платформної природи: спектральні характеристики камер, кут нахилу, висота польоту, освітленість і погодні умови впливають на можливість ідентифікації невеликих об’єктів. Змінність датчиків у різних БпАК та відмінності в режимах зйомки вимагають від систем обробки гнучких методів калібрування і нормалізації зображень, інакше алгоритми детекції втрачають ефективність при переході між наборами даних.

Ще однією помітною проблемою є обмеженість каналів зв’язку у фронтовій зоні. Через обмежений або ненадійний зв’язок неможливо гарантовано передавати великі масиви необроблених знімків у центральні обчислювальні центри для НРС-аналізу. Це підсилює значущість підходів “edge-обробки” – перенесення частини аналітики на передній край інформаційної мережі або на польові робочі станції, що дозволяє отримувати попередні результати локально й зменшувати потребу в пропускну здатності. Практика показала, що комбінація локальної попередньої обробки та вибіркового “вилучення” найбільш релевантних кадрів для передачі суттєво підвищує оперативність.

На рівні організації роботи дешифрувальних підрозділів виявились інші обмеження: нестача кваліфікованих аналітиків, різний рівень підготовки персоналу та відсутність єдиних стандартів обробки й маркування результатів призводять до неоднорідності вихідних продуктів. (табл. 1) Часто спостерігається ситуація, коли в одному підрозділі дані прив’язані та документовані одним способом, а в іншому – іншим, що ускладнює їх інтеграцію в загальні системи ситуаційної обізнаності. Тому практика показує гостру потребу в уніфікації

форматів експорту й стандартів якості, а також у навчальних програмах, які б готували операторів до роботи з автоматизованими інструментами та інтерпретації результатів ІІІ-моделей.

Незамінним елементом бойового досвіду є також важливість інтеграції результатів дешифрування з існуючими системами ситуаційної обізнаності та управління, зокрема з національними платформами. Приклади польової практики свідчать, що ефективність прийняття рішення суттєво зростає, коли координати й метадані автоматично експортуються у централізовану систему (форматовані, верифіковані та з можливістю відстеження версій), де вони комбінуються з іншими джерелами розвідки. Водночас інтеграція підкреслює потребу у стандартизованих інтерфейсах, сумісних системах координат (наприклад, уніфікація на WGS-84 / UTM) та механізмах синхронізації часу, щоб уникнути логістичних помилок при позначенні цілей.

Практика показала й те, що оптимальна архітектура процесу дешифрування повинна поєднувати автоматичні алгоритми й людський контроль – модель “human-in-the-loop”. Алгоритми ІІІ добре справляються з попередньою фільтрацією, детекцією потенційних цілей та пріоритезацією кадрів, але остаточне підтвердження і тактичне рішення часто потребують кваліфікованого аналітика. Це зумовлює необхідність продуманої організації інтерфейсів користувача, інструментів для швидкої перевірки й корекції автоматичних результатів, а також механізмів аудиту й трасування змін у даних.

Крім технічних і організаційних аспектів, бойовий досвід підкреслив і питання оперативності – час від зйомки до передання вогневого рішення. Навіть значне підвищення точності виявлення не компенсує довготривалої затримки: ефективність розвідувального циклу залежить від сукупності швидкості збору, швидкості обробки та швидкості прийняття рішення. Відтак практична ефективність АПК оцінюється не лише за точністю детекції, а передусім за зниженням загального часу «знімок → вогневе ураження».

На підставі польових спостережень сформувались й технічні вимоги, які стали підґрунтям для проектування АПК: підтримка різних типів сенсорів і форматів, можливість локальної обробки (включно з попередньою фільтрацією й швидкою зйомкою кадрів), модулі калібрування і нормалізації зображень, алгоритми детекції, стійкі до камуфляжу й варіацій умов зйомки, а також захищені канали передачі і механізми роботи в деградованих режимах під впливом РЕБ. Практика також показала користь від модульної архітектури, що дозволяє оперативно

оновлювати окремі компоненти (моделі детекції, комплексу, модулі калібрування) без перевстановлення всього

Таблиця 1

Посади, на яких особовий склад здійснює дешифрування

№ з/п	Найменування посади	ШПК	Код ВОС
1.	Дешифрувальник	солдат	077 ("Дешифрувальник")
2.	Дешифрувальник (аерофотографічної служби)	старший солдат	078 (544078, 677078)
3.	Старший дешифрувальник розвідувальних матеріалів з БпЛА	сержантський склад	740732
4.	Офіцер розвідки (аналітик)	лейтенант – майор	група розвідки 105-107 (ВОС 105 "Оперативна розвідка", 106 "Військова розвідка", 107 "Розвідка частин спецпризначення")
5.	Оператор БпЛА (зовнішній екіпаж)	солдат / сержант	216 "Зовнішні екіпажі БпЛА"; 225 "Експлуатація та ремонт БпЛА"

Джерело: розроблено авторами

Для практичного застосування апаратно-програмних комплексів підтримки прийняття рішень (АПК СППР) у процесі дешифрування аерознімків доцільно виділити кілька типових робочих сценаріїв, які відображають ступінь автоматизації, вимоги до апаратури та інтеграцію з існуючими системами управління і ситуаційної обізнаності. Нами описано базові, розширені та інтегровані сценарії, їх організаційну логіку, послідовність дій і очікувані результати. Для зручності порівняння сценаріїв і ключових вимог використано Таблиці 3 і 4; специфіку визначення координат для різних типів об'єктів - у Таблиці 2; очікувані результати - у Таблиці 5.

Базовий сценарій передбачає застосування АПК на рівні тактичного підрозділу для швидкого перетворення окремих аерозображень у верифіковані координати та короткі розвідувальні донесення. У межах цього сценарію операція починається з імпорту знімків у локальну інстанцію СППР (див. Рис. 1 - "Послідовність обробки знімків"). Далі система виконує попередню обробку (покращення контрасту, фільтрацію шумів), автоматичну детекцію потенційних цілей і проєкцію попередніх координат на карту; оператор-дешифрувальник здійснює швидку верифікацію та корекцію запропонованих точок (human-in-the-loop). Після підтвердження об'єкти експортуються у стандартизованому форматі до внутрішніх журналів або локальної системи управління. Основні переваги цього режиму - оперативність і мінімальні вимоги до пропускну здатності мережі; основні обмеження - обмежені можливості для обробки великомасштабних панорам і зниження точності при складному маскуванні. Деталізацію застосування цього режиму див. у

Таблиці 3 ("Базовий сценарій").

Розширений сценарій орієнтований на підрозділи або польові центри розвідки з потужнішими апаратними ресурсами (мобільні сервери, GPU) і передбачає серію додаткових операцій: зшивка перекриваючих кадрів у панорами, робота з груповими та площинними об'єктами, застосування більш складних алгоритмів сегментації і класифікації, а також автоматична генерація розгорнутих звітів із метаданими. У цьому режимі важлива можливість офлайн-обробки (edge/field processing), коли первинна аналітика виконується локально, з подальшою передачею лише агрегованих результатів або пріоритетованих кадрів до централізованих систем. Розширений сценарій передбачає більш жорсткі апаратні вимоги (див. Таблицю 4) і дозволяє знижувати навантаження на центральні обчислювальні ресурси, одночасно підвищуючи точність і комплексність виявлення та верифікації цілей.

Інтегрований сценарій охоплює роботу АПК у складі єдиного інформаційного простору - повну інтеграцію з платформою ситуаційної обізнаності (наприклад, "Delta"). Тут АПК виступає як модуль джерела розвідданих: автоматично передає підтверджені координати, метадані, фото/панорами та індекси довіри у стандартизованому форматі, синхронізованому з обліком часу і системою координат (WGS-84/UTM). Такий режим дозволяє реалізувати наскрізний цикл "знімок → аналіз → рішення → ураження" з мінімальними відхиленнями у часу та форматі даних. Інтегрований сценарій вимагає не лише потужного апаратного забезпечення та надійних протоколів захисту, але й уніфікованих процедур валідації та контролю якості (табл. 4, табл. 5).



Рис. 1. Послідовність обробки знімків у спеціальному програмному забезпеченні

Джерело: розроблено авторами

Таблиця 2

Методи визначення координат різних типів об'єктів

Тип об'єкта	Метод визначення координат
Точкові (елементарні) об'єкти	Геометричний центр об'єкта
Групові (складні) об'єкти	Центр найбільш важливого одиночного об'єкта
Площинні об'єкти з будівлями	Кут будівлі, окрема невелика будова або архітектурний елемент
Великі площинні об'єкти	Координати окремих важливих об'єктів у складі
Правильні прямокутні споруди	Геометричний центр споруди
Дороги	Центр перехрестя
Польові інженерні споруди	Центр найбільш важливого об'єкта у складі
Траншеї	Геометричний центр траншеї
Аеродроми	Геометричний центр основної злітно-посадкової смуги

Джерело: розроблено авторами

Таблиця 3

Сценарії використання АПК СППР

Сценарій	Характеристика
Базовий сценарій	Автоматизоване визначення координат одиночних об'єктів та їх експорт у систему ситуаційної обізнаності.
Розширений сценарій	Обробка групових і площинних об'єктів, формування звітів, робота в офлайн-режимі.
Інтегрований сценарій	Повна інтеграція з платформою Delta, автоматичне оновлення даних у режимі реального часу.

Джерело: розроблено авторами

Таблиця 4

Основні вимоги АПК СППР

Група вимог	Зміст
Функціональні	Автоматичне визначення координат, обробка великих масивів даних, підтримка різних типів зображень.
Апаратні	Працездатність у польових умовах, сумісність із ноутбуками та мобільними станціями, стійкість до завад.
Організаційні	Можливість роботи офлайн, швидке навчання персоналу, уніфіковані стандарти експорту даних.
Кіберстійкість	Захист від впливу РЕБ, безпечне зберігання даних, стійкість моделей ІШ.

Джерело: розроблено авторами

Крім поділу за рівнем автоматизації, сценарії також можна характеризувати за способом розгортання: стаціонарні польові центри (з великими ресурсами обробки – НРС/GPU), мобільні робочі станції (ноутбук + зовнішній акумулятор + невеликий GPU/TPU) та вбудовані/на борту (базовий попередній фільтр і детектор на БпАК або в наземному контролері). Кожен із цих варіантів має власний набір пріоритетів: стаціонарні – максимальна точність і комплексна аналітика; мобільні – баланс між точністю й оперативністю; вбудовані – мінімальні часові затримки з обмеженими обчислювальними можливостями. Існує природна взаємодоповнюваність: попередня фільтрація на борті/мобільних станціях дозволяє зменшити обсяг даних для передачі у стаціонарний центр, де виконується глибока аналітика.

Ключовим елементом для всіх сценаріїв є механізм пріоритезації і тривожних повідомлень: АПК має оцінювати релевантність виявлених об'єктів за набором критеріїв (ризик, тип об'єкта, ймовірність цілі, зміна позиції) і позначати ті, що вимагають найшвидшої уваги. Такий механізм скорочує час реакції, бо дозволяє передавати звужені пакети інформації першого пріоритету – наприклад, кадри з виявленими рухомими одиницями техніки чи інженерними спорудами, що змінюються. Рекомендується використовувати багатофакторний підхід (включно з метаданими: час зйомки, курс БпАК, експозиція), щоб уникати помилкових сигналів від ефектів освітлення чи локальних перешкод.

Організаційні аспекти впровадження сценаріїв не менш важливі: необхідна чітка регламентація ролей (хто виконує локальну верифікацію, хто відповідає за експорт даних у “Delta”, хто підписує розвідувальні донесення), встановлення стандартів форматів обміну, а також програми навчання для персоналу. Зокрема, у базовому сценарії оператор має бути навченим робити швидку верифікацію й виправлення автопропозицій; у розширеному – також розуміти методи калібрування сенсорів і параметри алгоритмів; у інтегрованому – володіти навичками інтеграції в C2/SA середовища і процедурою контролю якості перед передачею у загальну систему. Рекомендовано включити шаблони звітів і чек-лісти для швидкої перевірки, що зменшить людські помилки та полегшить подальшу автоматизацію.

З точки зору забезпечення якості результатів, особливу увагу слід приділити стратегіям тестування та валідації моделей в умовах бойового застосування: регулярне тестування на наборах даних із різною якістю зйомки, введення “контрольних” незіставлених знімків для перевірки

стійкості до маскуванню, та впровадження механізмів зворотного зв'язку, коли підтверджені полем дані використовуються для донавчання моделей. Такі підходи дозволяють підвищувати надійність детекції при збереженні оперативності – особливо важливо для розширеного і інтегрованого сценаріїв.

Підсумовуючи, сценарії використання АПК СППР демонструють послідовність нарощування складності – від простих локальних операцій до повністю інтегрованих рішень у масштабі підрозділу чи оперативного об'єднання. Для кожного сценарію важливо чітко визначити канал обробки даних, межі автоматичної обробки і ступінь людського контролю, а також забезпечити відповідні апаратні, програмні та організаційні заходи (див. Таблиці 2...5 і рис. 1). Такий підхід забезпечить поетапну впроваджувальність АПК у війська й дасть змогу поступово збільшувати ступінь автоматизації без втрати надійності та контролю.

Основні вимоги до АПК СППР

Функціонування апаратно-програмних комплексів підтримки прийняття рішень у процесі дешифрування аерознімків має базуватися на чітко визначених вимогах, що гарантують їхню ефективність, надійність та сумісність із наявною інфраструктурою управління військами. Не виключенням є і самі засоби, що здійснюють зйомку. Ці вимоги умовно можна поділити на чотири основні групи: функціональні, апаратні, організаційні та вимоги до кіберстійкості (див. табл. 4).

Функціональні вимоги. До найважливіших функціональних характеристик належить здатність автоматично визначати координати об'єктів різних типів (точкових, лінійних і площинних) із мінімальними похибками. Система повинна підтримувати обробку як окремих кадрів, так і панорам, що утворюються шляхом зшивання знімків. Обов'язковим є використання алгоритмів детекції, класифікації та пріоритезації виявлених цілей для скорочення часу реакції. Важливою функцією є інтеграція з геоінформаційними платформами та системами ситуаційної обізнаності, що дозволяє оперативно передавати дані у вигляді координат, метаданих та розвідувальних звітів.

Апаратні вимоги. Система повинна забезпечувати стабільну роботу в польових умовах із підвищеними навантаженнями, температурними коливаннями та вібраціями. Необхідна підтримка мобільних апаратних рішень (польові ноутбуки, мобільні сервери з GPU), які дозволяють працювати навіть при обмежених енергетичних ресурсах. Важливою вимогою є масштабованість: можливість розгортання АПК як на стаціонарних центрах обробки, так і на борту безпілотних авіаційних комплексів або мобільних пунктів управління.

Організаційні вимоги. Ефективність АПК залежить не лише від технологій, а й від правильного впровадження в організаційну структуру військових підрозділів. У цьому контексті критичною є уніфікація форматів даних, підтримка стандартів (зокрема WGS-84/UTM), а також створення інтерфейсів, зрозумілих для операторів різного рівня підготовки. Система повинна бути простою в освоєнні та мати модульну архітектуру, що дозволяє поступове нарощування функціональності без складних інтеграційних процедур. Додатково необхідно передбачити навчальні програми для персоналу, включно з тренажерами та навчальними сценаріями для роботи з автоматизованими алгоритмами дешифрування.

Вимоги до кіберстійкості та захисту. З огляду на активне застосування противником засобів

радіоелектронної боротьби (РЕБ) та кібератак, АПК повинні мати механізми захисту каналів передачі даних, резервування зв'язку та підтримку роботи в деградованих умовах. Алгоритми штучного інтелекту мають бути стійкими до ворожих спроб введення “шумових” даних або створення хибних цілей. Система також повинна включати багаторівневі засоби автентифікації користувачів і шифрування даних, що гарантує безпеку переданої інформації навіть у випадку перехоплення каналів.

Таким чином, основні вимоги до АПК СППР формують комплексний підхід, що поєднує технологічні, організаційні та безпекові аспекти. Їх дотримання є передумовою створення ефективного інструменту, здатного забезпечити оперативність, точність і стійкість процесу дешифрування аерознімків у реальних бойових умовах.

Таблиця 5

ТТХ БпЛА, що здійснюють аерозйомку

Напря́м	Очі́кувані результати
Оперативність	Скорочення часу від отримання знімків до видачі готових координат і звітів.
Точність	Зменшення кількості помилок у визначенні координат завдяки використанню алгоритмів ШІ.
Ситуаційна обізнаність	Безперервне оновлення інформації у системі “Delta” та підвищення рівня поінформованості командування.
Стійкість	Можливість роботи в умовах обмеженого зв'язку та впливу засобів РЕБ.
Ефективність управління	Скорочення циклу “розвідка – аналіз – рішення – ураження”.
Підготовка персоналу	Зниження вимог до рівня кваліфікації операторів завдяки автоматизації ключових процесів.

Джерело: розроблено авторами

Впровадження апаратно-програмних комплексів підтримки прийняття рішень у процесі дешифрування аерознімків дозволить суттєво підвищити ефективність розвідувально-ударних дій Збройних Сил України. Основним результатом стане скорочення часу розвідувального циклу, тобто проміжку між отриманням аерознімків і передачею підтверджених координат у систему управління та вогневого ураження. Це безпосередньо зменшує ризик втрати актуальності розвідданих і збільшує ймовірність успішного ураження противника.

Другим ключовим результатом є зростання точності визначення координат об'єктів. Завдяки поєднанню алгоритмів комп'ютерного зору, методів сегментації та автоматизованого калібрування сенсорних даних, система дозволяє мінімізувати похибки, що виникають при використанні ручних методів дешифрування. Це особливо важливо в умовах, коли противник активно застосовує маскування, фальшиві цілі та змінює конфігурацію бойових порядків.

Третім важливим результатом стане підвищення рівня ситуаційної обізнаності командування. Інтеграція АПК СППР з платформою “Delta” та іншими інформаційними системами забезпечить централізоване відображення координат, метаданих і фотоматеріалів у реальному часі. Це створює багаторівневу картину поля бою, яка може бути

використана як на тактичному, так і на оперативному рівнях управління.

Четвертим результатом є стійкість розвідувальних процесів до впливу РЕБ і перебоїв у зв'язку. Завдяки можливості роботи в офлайн-режимі, локальному збереженню результатів та використанню резервних каналів передачі даних система дозволяє підтримувати безперервність дешифрувальної діяльності навіть у деградованих умовах.

П'ятим результатом стане зниження залежності від людського фактора. Використання автоматизованих алгоритмів попереднього аналізу та пріоритизації кадрів зменшує навантаження на операторів і дозволяє залучати меншу кількість висококваліфікованих спеціалістів для підтвердження результатів. Це спрощує підготовку персоналу та зменшує час на прийняття тактичних рішень.

Нарешті, впровадження АПК СППР сприятиме оптимізації структури управління: створення єдиного інформаційного простору дозволить об'єднати зусилля різних підрозділів, уникнути дублювання функцій і забезпечити швидке реагування на зміни в бойовій обстановці.

Узагальнення зазначених ефектів наведено у Таблиці 5. Таким чином, очікувані результати впровадження АПК СППР доводять їхню критичну

роль у підвищенні боєздатності військ, скороченні часу прийняття рішень та забезпеченні переваги у сучасній війні високих технологій.

Висновки

Для ефективної та оперативної роботи систем дешифрування аерознімків у військових умовах необхідно забезпечити прийом, обробку й інтеграцію видової розвідувальної інформації з різних джерел – безпілотних і пілотованих платформ, супутникових знімків та інших розвідувальних джерел – у різних спектральних діапазонах та форматах, з урахуванням особливостей сенсорів, умов зйомки і преобробки. Уніфікація форматів обміну та приведення даних до єдиної системи координат (WGS-84/UTM) є передумовою коректної агрегації та подальшого використання результатів дешифрування. Сформовано технічний і функціональний образ апаратно-програмного комплексу підтримки прийняття рішень (АПК СППР), який має виконувати приймання і попередню обробку знімків (фільтрація, корекція, зшивка), автоматичне виявлення та класифікацію об'єктів, визначення та верифікацію координат, генерацію розвідувальних продуктів і передачу їх у системи ситуаційної обізнаності. Ключовими функціями комплексу також повинні бути пріоритезація тривожних подій, трасування змін і реалізація режиму human-in-the-loop для остаточної валідації результатів.

Для реалізації вказаних функцій АПК СППР має включати інформаційно-комунікаційну підсистему (модулі прийому/передачі та інтеграційний шлюз для обміну з геопорталами і платформами типу “Delta”), апаратно-обчислювальну підсистему (edge-модулі для польових умов, мобільні робочі станції, стаціонарні центри НРС/GPU), програмні модулі обробки зображень і ІІІ (алгоритми детекції, класифікації, калібрування сенсорів) та модуль кіберзахисту й забезпечення стійкості до РЕБ (шифрування, резервування каналів, деградуючі режими). Технічні характеристики компонентів системи повинні гарантувати необхідні режими роботи, пропускну спроможність, сумісність форматів і протоколів передачі, а також стандарти валідації і контролю якості даних.

Впровадження модульної архітектури з можливістю оновлення окремих компонентів (зокрема моделей ІІІ і модулів калібрування) є критично важливим для адаптивності системи в динамічних бойових умовах. Поєднання локальної (edge) обробки з централізованими розгорнутими розрахунками забезпечує баланс між оперативністю та глибиною аналітики, знижує навантаження на канали зв'язку і підвищує стійкість до деградації мережі. Реалізація запропонованих рішень приведе до очікуваних позитивних ефектів: скорочення часу від отримання знімка до прийняття рішення, підвищення точності визначення координат, покращення ситуаційної обізнаності командування та зниження навантаження на людські ресурси завдяки автоматизації попереднього аналізу і пріоритезації кадрів. Водночас ефективність АПК залежить і від супутніх організаційних заходів – уніфікації процедур, стандартів обміну, навчання персоналу та системи валідації результатів.

Апаратно-програмний комплекс СППР виконує не лише функцію збору і збереження телеметричних даних, але й забезпечує інтелектуальну підтримку оператора на етапах дешифрування та аналізу аерозображень. Завдяки алгоритмам автоматичного виявлення об'єктів і попереднього маркування зон інтересу, система скорочує час імовірного розпізнавання та зменшує вплив людського фактора під час ухвалення рішення.

Напрями подальших досліджень. На підставі проведеного аналізу доцільно формалізувати технічні вимоги до всіх компонентів перспективного АПК СППР: обчислювальні ресурси й енергетичні характеристики мобільних модулів, параметри сенсорів, інтерфейси обміну даними та формати метаданих. Потрібно розробити та апробувати набори тестових даних і процедури валідації моделей ІІІ, орієнтовані на умови бойового маскування і деградованих каналів зв'язку, з включенням механізмів донавчання на підставі підтверджених польових даних. Також слід дослідити архітектури edge-обробки і гібридні апаратні рішення для забезпечення реального часу попередньої аналітики без необхідності передавання великих обсягів даних у центри.

Список літератури

1. Житомирський військовий інститут ім. С. П. Корольова. Настанова з бойового застосування безпілотних авіаційних комплексів класу І: [проект]. Житомир, червень 2021. – 45 с.
2. Правила технічної експлуатації безпілотних авіаційних комплексів І класу державної авіації України : проект нормативного документа. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.mil.gov.ua/content/regulatory_acts/2017/project_new.pdf (дата звернення: 17.04.2025).

3. Тимчасове керівництво з бойової роботи підрозділів безпілотних авіаційних комплексів ракетних військ і артилерії Збройних Сил України. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://sprotyvg7.com.ua/wp-content/uploads/2024/10/Bojova_robota_uav_artillery.pdf (дата звернення: 17.04.2025).
4. Міністерство оборони України. Про використання в системі Міністерства оборони України топографічних карт у світовій геодезичній системі WGS-84, картографічній проекції Меркатора (UTM) : наказ від 13 березня 2023 р. № 132.
5. ISO/IEC/IEEE 29148:2018. Systems and software engineering – Life cycle processes – Requirements engineering : international standard. Geneva : ISO, 2018. – 134 с.
6. ISO/IEC 19505-2:2012. OMG Unified Modeling Language (UML) – Superstructure, § 16.3.1 Actor. Geneva : ISO, 2012. – 746 с.
7. Cockburn A. Writing Effective Use Cases. Boston : Addison-Wesley, 2001. – 270 с.
8. MIL-STD-810G. Department of Defense Test Method Standard: Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests. Washington (DC) : U. S. Department of Defense, 31 жовт. 2008. – 805 с. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.atec.army.mil/publications/Mil-Std-810G/Mil-Std-810G.pdf> (дата звернення: 17.04.2025).
9. Українська система ситуаційної обізнаності на полі бою Delta успішно пройшла випробування НАТО. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://babel.ua/news/96146-ukrajinska-sistema-situacijnosti-obiznanosti-na-poli-boyu-delta-uspishno-proyshla-viprobuvannya-nato> (дата звернення: 17.04.2025).
10. Laghari A. A., Shaikh A., Channa N. Unmanned aerial vehicles advances in object detection in remote sensing environments // Visual Computing for Industry, Biomedicine, and Art. 2024. 7(1). – P. 15. DOI: <https://doi.org/10.1186/s42492-024-00109-1>.
11. Yang J., Chen L., Li X. Onboard Real-Time Hyperspectral Image Processing Using FPGA-ARM Architecture // Sensors. 2025. 25(15). – P. 4822. DOI: <https://doi.org/10.3390/s25154822>.
12. Zhen X., et al. Systematic literature review of AI algorithms applied to UAV image processing and computer vision // Journal of Applied Remote Sensing. 2024. 18(2). P. 028501. DOI: <https://doi.org/10.1117/1.JRS.18.028501>.
13. Al-Mashaqbeh I. A., Alnajjar F. Implementation and Evaluation of High Performance Computing for Massive UAV Aerial Data Processing: A Performance Review // Journal of Cloud Computing. 2024. 13. P. 45. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13677-024-00450-9>.
14. Kizielewicz B., Żelazny S., Mikołajewski D. Multi-criteria decision support system for the evaluation of UAV sensor selection // Artificial Intelligence Review. 2025. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10462-025-11201-1>.

Надійшла до редколегії 28.09.2025

Схвалена до друку 12.11.2025

Відомості про авторів:

Кравець Тарас Мирославович

кандидат географічних наук
доцент
доцент кафедри комплексів та приладів артилерійської розвідки
Національної академії сухопутних військ
імені гетьмана Петра Сагайдачного,
Львів, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-5398-7441>

Поляков Артем Юрійович

старший науковий співробітник
Державного науково-дослідного інституту авіації,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0009-0006-9251-4093>

Information about the authors:

Taras Kravets

Candidate of Geographic Sciences
Associate Professor
Associate Professor of the Department of Artillery
Reconnaissance Systems and Devices
of Hetman Petro Sahaidachny
National Army Academy,
Lviv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-5398-7441>

Artem Poliakov

Senior Researcher
of State Research Institute of Aviation,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0009-0006-9251-4093>

APPLICATION OF DECISION SUPPORT SYSTEMS IN AERIAL IMAGE INTERPRETATION: WAR EXPERIENCE

T. Kravets, A. Poliakov

The article examines the application of hardware-software decision support systems (DSS) in the interpretation of aerial photographs under modern wartime conditions. The subject of the research is the process of automation of aerial reconnaissance data analysis using specialized software-hardware tools. The topic is focused on enhancing the efficiency, accuracy, and timeliness of image interpretation by integrating artificial intelligence (AI) and geoinformation systems into the military decision-making cycle. The aim of the study is to formulate requirements for such DSS and to assess their role in improving operational decision-making processes within the Armed Forces of Ukraine.

The research methodology includes the analysis of combat experience during the Russian-Ukrainian war (2022–2025), expert surveys of military photo interpreters, systemic design of DSS functional modules, and modeling of use-case scenarios. Comparative analysis of manual versus automated interpretation was also applied to identify the key advantages and limitations of existing approaches.

The results of the study include the identification of major challenges in the interpretation process, such as adversary camouflage techniques, high volume of reconnaissance imagery (thousands of images per UAV flight), limited availability of trained analysts, and difficulties with internet access in frontline conditions. Based on these findings, general functional and hardware requirements for DSS were developed, including automated object detection, coordinate determination in MGRS and geographic systems, generation of intelligence reports, and integration with the situational awareness platform “Delta.”

The conclusions underline that the deployment of DSS enables significant acceleration of the reconnaissance cycle “detection – analysis – decision – strike”, reduces human error, and improves situational awareness at tactical and operational levels. The research demonstrates that such systems can minimize the negative impact of electronic warfare and resource shortages, while ensuring resilience and offline operability. The practical application of the results lies in guiding the development, testing, and field implementation of new DSS solutions for the Armed Forces of Ukraine and allied defense structures.

Keywords: aerial photographs, interpretation, decision support system, hardware-software complex, combat experience, situational awareness, artificial intelligence.