

УДК 681.7

О.О. Білобородов¹, А.М. Маланчук¹, В.І. Присяжний², Г.В. Рибалка³, А.В. Челпанов³¹ЦНДІ озброєння та військової техніки Збройних Сил України, Київ²Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ³Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ПОКРАЩЕННЯ ЯКОСТІ МАТЕРІАЛІВ АЕРОКОСМІЧНОЇ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ ЗЙОМКИ

У статті наведені результати дослідження методів покращення якості матеріалів аерокосмічної оптико-електронної зйомки. Показано, що при вирішенні завдань забезпечення дешифрувальних властивостей зображень виникає протиріччя між необхідністю зменшення розмірів елементів приймача оптичного випромінювання для покращення показника просторової розрізненості та їх збільшення для покращення показників динамічного діапазону та радіометричної розрізненості, значення яких обмежується відношенням сигнал/шум. Розглянуто основні методи покращення відношення сигнал/шум в сучасних зразках оптико-електронної скануючої апаратури, визначені напрямки подальших досліджень для визначення шляхів реалізації в національних зразках аерокосмічної техніки.

Ключові слова: аерокосмічна зйомка, оптико-електронна апаратура, якість зображення.

Вступ

В Україні триває процес формування космічної системи спостереження Землі, застосування якої здійснюється, в тому числі, в інтересах органів, що здійснюють повноваження у сфері національної безпеки та оборони [1]. Головна роль в реалізації завдань космічної розвідки у середньостроковій перспективі відводиться системам дистанційного зондування Землі [2]. Розширення кола завдань та комерційна привабливість проектів зі створення та експлуатації систем дистанційного зондування Землі призвели до високих темпів розвитку відповідних технологій в усьому світі [3, 4]. Національні оптико-електронні засоби забезпечують досягнення обмежених показників якості отримуваних зображень. Відповідним чином обмежено і коло завдань видової космічної розвідки, що можна вирішувати за результатами обробки й аналізу матеріалів зйомки [5].

Повільні темпи модернізації національних зразків космічної техніки вже призвели до відмови Єгипту від продовження співпраці з Україною в рамках проекту EgyptSat [6]. Аналіз досвіду розробки та створення національних космічних оптико-електронних систем свідчить про проблеми в галузі створенні сучасних зразків космічної техніки (табл. 1). Орієнтація на морально застарілі зразки оптико-електронної апаратури може стати передумовою занепаду існуючого науково-технічного та виробничого потенціалу.

Отже, актуальність обраної теми обумовлюється необхідністю дослідження методів покращення якості матеріалів космічної зйомки та обґрунтування шляхів їх реалізації в національних зразках космічної техніки.

Останні дослідження забезпечення якості матеріалів аерокосмічної зйомки присвячені обґрунтуванню параметрів управління (планування) зйомкою, що забезпечують необхідні або досяжні показ-

ники якості зображень [9 – 11]. Активно досліджуються методи локалізації дешифрувальних ознак та використання додаткових спектральних ознак [12 – 14]. При цьому недостатньо уваги присвячено систематизації методів покращення якості матеріалів аерокосмічної зйомки, аналізу обмежень, переваг і недоліків сучасних технічних рішень.

Таблиця 1

Результати аналізу досвіду розробки та створення національних космічних оптико-електронних систем

Підстава	Заплановані витрати, млн. грн.	Запланований термін реалізації, рр.
З(Н)КП України на 2003-2007 роки [7]	249	2007-2008
ЗЦНТКП України на 2008-2012 роки [8]	190	2012-2013
ЗЦНТКП України на 2013-2017 роки [1]	73,1 (ОЕС)	2018 (КА)

Виходячи з вищезазначеного, метою статті було визначено здійснення аналізу та систематизацію існуючих методів забезпечення якості матеріалів аерокосмічної оптико-електронної зйомки, визначити їх обмеження та визначити напрямки розвитку національних засобів оптико-електронного спостереження.

Основний матеріал

Якість матеріалів космічної зйомки визначається фізико-технічними характеристиками каналу передачі інформації [15] і залежить від впливу завад фізичного характеру та шумів технічних ланок. Повнота використання дешифрувальних властивостей матеріалів зйомки визначається біофізичними особ-

ливостями зорового сприйняття дешифрувальника-аналітика, його психофізіологічним станом та фазовою підготовленістю [16, 17].

До основних показників якості оптико-електронних знімків, що визначають дешифрувальні властивості отримуваних зображень, переважно відносять просторову розрізненість, радіометричну розрізненість та динамічний діапазон [18], що підтверджується прийнятими співвідношеннями для апроксимації імовірності правильного виявлення та розпізнавання об'єктів на цифрових зображеннях [19, 20]:

$$P_0 = \exp \left[\ln \alpha \frac{w}{\Delta w} \left(\frac{R}{R_0} \right)^2 \right], \quad (1)$$

де R – просторова розрізненість зображення; R_0 – характерна детальність об'єкта спостереження [20]; Δw – кількість бітів, що задає радіометричний контраст об'єкта на цифровому зображенні; w – динамічний діапазон бортової знімальної апаратури у бітах; α – імовірність правильного дешифрування при просторовій розрізненості, що дорівнює характерній детальності та максимальному радіометричному контрасту, що відповідає $\Delta w \approx w$.

Крім того, при перевищенні розмірів призначених для зйомки районів ширини смуги огляду, важливим показником додатково виступає площа корисної частини знімка, оскільки від неї суттєво залежить загальна інформативність матеріалів зйомки [14, 21, 22].

Поняття просторової розрізненості характеризує зображення та визначається розміром найменшого компактного об'єкта або шириною видовженого об'єкта певного контрасту, який можна визначити (розрізнити) на цьому зображенні із заданою імовірністю [23]. Поняття детальність за сутністю відповідає просторовій розрізненості, але застосовується до тестових об'єктів (мір). Враховуючи, що в (1) детальність входить як відношення, для порівняння інформаційних в подальшому під просторовою розрізненістю будемо розуміти частоту дискретизації на земній поверхні (англ. GSD – ground sample distance):

$$R = \xi H, \quad (2)$$

де ξ – поле зору елементарного інформаційного каналу; H – висота руху носія апаратури.

При цьому розуміється, що конкретне значення просторової розрізненості визначається рівнем освітленості, тоном об'єкту і фону, радіометричною розрізненістю, початковим взаємним положенням оптико-електронної апаратури і об'єкта, а також іншими факторами, що визначають дешифрувальні властивості знімків.

До основних методів покращення якості оптико-електронних зображень можна віднести програмні, параметричні та технологічні.

Програмні методи покращення якості матеріалів космічної оптико-електронної зйомки призначені для покращення візуального сприйняття зображень. Вони реалізуються у формі складових спеціального програмно-математичного забезпечення засобів наземного інформаційного комплексу. В загальному випадку програмні методи можна поділити на три групи:

методи усунення неоднорідностей оптичного каналу;

методи фільтрації зображень;

методи сегментації зображень.

Методи першої групи можуть застосовуватись безпосередньо до знімків. Їх сутність полягає в застосуванні до отриманих знімків моделей атмосферних та апаратних спотворень, що уточнюються на етапі дослідної експлуатації зразка апаратури. Практично вони реалізуються у вигляді моделей сенсорів спеціального програмно-математичного забезпечення (рис. 1):

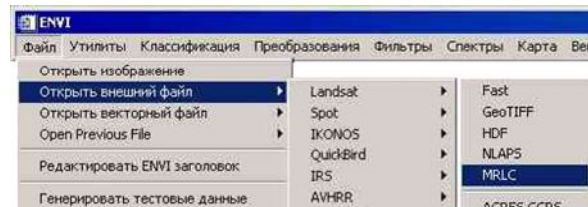


Рис. 1. Моделі сенсорів спеціального програмно-математичного забезпечення Envi

Сутність методів фільтрації зображень полягає в заміні значень яскравостей пікселів зображення на такі, що за певним правилом вважаються найменш викривленими завадами або похибками. Розділяють просторову і частотну фільтрацію. Сутність просторових алгоритмів полягає у застосуванні до кожного пікселя спеціальних операторів (маска, ядро, вікно тощо). Їх застосовують до растрових зображень, що представлені у вигляді двовимірних матриць значень яскравості пікселів. Частотні алгоритми оперують з Фур'є-перетворенням двовимірної функції яскравості пікселів, після чого здійснюється зворотне перетворення.

Сутність методів сегментації полягає у поділі зображень на множини (області), що не перетинаються, кожна з яких визначається як однорідна за встановленим критерієм.

Зазвичай визначені групи програмних методів деталізують та прив'язують до стандартизованих рівнів обробки даних дистанційного зондування [24]. При цьому, високі рівні обробки використовують під час здійснення тематичного дешифрування. Для збереження використовують низькі рівні, оскільки програмні методи часто незворотні та можуть призводити до втрати частини інформації [25].

Отже, програмні методи за рахунок автоматичного (автоматизованого) пошуку і наочного подання об'єктивних кореляційних властивостей осередків зображення, дозволяють покращити показники опе-

ративності виконання завдань дешифрування. Але вони не можуть виступати джерелом нової інформації [26], а ефективність їх застосування часто визначається суб'єктивним фактором – досвідом та кваліфікацією дешифрувальника.

Сутність параметричних методів покращення якості матеріалів космічної оптико-електронної зйомки полягає в узгодженні параметрів оптичної системи (фокусна відстань, діаметр вхідної зіниці тощо) та орбітальних параметрів (ексцентриситет, велика піввісь орбіти тощо) з метою забезпечення необхідних показників якості (рис. 2):

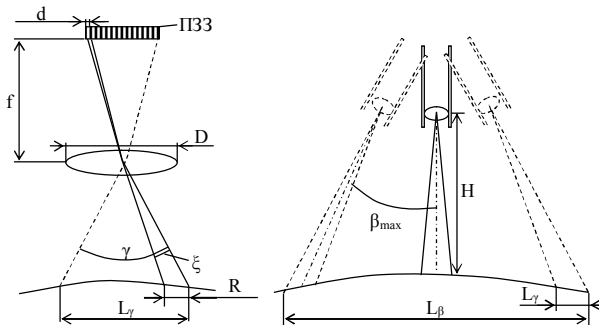


Рис. 2. Схема пояснення параметричних методів покращення якості матеріалів космічної оптико-електронної зйомки: d – розмір елементу приймача випромінювання; f – (еквівалентна) фокусна відстань; D – (ефективний) діаметр об'єктива; γ – поле зору оптико-електронної апаратури; β_{\max} – максимальний кут сканування оптико-електронної апаратури, L_{γ} ; L_{β} – ширина смуг огляду та захоплення відповідно

Поле зору елементарного інформаційного каналу та апаратури:

$$\xi = \frac{d}{f}; \quad (3)$$

$$\gamma = n\xi, \quad (4)$$

де n – кількість елементів (комірок) приймача оптичного випромінювання оптико-електронного сканера у фокальній площині поперек траси руху носія апаратури.

Просторова розрізненість, ширина смуг огляду та захоплення мають нескладну, але громіздку тригонометричну залежність від кутових показників та висоти польоту носія, яку якісно можна подати наступним чином:

$$\xi \uparrow, \beta \uparrow, H \uparrow \Rightarrow R \uparrow;$$

$$\gamma \uparrow, H \uparrow \Rightarrow L_{\gamma} \uparrow;$$

$$\beta_{\max} \uparrow, H \uparrow \Rightarrow L_{\beta} \uparrow.$$

Інтегральний вплив основних факторів на якість знімків еталонних об'єктів достатньо повно характеризується функцією передачі модуляції (частотно-контрастною характеристикою) [27]. Але для дослідження дешифрувальних властивостей реальних зображень, визначення характеру спотворюючих факто-

рів та обмежень методів покращення якості зображень доцільно розглядати її окремі складові. Результати аналізу (2), (3) для дозволяють першим напрямком покращення просторової розрізненості запропонувати збільшення фокусної відстані (рис. 3 а).

Але такий підхід неприйнятний з огляду на зменшення освітленості елементів приймача у фокальній площині, що спричиняє неприпустиме погіршення відношення сигнал/шум (рис. 3 б) та погіршення дифракційної межі розрізненості (рис. 3 в):

$$\delta R_d = 1,22 \frac{\lambda}{D} f, \quad (5)$$

де λ – довжина хвилі випромінювання, що реєструється.

Слід також вказати на спектральну залежність дифракційної межі розрізненості (рис. 4).

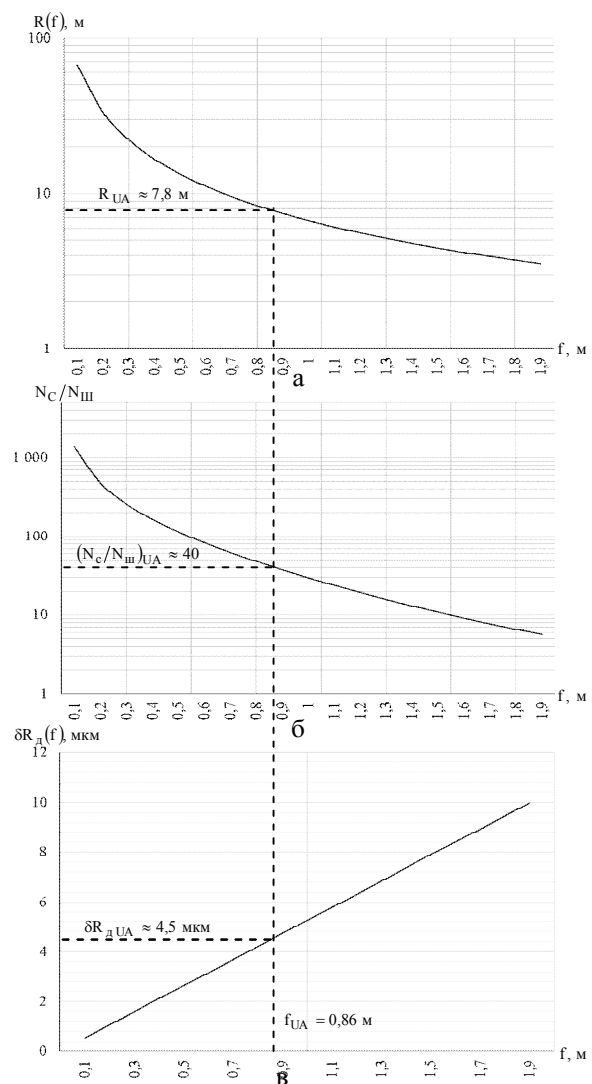


Рис. 3. Залежність від фокусної відстані просторової розрізненості (а), відношення сигнал/шум (б) та радіуса кола Ейрі (в): діаметр вхідної зіниці об'єктива $D_{UA} = 0,155$ м; енергетична освітленість ділянки прямим та розсіяним сонячним

випромінюванням $E_s \approx 206$ Вт/м²; альbedo ділянки $\rho = 0,2$

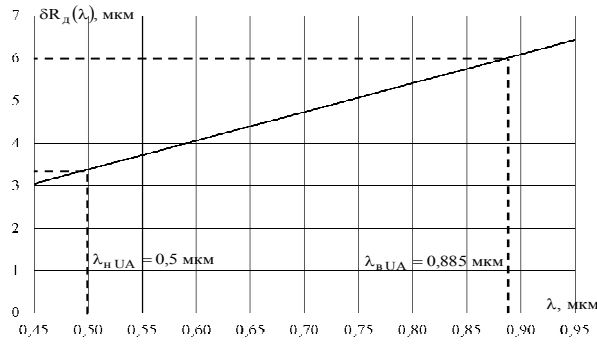


Рис. 4. Спектральна залежність дифракційної межі розрізненості оптичної системи (для параметрів оптичної системи КА Січ-2 в межах смуги панхроматичного датчика)

Узгоджена зміна фокусної відстані та ефективного діаметру вхідної зіниці обмежується масогабаритними характеристиками оптичної системи (рис. 5).

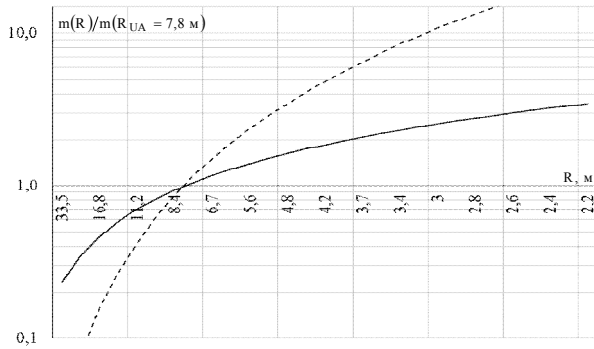


Рис. 5. Відносна вага m елементів конструкції оптичної системи, що за величиною фокусної відстані та діаметра об'єктива забезпечує стаке відношення сигнал/шум на виході цифрового процесора оптико-електронної системи: — відносна вага лінзи (тип лінзи – плосковипукла), - - - відносна вага корпусу оптичної системи (оптична схема Ньютона)

Крім параметрів оптичної системи якість матеріалів космічної зйомки, як було зазначено, залежить від орбітальних параметрів (рис. 6) та параметрів плану застосування апаратури (рис. 7, 8).

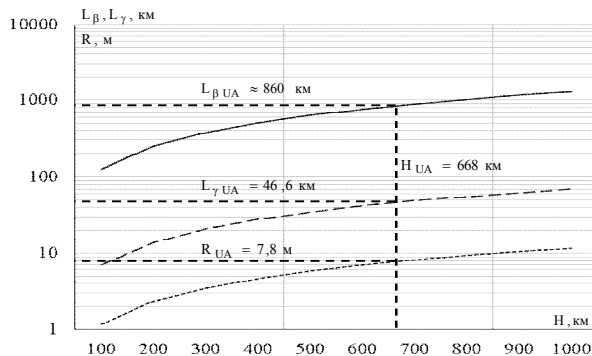


Рис. 6. Залежність ширини смуг захоплення L_β (—); огляду L_γ (- - -) та просторової розрізненості (.....) від висоти польоту носія апаратури H (для параметрів оптичної системи Січ-2)

При виборі орбітальних параметрів, поряд з іншими показниками ефективності застосування космічної системи, важливе місце займають часові (рис. 9).

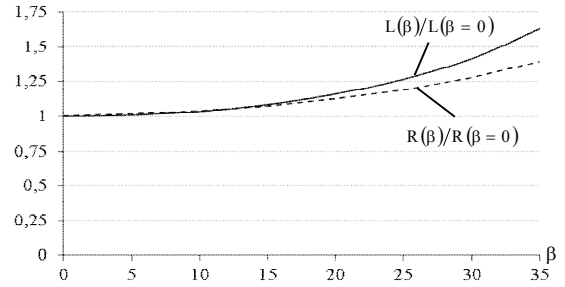


Рис. 7. Відносна залежність ширини смуги захоплення та просторової розрізненості R від кута сканування β

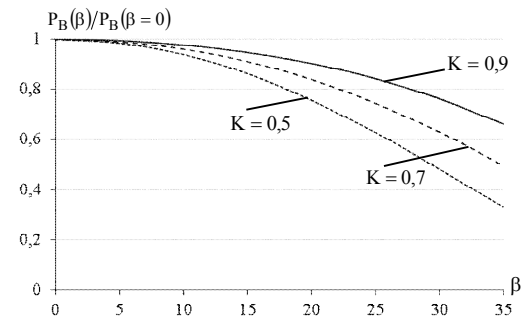


Рис. 8. Відносна залежність імовірності виявлення об'єкта P_B від кута сканування β (для різних контрастів K об'єкта і фону)

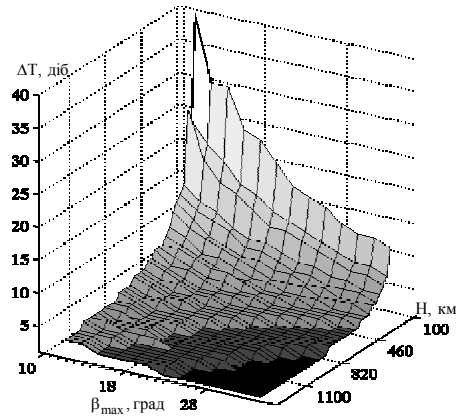


Рис. 9. Результати оцінювання залежності часової розрізненості від висоти космічного носія апаратури (широта розташування об'єкта $B_{об} = 50^\circ$; поле зору апаратури $\gamma = 4^\circ$)

Таким чином, параметричні методи покращення якості матеріалів космічної зйомки дозволяють в рамках визначених обмежень дозволяють вибирати компромісний варіант реалізації параметрів орбітального інформаційного комплексу космічної системи. Але їм притаманний взаємний суперечливий вплив на часткові показники ефективності застосу-

вання системи. На певному етапі використання параметричних методів стає недоцільним або з точки зору погіршення інших показників, або з причин масо-габаритних та економічних обмежень.

Потреба подальшого підвищення інформативності результатів зйомки, з урахуванням обмежень параметричних методів, вимагає пошуку напрямків удосконалення технологій виробництва та реєстрації оптичного випромінювання. Відповідно до (2), (3) для покращення показника просторової розрізненності необхідно зменшувати розмір елементів приймача d . При цьому застосування вказаних методів суттєво обмежується енергетичними показниками (рис. 10):

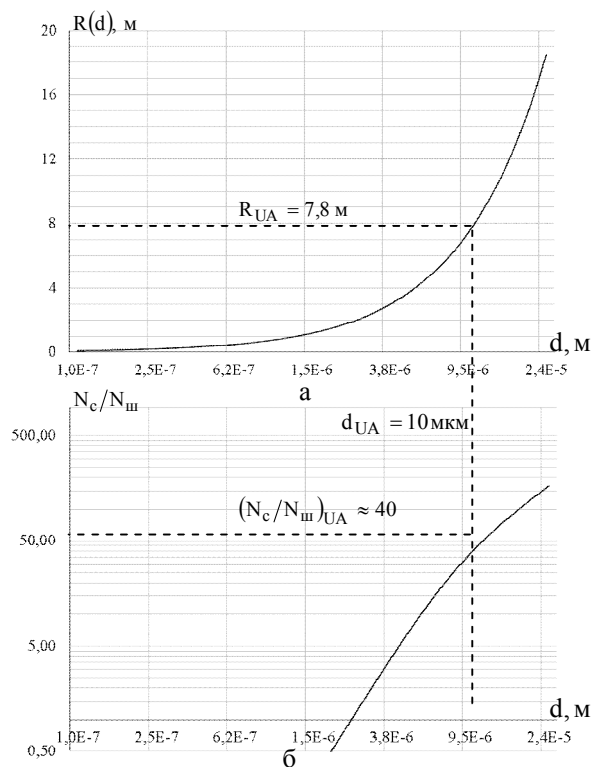


Рис. 10. Залежність просторової розрізненності (а) та відношення сигнал/шум (б) від розміру елементу приймача для параметрів оптичної системи КА Січ-2 (альbedo ділянки $\rho = 0,2$, енергетична освітленість ділянки прямим та розсіяним сонячним випромінюванням $E_s \approx 206 \text{ Вт/м}^2$)

При зменшенні розмірів елементу приймача оптичного випромінювання на дешифрувальні властивості отримуваних зображень суттєво впливають показники динамічного діапазону та радіометричної розрізненності.

Динамічний діапазон M оптико-електронної системи визначається відношенням максимального сигналу накопичення (насичена експозиція), до загального середньоквадратичного значення шуму еквівалентної експозиції. Але для забезпечення сталих та стабільних геометричних співвідношень частоту опитування елементів приймача оптичного ви-

промінювання узгоджують з просторовою розрізненністю: зсув оптико-електронного сканера за час накопичення має дорівнювати розміру проекції елементу приймача оптичного випромінювання вздовж лінійки сканера. В такому випадку динамічний діапазон визначається відношенням значення сигналу, що може реєструватись від ділянки з одиничним альbedo до загального середньоквадратичного значення шуму еквівалентної експозиції (при визначених умовах освітленості та обмеженні максимального значення накопиченого сигналу). З урахуванням прийнятого припущення на рис. 11, а наведено залежність динамічного діапазону від розмірів елементів приймача.

Радіометрична розрізненність N_{\max} визначається динамічним діапазоном приймача випромінювання та шумами оптичної системи. Чисельне значення дорівнює кількості рівнів дискретизації, що відповідають переходу від яскравості абсолютно чорного тіла до абсолютно білого. Значення радіометричної розрізненності обирають з урахуванням отриманого значення шумів, зокрема, шумів дискретизації. Якщо в якості критерія вибору радіометричної розрізненності обрати її максимальне значення при обмеженні відношення сигнал/шум (на виході аналогово-цифрового перетворювача оптико-електронної системи), то при зменшенні розмірів елементу приймача радіометрична розрізненність також зменшується (рис. 11, б).

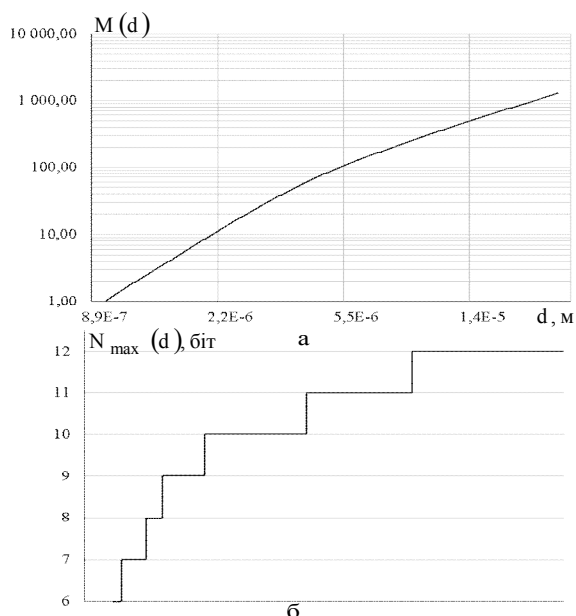


Рис. 11. Залежність динамічного діапазону – а та радіометричної розрізненності – б від розмірів елементу приймача

Взаємний вплив просторової розрізненності, динамічного діапазону та радіометричної розрізненності на якість зображень призводить до обмежень імовірнісних показників виявлення об'єктів при виконанні завдань тематичного дешифрування (рис. 12).

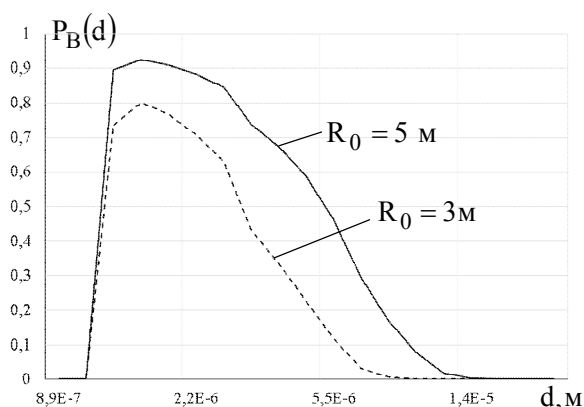


Рис. 12. Результати оцінювання імовірності виявлення об'єкта в залежності від розмірів елементу приймача (характерна детальність об'єкта – R_0 ; значення контрасту – $K = 0,75$)

Результати аналізу впливу показників оптико-електронної апаратури на дешифрувальні властивості матеріалів космічної зйомки дозволяють зробити висновок, що в практиці розробки оптико-електронної апаратури виникає *протиріччя* між необхідністю зменшення розміру елементів приймача оптичного випромінювання для покращення показника просторової розрізненості та необхідністю збільшення розміру елементів для покращення показників динамічного діапазону і радіометричної розрізненості.

Досвід розробки та експлуатації оптико-електронних систем свідчить, що для усунення зазначеного протиріччя використовують три основні технології: тангажне уповільнення (аналогове інтегрування), часова затримка з накопиченням (цифрове інтегрування) та білінійне сканування із взаємним зсувом елементів.

Сутність технології тангажного уповільнення полягає в аналоговому сумуванні оптичного випромінювання у фокальній площині (рис. 13), що дозволяє збільшити відношення сигнал/шум в $\eta = b/a$ разів. При цьому відповідним чином обмежуються можливості маневру кута сканування, що призводить до зниження продуктивності системи.

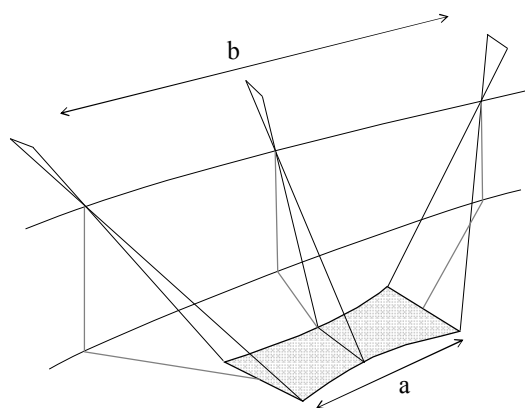


Рис. 13. Пояснення технології тангажного уповільнення

Сутність технології часової затримки (рис. 14) та накопичення полягає у використанні матриць та узгодженні частоти опитування елементів приймача для послідовної реєстрації випромінювання від однакових ділянок земної поверхні та подальшого цифрового сумування в спеціалізованому модулі електронної обробки [28].

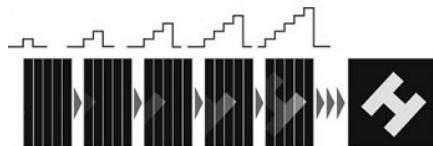


Рис. 14. Пояснення технології часової затримки з накопиченням

Поряд з очевидними перевагами, для вказаної технології зростають вимоги до електронних компонентів та забезпечувального комплексу носія апаратури: матриця має бути повністю опитана за час зсуву на одну строку, що вимагає широкої смуги передпідсилювача; наявні технології не завжди дозволяють забезпечити виготовлення на одному кристалі регістрів сканування, ключів виборки, передпідсилювача, регістрів накопичення та інших пристроїв обробки сигналу, що призводить до підвищення енергоживності, збільшення масогабаритних характеристик, зниження маневрених характеристик куту сканування.

Технологія взаємного зсуву елементів білінійного сканера (рис. 15) є компромісним варіантом: відносно великий розмір елементів приймача дозволяє забезпечити достатню накопичену енергію та прийняти відношення сигнал/шум в окремому каналі, а подальша спільна обробка інформації з двох каналів дозволяє синтезувати зображення з покращеними показниками якості.

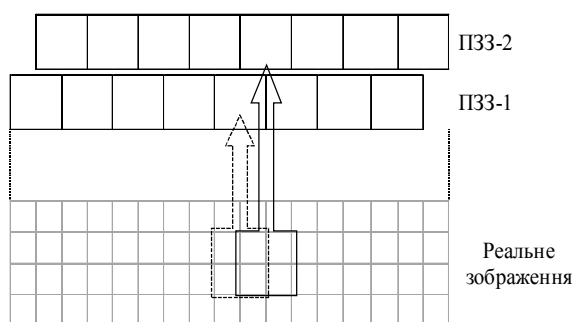


Рис. 15. Пояснення технології білінійного сканування із взаємним зсувом елементів: частота опитування каналів узгоджується з рухом носія для повторної зйомки однієї ділянки

Результати аналізу технологій забезпечення необхідних показників якості оптико-електронних зображень при обмеженому досяжному відношенні сигнал/шум свідчать про перспективність технології білінійного сканування із взаємним зсувом елементів.

ментів та подальшої обробки отриманих знімків. Аналіз наявних джерел [29, 30] свідчить про успішну практичну реалізацію зазначеної технології в сучасних зразках космічної техніки. При цьому наводяться лише загальнотеоретичні підходи до визначення досяжних показників якості отримуваних зображень.

Але методи синтезу результуючого зображення не розкриваються, що не дозволяє здійснити практичне кількісне оцінювання якості реальних зображень та визначити доцільність використання зазначеної технології у перспективних національних оптико-електронних системах космічних апаратів видової розвідки та дистанційного зондування Землі.

Для прогнозу показників якості зображень при застосуванні технології білінійного сканування із зсувом елементів необхідно дослідити вплив на них параметрів системи (шумів, нестабільності фази опитування тощо), розробити методику синтезу на основі спільної обробки сигналів парних каналів та обґрунтувати вимоги до підсистем перспективного зразка оптико-електронної апаратури.

Результати попереднього аналізу існуючих моделей реєстрації оптичного випромінювання показали їх обмежену придатність до вирішення завдань аналізу білінійних сканерів із зсувом елементів. Основні недоліки існуючих моделей:

прогноз показників якості отримуваних зображень ґрунтується на гіпотезі про безперервний характер розподілу яскравості еталонного об'єкту (міри), а сам процес реєстрації випромінювання розглядається дискретно, без урахування руху носія;

в існуючій моделі не враховується зміна часу інтегрування залежно від координат ділянок місцевості.

При цьому прогноз показників якості оптико-електронної системи та отримуваних зображень здійснюється на основі припущення про значення початкового вектор зсуву елементу тестової міри та початку зйомки, що недостатньо повно враховує як реальні умови зйомки, так і реальний розподіл яскравостей в межах району знімання.

Висновки та напрямки подальших досліджень

Таким чином, в статті проведено аналіз та систематизацію методів покращення показників якості аерокосмічних оптико-електронних знімків, вплив параметрів системи та оптико-електронної апаратури на дешифрувальні властивості отримуваних зображень, визначено основні технології усунення протиріччя, що виникає при вирішенні задач забезпечення дешифрувальних властивостей.

Існуючі моделі реєстрації оптичного випромінювання потребують удосконалення з метою оціню-

вання досяжних показників якості застосування оптико-електронної системи в умовах реального розподілу яскравостей, контрастів, умов та динаміки зйомки. Для оцінювання прогнозних дешифрувальних властивостей отримуваних зображень необхідно обґрунтувати критерій якості оптико-електронних зображень для завдань тематичного дешифрування.

Враховуючи відсутність у відкритих джерелах посилок на спосіб формування результуючого зображення, необхідно розробити та перевірити методику синтезу зображення з покращеною просторовою розрізненістю в білінійних оптико-електронних сканерах із зсувом елементів.

Список літератури

1. Загальнодержавна цільова науково-технічна космічна програма України на 2013-2017 роки. Затверджено Законом України від 5 вересня 2013 року № 439-VII.
2. Толубко В.Б. Тенденції використання космічного простору у сучасних умовах при вирішенні військових завдань / В.Б. Толубко, С.В. Козелков // Системи управління, навігації та зв'язку. – Вип. 3 (7). – К., 2008. – С. 4-11.
3. Современное состояние и перспективы развития отрасли ДЗЗ / М.А. Богуславский [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://www.sovzondconference.ru>.
4. Бакланов А.И. Анализ состояния и тенденции развития систем наблюдения высокого и сверхвысокого разрешения / А.И. Бакланов // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. – 2010 – № 2. – С. 80-90.
5. Білобородов О.О. Класифікатор потенційних об'єктів розвідки / О.О. Білобородов, М.Ф. Пічугін, Д.А. Іщенко, В.І. Снецар // Збірник наукових праць Житомирського військового інституту радіоелектроніки. – 2005. – Вип. 9. – С. 22-34.
6. Беларусь создает целевую аппаратуру для египетского спутника / А. Асфура [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://www.belta.by>.
7. Загальнодержавна (Національна) космічна програма України на 2003-2007 роки. Затверджено Законом України від 24 жовтня 2002 року № 203-IV.
8. Загальнодержавна цільова науково-технічна космічна програма України на 2008-2012 роки. Затверджено Законом України від 30 вересня 2008 року № 608-IV.
9. Дзюбчук Р.В. Формалізація задачі планування космічного радіолокаційного спостереження на основі графової моделі / Р.В. Дзюбчук, Д.В. П'ясовський, С.В. Водоп'ян // Системи обробки інформації. – Х.: ХВУ, 2004. – Вип. 7. – С. 185-193.
10. Савчук А.В. Побудова адаптивної системи оперативного планування роботи апаратури космічного апарата дистанційного зондування Землі з застосуванням єдиної інформаційної моделі / А.В. Савчук // Вісник ЖДТУ: Технічні науки. – 2004. – № IV (31), том II. – С. 58-64.
11. Фриз С.П. Методика оптимізації планування роботи орбітальних засобів космічних систем спостереження / О.А. Машков, С.П. Фриз // Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем: Зб. Наук. Пр. – Житомир: ЖВІРЕ, 2003. Вип.6. – С. 80-91.

12. Авраменко В.П. Методы улучшения растровых изображений / В.П. Авраменко, А.К. Парамонов, А.Д. Чибирев // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2011. – Вип. 3 (19). – С. 57-59.

13. Дешифрування гіперспектральної космічної інформації на основі текстурних і спектральних характеристик досліджуваних об'єктів / В.Г. Якимчук, К.Ю. Суханов, З.В. Козлов, Л.П. Ліщенко // Доповіді Національної академії наук України. – 2008. – № 2. – С. 129-134.

14. Космические методы дистанционного зондирования Земли: учеб. пособ. / А.Е. Горшенін, С.А. Кондратенко, Р.Н. Осадчук, А.М. Перегуда. – Житомир: ЖВИ НАУ, 2011. – 280 с.: ил.

15. Калинин Н.А. Практикум по космическим методам исследования в метеорологии / Н.А. Калинин, Н.И. Толмачева. – Пермь: Перм. ун-т, 2004. – 235 с.

16. Технические средства видовой разведки / А.В. Варламов, Г.А. Кисленко, А.А. Хорев, А.Н. Федорин; под ред. А.А. Хорева. – М.: РВСН, 1997. – 327 с.

17. Карпович И.Н. Военное дешифрование аэроснимков / И.Н. Карпович. [Учебн.]. – М.: Воениздат, 1990. – 544 с.

18. Гнатушенко В.В. Геометричні моделі формування та попередньої обробки цифрових фотограмметричних зображень високого просторового розрізнення: автореф. дис. ... докт. техн. наук: спец. 05.01.01 "Прикладна геометрія, інженерна графіка" / Гнатушенко Володимир Володимирович; Київський національний університет будівництва і архітектури. – К., 2009. – 24 с.

19. Живичин А.Н. Дешифрование фотографических изображений / А.Н. Живичин, В.С. Соколов. – М.: Недра, 1980. – 253 с.

20. Станкевич С.А. Уточнення відомої емпіричної формули оцінки імовірності правильного дешифрування об'єктів на аерокосмічному зображенні / С.А. Станкевич // Праці Наукового центру ВПС країни. – Вип. 7. – К.: НЦ ВПС, 2004. – С. 242-246.

21. Горшенін О.Є. Методика оцінювання якості космічних знімків при їх використанні для дешифрування штучних об'єктів дистанційного зондування землі /

О.Є. Горшенін, В.В. Петрожалко, О.Ф. Дубина // Вісник ЖДТУ. № 1 (56). – Житомир, 2011. – С. 37-42.

22. Білобородов О.О. Оцінювання просторово-часових можливостей космічних систем дистанційного зондування Землі / О.О. Білобородов, Г.В. Рибалка // Системи обробки інформації. – 2013. – № 2 (109). – С. 11-15.

23. Дистанційне зондування землі з космосу. Терміни та визначення понять: ДСТУ 4220-2003 – [Чинний від 2003.09-15]. – К.: Держспоживстандарт України, 2003. – 22 с. – (Національний стандарт України).

24. Беленов А.В. Стандартные уровни обработки и форматы представления данных ДЗЗ из космоса. Мировой опыт / А.В. Беленов / Геоматика. 2009. – № 4. – С. 18-20.

25. Лупян Е.А. Базовые продукты обработки данных дистанционного зондирования Земли / Е.А. Лупян, В.П. Саворский / Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2012. – Т. 9, № 2. – С. 87-96.

26. Торишина И.П. Оценка пространственного разрешения оптико-электронной системы с помощью компьютерного моделирования / И.П. Торишина, Ю.Г. Якушников // Ползуновский альманах. – 2011. – № 1. – С. 5-7.

27. Бурлаков И.Д. Фотоприемные устройства для тепловизионной аппаратуры второго поколения / И.Д. Бурлаков, В.П. Пономаренко, А.М. Филачёв // Прикладная физика. – 2007. – № 2. – С. 43-53.

28. Reulke R. Improvement of spatial resolution with staggered arrays as used in the airborne optical sensor ADS40 / U. Tempelmann, D. Stallmann, M. Cramer, N. Haala // Commission I, WG I/4.

29. Jahn H. Staggered line arrays in pushbroom cameras: theory and application / Herbert Jahn, Ralf Reulke // International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol. XXXIII, Part B1. Amsterdam 2000. – Pp. 164-172.

30. Holst, Gerald C. Electro-optical imaging system performance / Gerald C. Holst. – 2nd ed. – 438 p.

Надійшла до редколегії 08.01.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Г.В. Худов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА МАТЕРИАЛОВ АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СЪЁМКИ

О.А. Белобородов, А.Н. Маланчук, В.И. Присяжный, Г.В. Рибалка, А.В. Челпанов

В статье приведены результаты исследования методов улучшения качества материалов аэрокосмической оптико-электронной съёмки. Показано, что при решении задач обеспечения дешифровочных свойств изображений возникает противоречие между необходимостью уменьшения размеров элементов приемника оптического излучения для улучшения показателя пространственного разрешения и их увеличения для улучшения показателей динамического диапазона и радиометрического разрешения, значение которых ограничивается отношением сигнал/шум. Рассмотрены основные методы улучшения отношения сигнал/шум в современных образцах оптико-электронной сканирующей аппаратуры, определены направления дальнейших исследований для определения путей реализации в национальных образцах аэрокосмической техники.

Ключевые слова: аэрокосмическая съёмка, оптико-электронная аппаратура, качество изображений.

RESEARCH METHODS FOR IMPROVEMENT AEROSPACE OPTOELECTRONIC MATERIALS

O.O. Biloborodov, V.I. Prysazhnyi, A.M. Malanchuk, G.V. Rybalka, A.V. Chelpanov

The article presents the results of a study of methods to improve the quality of aerospace materials optoelectronic shooting. It is shown that the solution of problems providing interpretive properties of images there is a contradiction between the need to reduce the size of optical receiver elements to improve the performance of spatial resolution and increase their performance to improve dynamic range and radiometric resolution, which is limited to the value of S/N ratio. The basic methods of improving the signal/noise ratio in modern samples optoelectronic scanning equipment identified areas for further research to determine how the implementation of the national samples in aerospace engineering.

Keywords: aerospace survey, electro-optical apparatus, image quality.