

УДК 623.746.3

О.А. Жевтюк<sup>1</sup>, І.Ю. Целіщев<sup>2</sup>, В.М. Паутінка<sup>2</sup>, В.І. Малов<sup>3</sup>, В.Б. Гайда<sup>3</sup><sup>1</sup> Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, Київ<sup>2</sup> Державний науково-дослідний інститут авіації, Київ<sup>3</sup> Державне науково-виробниче підприємство "Геосистема", Вінниця**РЕЗУЛЬТАТИ НАТУРНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ З РАДІОПЕРЕДАЧІ/ПРИЙОМУ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ МІСЦЕВОСТІ З БОРТУ ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ**

Представлено матеріали та проаналізовано результати натурного експерименту з радіопередачі/прийому цифрових зображень місцевості, отриманих за допомогою цифрового літакового сканеру 3-DAS-1, з борту літака Ан-2, який проводився з метою підтвердження окремих технічних рішень, запропонованих для реалізації при розробці сучасних засобів повітряної розвідки.

**Ключові слова:** повітряна розвідка, аерофотоапарат, цифровий літаковий сканер, розвідувальна інформація.

**Вступ**

**Постановка задачі і аналіз літератури.** На даний час більшість видових засобів, що застосовуються для виконання завдань повітряної розвідки у Збройних Силах України, у порівнянні із сучасною розвідувальною апаратурою, розробленою за новітніми технологіями, є морально та фізично застарілими. Розглянемо деякі проблемні питання щодо застосування штатних аерофотографічних засобів. На сьогоднішній день вони, здебільшого, представлені двома аерофотоапаратами (АФА) – панорамним АП-402 та кадровим А-100 (тактико-технічні характеристики представлені у табл. 1) [1 – 3].

Процес отримання розвідувальної інформації за допомогою зазначених АФА представлено на рис. 1, з якого помітно, що розвідувальна інформація отримується лише після доставки касети з аерофотоплівкою до центру обробки розвідувальної інформації, її хіміко-фотографічної обробки (ХФО) та дешифрування. Зокрема процес ХФО може займати від 20

хвилин до півтори години корисного часу, що суттєво зменшує ефективність проведення повітряної розвідки [4].

Таблиця 1  
Тактико-технічні характеристики  
АФА А-100 та АП-402

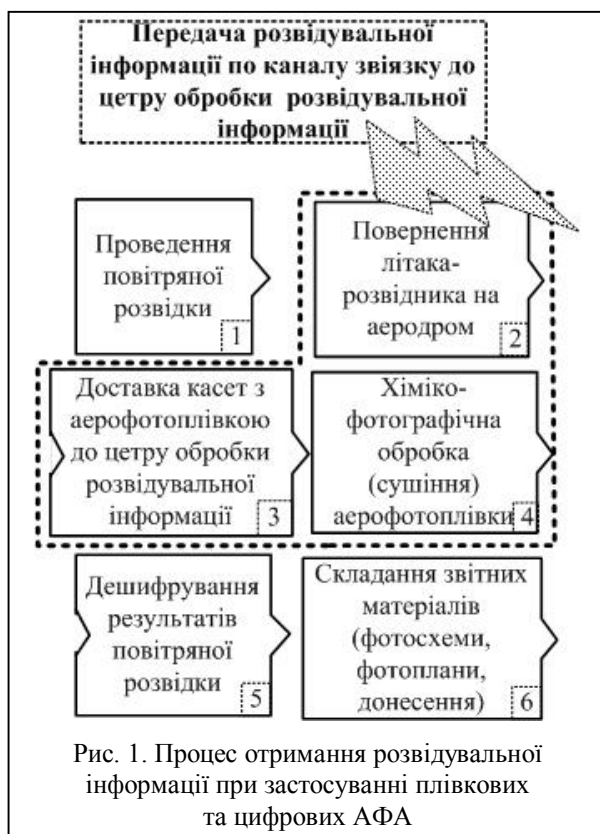
| Найменування параметру                            | А-100      | АП-402     |
|---|------------|------------|
| Діапазон висот застосування, м                    | 50...2000  | 50...2500  |
| Діапазон швидкостей носія, км/год                 | 600...1400 | 600...1400 |
| Кут панорамування, град                           | –          | 156        |
| Кут поля зору по діагоналі кадру, град            | 56         | –          |
| Розрізнявальна здатність на місцевості, м         | 0,2        | 0,3        |
| Смуга захоплення на місцевості, висот польоту (Н) | 6          | 10         |
| Маса польотного комплекту, кг                     | 37         | 62         |

Разом з тим застосування цифрових АФА з послідуною передачею отриманого зображення по широкому радіоканалу з борту літака-розвідника дає, у порівнянні із плівковими АФА, суттєве зменшення необхідного часу між моментом отримання завдання та моментом отримання результатів повітряної розвідки [5, 6, 7] за рахунок виключення ланок 2, 3, 4 (рис. 1).

Таким чином, постає актуальне науково-технічне завдання щодо визначення можливостей та умов передачі/приймання за допомогою сучасних ширококутових радіоканалів зображень місцевості, отриманих цифровими АФА, в реальному масштабі часу, або близькому до нього.

Враховуючи зазначене, у листопаді 2012 року на базі Державного науково-виробничого підприємства "Геосистема" за участю фахівців Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України і Державного науково-дослідного інституту авіації було проведено натурний експеримент з радіопередачі/приймання цифрового зображення місцевості, отриманого від цифрового літакового сканера з борту літального апарату до наземного приймального пункту.

**Метою статті** є розгляд та аналіз матеріалів натурного експерименту з радіопередачі/прийому цифрових зображень місцевості, отриманих цифровим літаковим сканером, встановленим на борту літака Ан-2, на наземний пункт по ширококутовому радіоканалу.



## Виклад основного матеріалу

Для проведення натурного експерименту використовувалось таке обладнання та авіаційна техніка:

обладнання для отримання зображень місцевості у складі: цифрового літакового сканера 3-DAS-1 (тактико-технічні характеристики представлені у табл. 2) [8] та стабілізуючої платформи типу ASP виробництва ДНВП "Геосистема", приймача супутникової навігаційної системи, а також цифрової обчислювальної машини, призначеної для первинної обробки і накопичення зображень, та управління цифровим літаковим сканером;

цифровий ширококутовий канал передачі даних у складі двох комплектів радіозв'язкового обладнання типу RF-7800W виробництва фірми "HARRIS" (США), призначених для організації військових Ethernet-мереж;

літак типу Ан-2 (бортовий номер UR-17769) компанії "V-Авіа", на якому проводилась льотна частина експерименту.

До складу наземного комплексу входили: ширококутова радіостанція RF-7800W-OU440, параболічна вузько-спрямована антена RF-7800W-AT203 на щоглі BlueSky Roller Series – AL2Mast, а також персональна обчислювальна машина (ПЕОМ) зі спеціалізованим програмним забезпеченням (ПЗ) фірми "HARRIS", призначеним для моніторингу параметрів прийнятого сигналу, та спеціалізованим ПЗ розробки ДНВП "Геосистема", призначеним для відображення прийнятого зображення місцевості в реальному масштабі часу. До складу наземного комплексу входили: ширококутова радіостанція RF-7800W-OU440 та слабо-спрямована антена. Тактико-технічні характеристики радіозв'язкового обладнання представлені у табл. 3 [9].

Загальна схема натурного експерименту з радіопередачі/прийому цифрового зображення місцевості з борту літального апарату наведена на рис. 2.

Таблиця 2

Тактико-технічні характеристики цифрового літакового сканера 3-DAS-1

| Найменування параметру                              | 3-DAS-1      |
|---|--------------|
| Діапазон висот застосування, м                      | 550-5500     |
| Діапазон швидкостей носія, км/год                   | 110-400      |
| Кут поля зору, град попереку смуги захоплення, град | 36           |
| Розрізнявальна здатність на місцевості, м           | 0,045 – 0,45 |
| Смуга захоплення на місцевості, м                   | 360 - 3600   |
| Маса польотного комплексу, кг                       | 59           |

Таблиця 3

Тактико-технічні характеристики  
радіообладнання типу RF-7800W

| Найменування параметру                                 | Характеристика   |
|--|--|
| Частотний діапазон, ГГц                                | 4,4 ... 5,0  |
| Ширина смуги пропускання, МГц                          | 10, 20, 40 (в режимі РТР)  |
| Споживча потужність, Вт                                | максимум 22  |
| Потужність передавача, дБм                             | до 20  |
| Чутливість приймача, дБм                               | - 88 (при швидкості передачі 6 Мбіт/с та ймовірності помилок $10^{-9}$ ) |
| Типи модуляції   | 8-и-рівнева BPSK, 64 QAM   |
| Можливість криптистійкого шифрування                   | FIPS 197, 256-бітний AES   |
| Максимальна швидкість передачі даних, Мбіт/с           | до 108 (швидкість не-кодованого пакетного режиму РТР)                    |
| Максимальна швидкість в мережі Ethernet                | біля 80 Мбіт/с (в режимі РТР)  |
| Ширина діаграми спрямованості антени RF-7800W-AT203, ° | 4 (в азимутальній та кутомісній площинах)                                |
| Робоча температура, °С                                 | - 40 ... +60   |
| Вологість, %   | от 0 до 95   |
| Висота щогли, м  | до 10  |
| Вага радіомодуля, кг                                   | 2,5  |

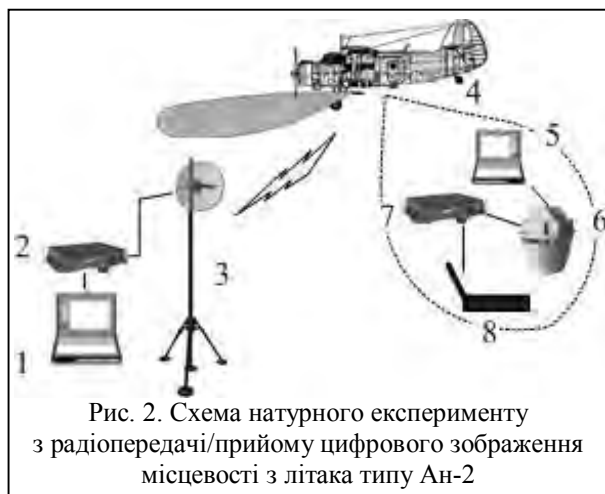


Рис. 2. Схема натурного експерименту з радіопередачі/прийому цифрового зображення місцевості з літака типу Ан-2

Один комплект радіообладнання RF-7800W (7) було встановлено на борту літака Ан-2 (4) та підключено до цифрової обчислювальної машини (5), яка накопичувала інформацію від цифрового літакового сканера 3-DAS-1 (6). Аерофотозйомка місцевості з літака здійснювались за маршрутом с. Сутиски – м. Вінниця з висоти 400 м на швидкості 160-200 км/год. Передача отриманого зображення до наземного приймального пункту проводилась за допомогою слабо-спрямованої антени, в якості якої було використано опромінювач антени RF-7800W-AT203 без параболічного дзеркала (8).

Приймання зображення місцевості здійснювалось антеною (3), комплексу радіообладнання RF-7800W (2), підключеного до ПЕОМ (1) програмне забезпечення якої дозволяло переглядати та зберігати отриману інформацію на жорсткому диску. Антена розташовувалась на даху будівлі ДНВП “Гео-система”, інше обладнання (1, 2) було розміщено у офісному приміщенні будівлі.

План-схема виконання польотного завдання на проведення аерофотозйомки та передачі відзнятої інформації на наземний приймальний пункт представлена на рис. 3.

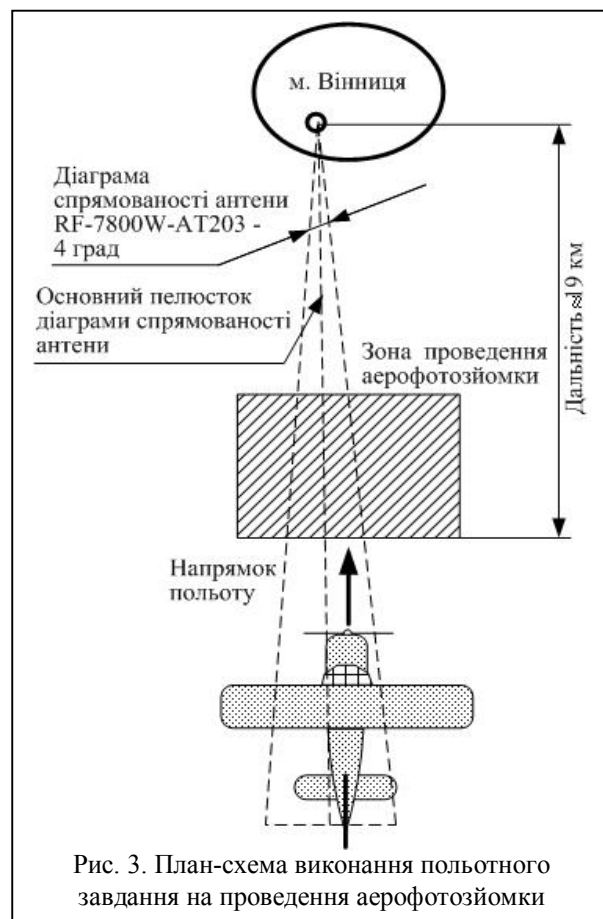


Рис. 3. План-схема виконання польотного завдання на проведення аерофотозйомки

Під час проведення аерофотозйомки з борту літака на наземний пункт в реальному масштабі часу передавалось відео-зображення, приведене до телевізійного стандарту PAL (720 × 576 пікселів) шляхом розрідження зображення високої розрізняювальної здатності.

При цьому швидкість передачі цифрового кольорового відеосигналу складала 160 ... 170 Кбайт/с.

Також, за командою оператора з борту літака здійснювалась передача на наземний пункт та збереження на жорсткому диску комп'ютера масиву цифрового фотозображення з високим просторовим розрізненням. Кількість пікселів на рядок кольорового зображення складала 8000, що для ко-

льорового зображення у форматі RGB складатиме 24 Кбайт, та за обсягом інформації може бути інтерпретовано як зображення, отримане монохромною камерою з полем зору втричі більшим, ніж у 3-DAS-1, що є близьким до поля зору панорамних АФА (табл. 1, 2).

Обсяг зображення високого розрізнення (рис. 4), знятого протягом 14 секунд польоту склав біля 300 Мбайт. Передача зображення велась в масштабі часу, близькому до реального, зі швидкістю біля 1,7 Мбайт/с. Затримка передачі при цьому склала не більше 3 хвилини.

Розрахункова залежність рівня прийнятого сигналу  $P_c$  від дальності передачі  $R$  (рис. 5, поз. 1), отримана за формулою [10, 11]:



Рис. 4. Зображення високого розрізнення, зняте протягом 14 с польоту

$$P_c = \frac{P_{пд} G_{пд} G_{пм} \lambda^2 \eta_{пд} \eta_{пм} \eta_{рс}}{(4\pi R)^2}, \quad (1)$$

де  $G_{пд}$ ,  $G_{пм}$  – коефіцієнти підсилення передавальної і приймальної антен;

$\lambda$  – довжина хвилі радіосигналу;

$\eta_{пд}$ ,  $\eta_{пм}$  – коефіцієнти корисної дії фідерних трактів передавального і приймального пристроїв;

$\eta_{рс}$  – коефіцієнт, що враховує втрати потужності радіосигналу в реальному середовищі.

Дана розрахункова залежність (1) показує, що, за умов штатної потужності передавача RF-7800W-OU440, достатній для впевненого приймання рівень прийнятого відеосигналу (табл. 3) повинен забезпечуватись навіть на дальності близько 45 км.

Практична залежність рівня прийнятого сигналу від дальності передачі (рис. 5, поз. 2), отримана шляхом осереднення результатів 5 польотів, в основному збігається з теоретичною (рис. 5, поз. 1). Зменшення рівня прийнятого сигналу на дальності, меншій, ніж 9 км пояснюється виходом літака при наближенні за межі основного пелюстка діаграми спрямованості наземної вузько-спрямованої антени. Це свідчить про те, що для забезпечення максимального рівня прийнятого сигналу на заданій дальності вузько-спрямована антена повинна мати автоматичну систему відслідковування положення джерела радіосигналу.

Слід зазначити, що при проведенні експерименту впевнене приймання зображення місцевості високого просторового розрізнення в масштабі часу, близькому до реального, з задовільною якістю забезпечувалось лише на відстанях біля 10 км, а відеозображення в форматі PAL, в реальному масштабі часу – на відстанях до 20 км.

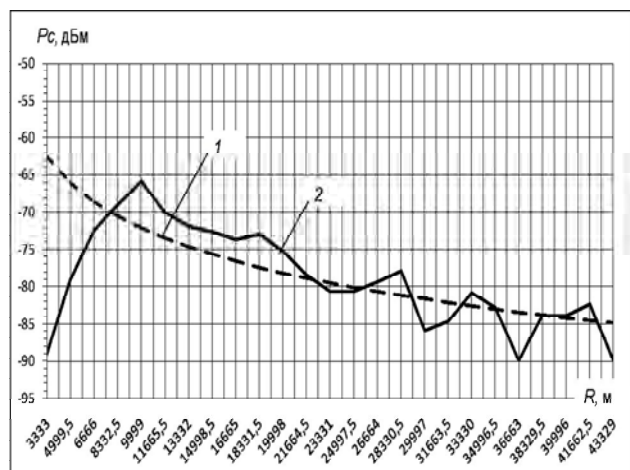


Рис. 5. Теоретична (1) та практична (2) залежності рівня прийнятого сигналу від дальності передачі

Рівень прийнятого сигналу у першому випадку склав біля -67 дБм, а у другому -77 дБм. Для досягнення вказаних рівнів прийнятого сигналу при передачі зображень на відстанях до 100 км (що відповідає реальним умовам ведення повітряної розвідки) необхідна вихідна потужність передавача, у відповідності

до (1), повинна складати від 3,5 до 35 Вт, а з урахуванням реальних умов передачі, навіть до 50 Вт.

## Висновки

В результаті проведення натурального експерименту з радіопередачі/прийому цифрових зображень місцевості, отриманих за допомогою цифрового аерофотоапарата підтверджено:

можливість передачі з борта літального апарату на наземний пункт цифрового відеосигналу низького просторового розрізнення в телевізійному стандарті в реальному масштабі часу та масиву цифрового аерофотозображення високого просторового розрізнення в масштабі часу, близькому до реального, навіть за допомогою сучасних засобів високошвидкісної передачі даних загальновійськового призначення;

недостатню дальність передачі, а також неможливість забезпечити стійке безперервне приймання цифрових зображень місцевості при використанні штатних комплектів радіобладнання типу RF-7800W фірми "HARRIS" без додаткових технічних засобів (дальність передачі цифрових аерофотозображень склала лише 10 ... 20 % від дальності штатного радіоканалу літака-розвідника);

при розробці нових, або модернізації існуючих ширококутових систем передачі цифрових аерофотозображень місцевості повинні бути забезпечені такі технічні характеристики:

швидкість передачі цифрової інформації повинна бути не менш, ніж 12 Мбіт/с;

потужність передавача повинна бути не менш, ніж 35 Вт.

До того ж, до складу наземної частини радіоканалу обов'язково повинна входити система автоматичного відслідковування просторового положення джерела радіосигналу.

## Список літератури

1. Военная авиация. Кн. 1 / Худ. обл. М. В. Драко. – 2-е изд., испр. – Мн.: ООО – "Попурри", 2000. – 512 с.: ил. + вкл. 8 с.
2. Военная авиация. Кн. 2 / Худ. обл. М. В. Драко. – 2-е изд., испр. – Мн.: ООО – "Попурри", 2000. – 502 с.
3. Оружие и технологии России. Энциклопедия. XXI век. Научно-техническое издание, том X. Авиационное вооружение и авионика. – М.: Оружие и технологии, 2005. – 783 с.
4. Ребрин Ю.К. Оптико-электронное разведывательное оборудование летательных аппаратов / Ю.К. Ребрин. – К.: КВВАИУ, 1988. – 452 с.
5. Попов М.О. Сучасні тенденції розвитку цифрових камер повітряної розвідки та спостереження / М.О. Попов, С.А. Станкевич // Наука і оборона. – 2005. – № 2. – С. 29-32.
6. Станкевич С.А. Аналіз принципів технічної реалізації та застосування зарубіжних авіаційних цифрових систем одержання зображень / С.А. Станкевич // Зб. наук. праць НЦ ВПС ЗС України. – 2004. – Вип. 7. – С. 232-241.
7. Буриштинська Х.В. Аерокосмічні знімальні системи / Х.В. Буриштинська, С.А. Станкевич. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2010. – 288 с.
8. Олейник С.В. Цифровые камеры для аэрофото съемки / С.В. Олейник, В.Б. Гайда // Геопрофи. – 2006. – № 4. – С. 45-51.
9. Harris Corporation [Електрон. ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://rf.harris.com/media/RF-7800W-OU440>.
10. Огороднійчук М. Д. Комплекти і засоби військових телекомунікаційних мереж / М.Д. Огороднійчук (ред), Ю.Д. Чайка, О.Г. Оксіюк. – К.: МО України – НУОУ, 2010. – 384 с.
11. Волков Л.Н. Системы цифровой радиосвязи / Л.Н. Волков, М.С. Немировский, Ю.С. Шинаков. – М.: Эко-Трендз, 2005. – 392 с.

Надійшла до редколегії 8.11.2013

**Рецензент:** д-р техн. наук, доцент С.А. Станкевич, Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук Національної академії наук України, Київ.

## РЕЗУЛЬТАТЫ НАТУРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ПО РАДИОПЕРЕДАЧЕ/ПРИЁМУ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ МЕСТНОСТИ С БОРТА ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

А.А. Жевтук, И.Ю. Целищев, В.М. Паутинка, В.И. Малов, В.Б. Гайда

*Представлены материалы и проанализированы результаты натурального эксперимента по радиопередаче/приему цифровых изображений, полученных с помощью цифрового самолетного сканера 3-DAS-1 с борта самолета Ан-2, который проводился с целью подтверждения отдельных технических решений при разработке современных средств воздушной разведки.*

**Ключевые слова:** воздушная разведка, аэрофотоаппарат, цифровой самолетный сканер, разведывательная информация.

## THE RESULTS OF NATURAL EXPERIMENT FROM A RADIO TRANSMITTING/ RECEIVING OF THE DIGITAL IMAGES OF SURFACE FROM AN AIRCRAFT BOARD

A.A. Zhevtjuk, I.Y. Tselishchev, V.M. Pautinka, V.I. Malov, V.B. Gayda

*Materials are presented and results of natural experiment from a radio transmitting/ receiving of the digital images of surface gained by digital airborne scanner 3-DAS-1 from airplane An-2 board, for the purpose of implementation of the separate technical designs at development of the aerial reconnaissance equipment are analyzed.*

**Keywords:** aerial reconnaissance, an aerial camera, the digital airborne scanner, the reconnaissance information.