

УДК 621.39

В.В. Бараннік<sup>1</sup>, О.П. Давикоза<sup>2</sup>, О.П. Мусієнко<sup>1</sup>, Д.А. Тарасенко<sup>3</sup><sup>1</sup> Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків<sup>2</sup> Командування Повітряних Сил Збройних Сил України, Вінниця<sup>3</sup> Черкаський державний технологічний університет, Черкаси

## ОБҐРУНТУВАННЯ НАПРЯМКУ ПІДВИЩЕННЯ ОПЕРАТИВНОСТІ ДОСТАВКИ ІНФОРМАЦІЇ У АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМАХ ОБРОБКИ РОЗВІДУВАЛЬНИХ ДАНИХ

В статті розглядаються актуальні питання, пов'язані з обробкою цифрових аерофотознімків у безпілотних авіаційних комплексах (БаК) повітряної розвідки. Проводиться узагальнений аналіз українських БаК, існуючих каналів передачі даних та будується відповідна залежність інформаційної інтенсивності сформованих аерофотознімків від швидкості передачі даних по каналах зв'язку. Обґрунтовується необхідність зменшення інформаційної інтенсивності аерофотознімків за умови збереження ключових ознак (контурні та яскравісні складові) об'єктів повітряної розвідки. Створюється узагальнена інформаційна технологія обробки аерофотознімків для підвищення оперативності доставки інформації в автоматизованих системах обробки розвідувальних даних.

**Ключові слова:** безпілотний комплекс, аерофотознімок, трансформанта, надмірність, кодування.

### Вступ

#### Постановка проблеми в загальному вигляді.

В даний час, в системі повітряної розвідки, широке розповсюдження отримали цифрові аерофотознімки, реєстровані в процесі польоту безпілотними авіаційними комплексами. Потреба аерофотознімків в системі повітряної розвідки виникла в результаті зростання локальних конфліктів, надзвичайних ситуацій і катаклізмів, спеціальних операцій, а також різних завдань з боку урядових і відомчих (профільних) організацій. До того ж підвищення вражаючих засобів збройної боротьби і маневрених можливостей спеціальних військ призвело до збільшення територіальних масштабів різних загроз та ситуацій [1]. Тут, в першу чергу, виникає потреба в отриманні аерофотознімків в реальному масштабі часу, з борту БаК на землю, в пункт обробки інформації. З іншого боку, аерофотознімки повинні відповідати достовірності, цілісності інформації та заданій якості (роздільній здатності та детальності), що необхідно для якісного дешифрування. Це вимагає не тільки збільшення об'єму вихідних аерофотознімків, але й передачі інформації в реальному масштабі часу, з метою запобігання критичних ситуацій та своєчасного прийняття рішення. Проте існуючі технології щодо обробки та передачі аерофотознімків в реальному часі призводять до швидкого старіння інформації та, як наслідок, втрати її достовірності та актуальності [2].

Отже, виникає протиріччя, обумовлене тим, що з одного боку, для підвищення оперативності доставки аерофотознімка необхідно зменшувати його інформаційну інтенсивність. З іншого боку, для підвищення правильності прийняття рішення в процесі дешифрування необхідно підвищувати роздільну здатність ае-

рофотознімка і зберігати інформацію про ключові ознаки дешифрування, що призводить до інформаційного навантаження на канал передачі даних.

Враховуючи вищесказане, актуальним завданням є підвищення оперативності доставки аерофотознімків в автоматизованих системах обробки розвідувальних даних.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Поведений аналіз методів обробки зображень в [3–6] показав, що в існуючих методах недостатньо опрацьована технологія, що враховує семантичну складову оброблюваних аерофотознімків. В цілому, з одного боку це призведе до зменшення часу обробки на етапі кодування інформації. Однак в остаточному підсумку можуть виникнути питання, пов'язані з порушенням семантичного змісту вихідного аерофотознімка, тобто втрати деякої частини інформації.

Існуючим методам обробки зображень на базі JPEG-платформи властиві такі недоліки [3]:

– рівномірний розподіл елементів зображення не враховує семантичну навантаження блоків аерофотознімка;

– зниження роздільної здатності зображення порушує досягнення необхідного рівня детальності об'єктів повітряної розвідки, що призводить до втрати інформації по всьому аерофотознімку.

Значить, існуючі технології обробки зображень на базі JPEG-платформи не забезпечують вчасну доставку інформації при заданій якості дешифрування аерофотознімків. Тому, необхідно створити таку інформаційну технологію, яка дозволить:

– досягти зниження інтенсивності переданих даних в реальному масштабі часу, на основі отриманих класів семантичної насиченості блоків аерофотознімки;

– забезпечити необхідний рівень збереження цілісності інформації про ключові ознаки дешифрування;

– забезпечити оперативність доставки аерофотознімків в системі повітряної розвідки.

Розробку узагальненої технології необхідно формувати з врахуванням усунення проблемних недоліків щодо кодування компонентного представлення трансформант. На основі цього пропонується розробити технологію щодо обробки трансформант з врахуванням класів семантичної насиченості блоків, а також внесенням в них необхідного рівня збереження інформації о ключових ознаках дешифрування. Такий підхід дозволить забезпечити зниження інтенсивності передаваних даних із збереженням ключової інформації. Однак необхідно врахувати, що зниження інформаційної інтенсивності з врахуванням забезпечення необхідної якості інформації про ключові ознаки дешифрування буде в значній мірі залежати від ступеня насиченості блоків аерофотознімка дрібними деталями.

Значить, виникає необхідність в обробці знімків на борту безпілотного комплексу, враховуючи ступінь насиченості кожного блоку.

Таким чином, метою статті є розробка узагальненої інформаційної технології обробки аерофотознімків у безпілотних авіаційних комплексах повітряної розвідки.

## Виклад основного матеріалу

Ключовим напрямом отримання розвідувальної інформації для системи управління є використання безпілотних комплексів [1–2]. Безпілотні та пілотовані літальні апарати, входять в окремі розвідувальні полки, бригади тактичної авіації та ескадрильї. Тут потрібно враховувати, що близько 80 % усієї інформації добувається шляхом використання безпілотних авіаційних комплексів. Це надає можливість підвищити маневреність в автоматизованих системах обробки розвідувальних даних.

Серед сучасних БАК українського виробництва, які застосовуються українськими військовими під час проведення воєнних операцій, можна виділити наступні моделі: «Фурія», «Spectator», «Patriot», «Сокол», «Microvisor», «UaViter», «Небесний патруль».

Тактико-технічні характеристики основних представників БАК повітряної розвідки українського виробництва приведені в табл. 1.

Таблиця 1

ТТХ безпілотних комплексів українського виробництва

Параметри	Фурія	Spectator	Небесний патруль	Patriot	UaViter	Сокол	Microvisor
Злітна маса, кг	5,5	5,5	100	3,6	–	–	2
Маса конструкції, кг	–	7	125	–	–	6	8
Максимальна висота, км	2,5	2	3	2	0,5-4	5	2,5
Максимальна швидкість руху, км/год	130	120	192	65	–	100-120	–
Час польоту, ч	2-3	2	5	0,75	10-15	2	0,9

Сучасні безпілотні літальні апарати, як правило, оснащуються апаратурою корисного навантаження, базовий комплект яких включає оптико-електронну систему з фототелевізійною, інфрачервоною та тепловою камерами. Це дозволяє забезпечити повітряну розвідку даними про різноманітні свої об'єкти, а також об'єкти супротивника в різний час доби, в умовах бойової обстановки. Досвід локальних військових конфліктів останніх десятиліть і сьогоднішня інтенсивність застосування БАК показує важливість рішення завдань повітряної розвідки на тактичній і оперативно-тактичній глибині введення повітряної розвідки. Вихідний об'єм аерофотознімків, що сформовані на борту БАК буде залежати від режиму знімання, а також способу формування відеокадрів і аерофотознімків у бортовому комплексі (розмірність ПЗС-матриці оптико-електронної апаратури). Так, знаючи вимоги до роздільної здатності аерофотознімка ми можемо визначити цифровий об'єм вихідного аерофотознімка, що формується фотоапаратурою на борту БАК.

У табл. 2 приведені характеристики ПЗС-матриць, встроєних в оптико-електронних системах,

що встановлюються на безпілотних комплексах, а також вихідні об'єми формованих аерофотознімків [2]. Звідки видно, що з підвищенням розмірності ПЗС-матриці оптико-електронної апаратури відбувається значне зростання інформаційної інтенсивності аерофотознімків.

Найбільш перспективною системою зв'язку, що встановлюється на безпілотні комплекси, є дуплексна/напівдуплексна і симплексна системи передачі інформації, що представлена в табл. 3 [1–3]. Лінія радіозв'язку БПЛА і наземного комплексу управління забезпечує в загальному випадку двосторонній обмін інформацією між бортовою і наземною апаратурою.

Для передачі відеопотоку чи зображень, з бортового комплексу БАК на пункт обробки інформації, використовується односторонній високошвидкісний канал передачі даних. Передача інформації здійснюється за допомогою широкого набору бортових передавальних пристроїв, представлених в табл. 4, працюючих в діапазоні НВЧ, на частотах: 2,4 МГц; 5,8 ГГц; 10 ГГц; 14 ГГц; 28 ГГц [2].

Таблиця 2

## Технічні характеристики цифрових камер бортових систем

Характеристики Модель	Розмір матриці/діагональ, мм	Ефективна кількість пікселів, М/пкс	Розрядність елементів, біт	Об'єм зображення, М/біт
Lumix DMC - GF2	17,3×13,0/21,6	12,1 (4000 x 3000)	24	288
Olympus PEN - E - PL3	17,3×13,0/21,6	12,3 (4032 x 3042)	24	294,4
Samsung NX1100	23,5×15,7/28,3	20,6 (5472 x 3648)	24	479,1
Sony NEX - 3	23,4×15,6/28,1	14,2 (4912 x 3264)	24	384,8
Sony NEX - 5	23,4×15,6/28,1	14,1 (4592 x 3056)	24	320,8
Sony NEX - 7	23,5×15,6/28,2	24,3 (6000 x 4000)	24	549,6
Nikon D800	35,9×24/43,2	36,3 (7360 x 4912)	24	867,7
Canon EO550 - D	22,3×14,9/26,8	18 (5184 x 3456)	24	430

Таблиця 3

## Напрямок системи зв'язку між БаК та наземним пунктом

	Тип каналу зв'язку	
	Напрямок передачі інформації у БПЛА	Швидкість передачі інформації
Передача командно-телеметричних даних	наземний пункт-бортовий комплекс бортовий комплекс-наземний пункт	Існуюча: 56 Кбіт/с
Передача видової інформації (відеокадри, фотозображення)	бортовий комплекс-наземний пункт	Існуюча: 256-512 Кбіт/с
		Перспективна: до 20 Мбіт/с

Таблиця 4

## Характеристики цифрових радіоліній БаК

Апаратура зв'язку	Частотний діапазон радіолінії	Тип	Параметри
Високошвидкісна симплексна система передачі інформації	2,4–2,4835 ГГц	Цифрова (передача даних корисного навантаження)	Швидкість передачі даних – 20 Мбіт/с; смуга займаних частот – 5–20 МГц; дальність по прямій видимості – 30 км.
Низькошвидкісна напівдуплексна система передачі інформації	2,4–2,4835 ГГц	Цифрова (передача командно-телеметричних даних)	Швидкість передачі даних – 115,2–256 Кбіт/с; дальність смуга займаних частот – 3 МГц; дальність по прямій видимості – 30 км.

Аналіз табл. 1–4 показує, що сформовані аерофотознімки на борту БаК досягають значних об'ємів інформації. Існуючі радіолінії зв'язку характеризуються обмеженою пропускнуою здатністю для обміну інформацією між бортовим комплексом БаК та наземним пунктом. Отже, система збору, обробки, а також канали передачі даних на існуючих бортових комплексах не забезпечують повний запис і передачу потоку відеоінформації. Внаслідок цього виникають часові затримки обробки і передачі даних, а також спотворення в зображеннях (втрачається роздільна здатність аерофотознімка) в процесі передачі інформації [2]. Це призводить до зменшення ефективності системи повітряної розвідки із використанням безпілотних комплексів.

На рис. 1 показана залежність сумарного часу доставки інформації від розмірності аерофотознімка і швидкості передачі даних по лінії радіозв'язку. Звідки можна зробити такі висновки, що: час передачі одного аерофотознімка з БК БПЛА на ПК залежно від розмірності і швидкості передачі даних по лінії радіозв'язку відповідає в межах від 0,2 хв. до 56 хв.

Видно, що при передачі аерофотознімків по низькошвидкісним лініям радіозв'язку (256 Кбіт/с і 512 Кбіт/с) відбувається значний ріст складової часу передачі. З ростом розмірності ПЗС-матриці, з урахуванням існуючої продуктивності бортових систем зв'язку БаК, видно, що час обробки та передачі можуть досягати десятка хвилин (максимальний час близько 56 хв.).

Так, залежно від пропускної здатності каналу зв'язку, а також об'єму передаваних аерофотознімків відбуваються затримки відносно доставки інформації, що представлено на рис. 1. Звідси видно, що з ростом інформаційної інтенсивності аерофотознімків відбувається збільшення часу доставки інформації при передачі по каналах зв'язку. Звідси можна стверджувати, що це призводить до зниження ефективності управління військами (силами), засобами та озброєнням.

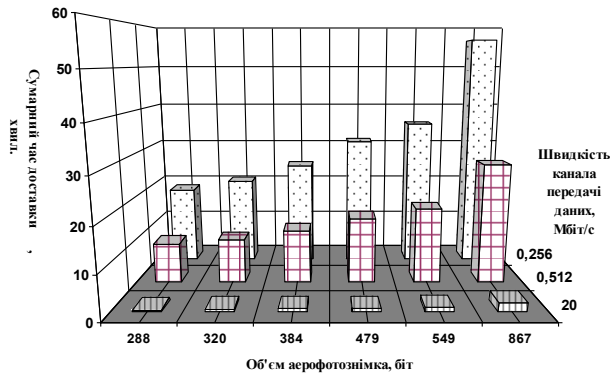


Рис. 1. Оцінка залежності сумарного часу доставки інформації від об'єму аерофотознімка і швидкості передачі даних

### Розробка узагальненої інформаційної технології обробки аерофотознімків

Узагальнена інформаційна технологія обробки аерофотознімків розробляється з врахуванням виділення семантично важливої інформації. Тобто, під час обробки аерофотознімків пропонується враховувати класи насиченості блоків, що дозволить виділя-

ти ключову інформацію із збереженням ознак дешифрування.

Розділення блоків аерофотознімків на класи семантичної насиченості дозволяє адаптувати процес скорочення надмірності відносно вимог по збереженню інформації щодо ключових ознак дешифрування. При здійсненні кодування аерофотознімків відбувається усунення психовізуальної надмірності. Тут налаштування процесу скорочення психовізуальної надмірності відносно класу блоку аерофотознімка за ступенем насиченості ключовими ознаками дешифрування здійснюється з використанням кроку квантування. З одного боку, це дозволяє зберегти ключову інформацію, а з іншого додатково зменшити інформаційну інтенсивність аерофотознімків.

На рис. 2 приведена узагальнена інформаційна технологія обробки аерофотознімків, яка представлена наступними кроками [3]:

1. Формування вихідного цифрового аерофотознімка та його переведення з кольорового простору RGB в кольороворізнисний простір YUV.

2. Другий крок пов'язаний з переведенням із просторово-часового подання блоків в частотно-спектральне. Технологія кодування блоків аерофотознімка на цьому етапі полягає в сегментації вихідного цифрового аерофотознімка на блоки розмірністю  $8 \times 8$ . Далі виконується дискретне косинусперетворення. Тут кожен блок аерофотознімка піддається ортогональним перетворенням для виділення семантично важливої інформації, яка необхідна для подальшого ефективного дешифрування.

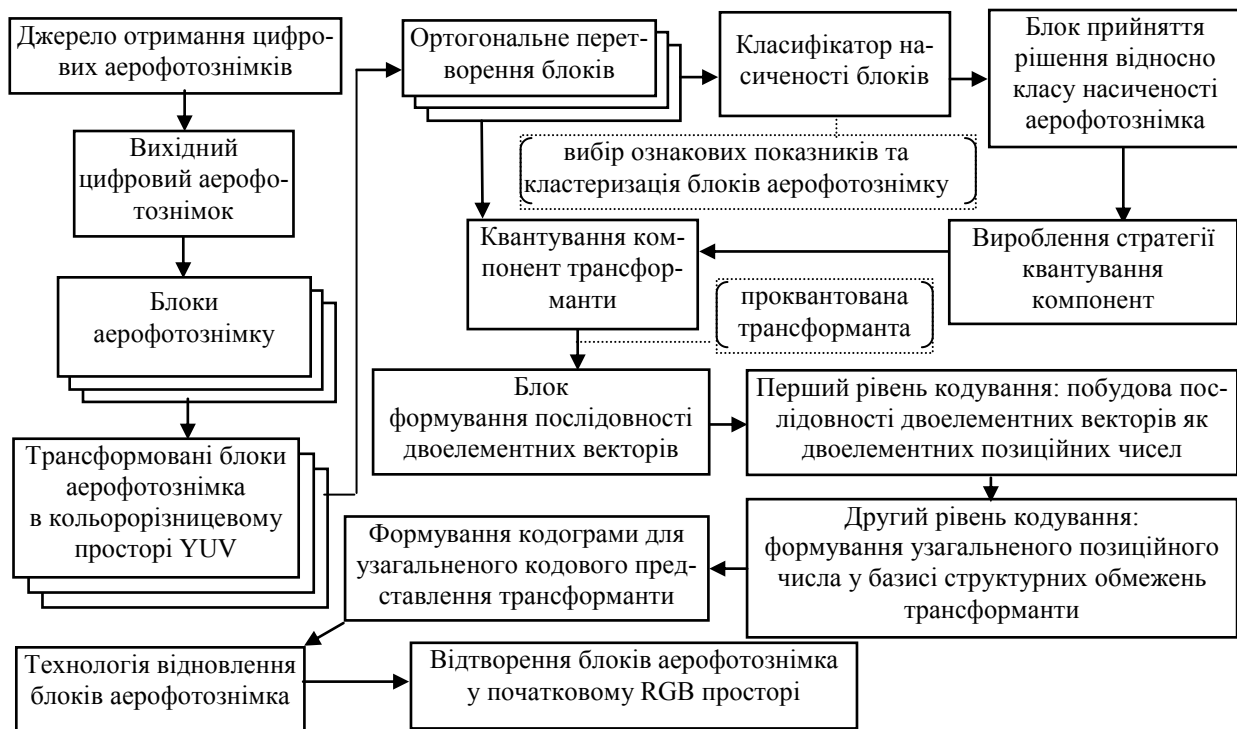


Рис. 2. Узагальнена інформаційна технологія обробки аерофотознімків

Далі на основі розподілених частотних компонент в трансформанті, визначається ступінь насиченості кожного типу блоку аерофотознімку, тобто проводиться оцінка семантичного навантаження блоку аерофотознімку (за показником насиченості блоку та структурним показником). Далі на підставі отриманих класів насиченості блоків відбувається вибір стратегії квантування компонент трансформанти.

4. Четвертий крок полягає у виробленні стратегії квантування компонент трансформанти.

5. П'ятий крок полягає в отриманні структурованого представлення трансформанти з подальшим виділенням послідовності двохелементних векторів.

На першому етапі проводиться структуризація трансформанти. Наступним етапом здійснюється побудова послідовності двохелементних векторів. Далі відбувається формуванням кодове подання для окремих двохелементних векторів, що представлено першим ієрархічним рівнем кодування. Тут для кожного вектора, як двохелементного числа першого рівня, формується кодове значення. На другому рівні ієрархії будується кодове представлення для усієї послідовності векторів, враховуючи отримані на першому рівні ієрархії кодові значення. Виходячи з цього, відбувається формування узагальненого кодового представлення.

Таким чином, отримане узагальнене кодове представлення дозволить надалі отримати кодограми (кодову конструкцію) для узагальненого кодового подання трансформанти.

6. На шостому кроці відбувається відновлення блоків аерофотозніmkів. Процес відновлення блоків аерофотознімка представляється двоієрархічною реалізацією, де в процесі відновлення здійснюється декодування кодової конструкції.

7. Завершальним кроком технології обробки аерофотозніmkів є відтворення блоків у початковому RGB просторі, що організовується без внесення додаткових спотворень та відновлення всього аерофотознімка.

Оцінка ефективності розробленої інформаційної технології проводиться з урахуванням побудови залежностей показника зменшення інтенсивності від ступеня насиченості аерофотознімка блоками трьох класів семантичної нагрузки, що показано на рис. 3. Відповідна оцінка залежності ступеня зменшення інтенсивності від показника якості аерофотознімка для блоків трьох класів, представлено на рис. 4.

Звідки витікає, що найбільший коефіцієнт зменшення вихідного об'єму досягається для слабонасичених блоків – 17,51 разів, тоді як найменший коефіцієнт зменшення вихідного об'єму досягається для сильнонасичених блоків, який змінюється від 1,56 до 3,95 разів. Відповідно оцінку залежності ступеня зменшення інтенсивності від показника якості аерофотознімка (пікове відношення сиг-

нал/шум) для блоків трьох класів, показано на рис. 4.

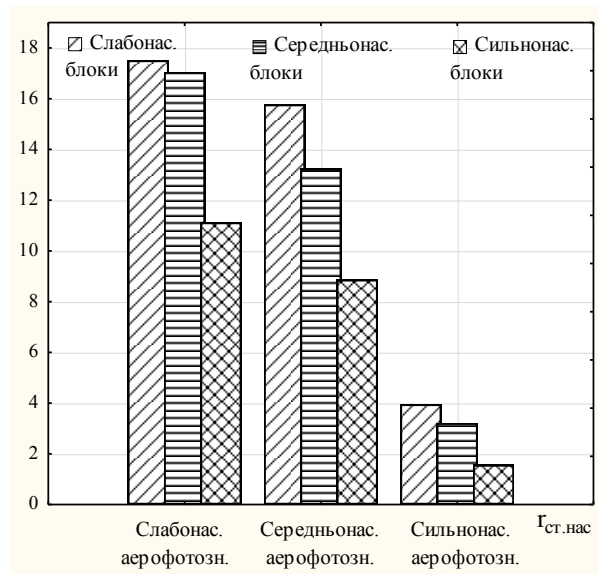


Рис. 3. Залежність коефіцієнта зменшення вихідного об'єму для різних класів аерофотозніmkів

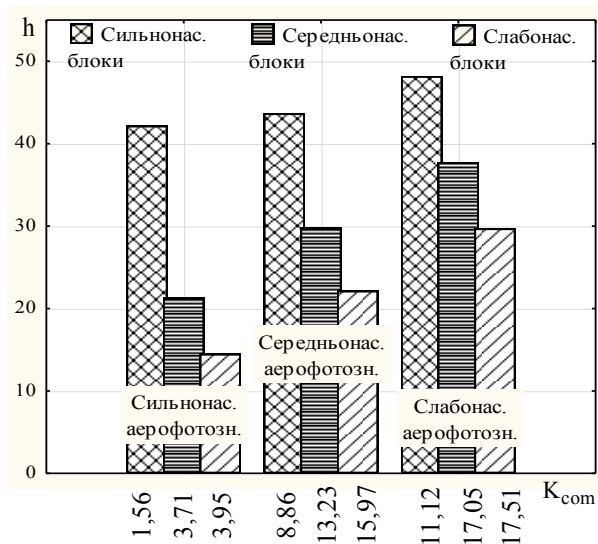


Рис. 4. Залежність пікового відношення сигнал/шум від коефіцієнта зменшення вихідного об'єму для різних класів аерофотозніmkів

З рис. 5 можна зробити висновок, що величина пікового відношення сигнал/шум для різних класів аерофотозніmkів з різним ступенем семантичної інформативності набуває значень від 14,49 до 48,19 дБ. Таким чином, для кожного блоку зберігатиметься своя ступінь збереження інформації про ключові ознаки дешифрування.

## Висновки

Розроблена узагальнена інформаційна технологія обробки аерофотозніmkів з урахуванням семантично важливої інформації. Це дозволить підвищити оперативність доставки інформації зі збереженням

інформації про ключові ознаки дешифрування в автоматизованих системах обробки розвідувальних даних.

## Список літератури

1. Мосов С. Беспилотная разведывательная авиация стран мира: история создания, опыт боевого применения, современное состояние, перспективы развития [Текст]: моногр. / С. Мосов. – К.: Румб, 2008. – 160 с.

2. Методи та засоби формування й обробки видових зображень у системі повітряної розвідки: навч. посіб. / Ю.В. Стасев, В.В. Бараннік, Б.М. Івацук та ін. – Х.: ХУПС, 2012. – 452 с.

3. Бараннік В.В. Технологія кодування блоків аерофотознімки з врахуванням семантично важливої інформації для бортових комплексів повітряного моніторингу / В.В. Бараннік, О.П. Мусієнко, А.А. Леках // Науковий журнал. – 2016. – Т. 31 (3). – С. 274-278.

4. Алімпієв А.М. Теоретичні основи створення технологій протидії прихованим інформаційним атакам в сучасній гібридній війні / А.М. Алімпієв, В.В. Бараннік, Т.В. Белікова, С.О. Сідченко // Системи обробки інформації. – 2017. – № 4 (150). – С. 113-121.

5. The methods of intellectual processing of video frames to enhance their semantic integrity and efficiency of delivery in aeromonitor systems / V. Barannik, Yu. Ryabukha, A. Hahanova, A. Musienko // International Symposium [«IEEE Design & Test»], (Batumi, Georgia, September 26-29, 2015) / Batumi: 2015. – Pp. 379-382.

6. Barannik V. Synthesis of Combined Cryptocompressed Systems for Providing Safety Video Information in Infocommunications / V. Barannik, S. Sidchenko, I. Tupitsya, S. Stasev // International Symposium [«IEEE East-West Design & Test»], (Batumi, Georgia, September 26–29, 2015) / Batumi: 2015. – P. 421-423.

Поступила до редколегії 26.06.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук проф. Ю.В. Стасев, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

## ОБОСНОВАНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ОПЕРАТИВНОСТИ ДОСТАВКИ ИНФОРМАЦИИ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ ОБРАБОТКИ РАЗВЕДЫВАТЕЛЬНЫХ ДАННЫХ

В.В. Баранник, А.П. Давикоца, А.П. Мусиенко, Д.А. Тарасенко

В статье рассматриваются актуальные вопросы, связанные с обработкой цифровых аэрофотоснимков в беспилотных авиационных комплексах (БаК) воздушной разведки. Проводится обобщенный анализ украинских БаК, существующих каналов передачи данных и строится соответствующая зависимость информационной интенсивности исходных аэрофотоснимков от скорости передачи данных по каналам связи. Обосновывается необходимость уменьшения информационной интенсивности аэрофотоснимков при сохранении ключевых признаков (контурные и яркостные составляющие) объектов воздушной разведки. Создается обобщенная информационная технология обработки аэрофотоснимков для повышения оперативности доставки информации в автоматизированных системах обработки разведывательных данных.

**Ключевые слова:** беспилотный комплекс, аэрофотоснимок, трансформанта, избыточность, кодирование.

## JUSTIFICATION OF THE INFORMATION DELIVERY EFFICIENCY INCREASING DIRECTION IN THE INTELLIGENCE INFORMATION PROCESSING AUTOMATED SYSTEMS

V. Barannik, A. Davikoza, A. Musienko, D. Tarasenko

In article the topical issues related to processing of digital aerial photographs in uav complexes (UAV) of air reconnaissance are considered. The generalized analysis of the ukrainian UAV, the existing transmission channels is carried out and the appropriate dependence of information intensity of the initial aerial photographs on data transmission rate on communication links is built. Need of reduction of aerial photographs information intensity when maintaining key signs (planimetric and brightness components) of objects of air reconnaissance is justified. The generalized information technology of aerial photographs processing for information delivery efficiency increasing in the intelligence information processing automated systems is created.

**Keywords:** UAV complex, aerial photograph, transformant, redundancy, coding.