

Я.М. Кожушко<sup>1</sup>, О.Ю. Іохов<sup>2</sup>, О.Ю. Лавров<sup>1</sup>, О.С. Калмиков<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

<sup>2</sup> Національна академія Національної гвардії України, Харків

<sup>3</sup> Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

## ВИБІР ДІАПАЗОНІВ РІЗНОСПЕКТРАЛЬНИХ ДАТЧИКІВ В ІНТЕРЕСАХ ВЕДЕННЯ БАГАТОКАНАЛЬНОЇ РОЗВІДКИ

В статті проведено аналіз впливу зовнішнього середовища розповсюдження електромагнітних хвиль на роботу багатоканальної оптико-електронної системи розвідки. Обґрунтовано використання оптичного та дальнього інфрачервоного діапазонів у якості основних діапазонів роботи наземної системи розвідки. Запропоновано використовувати методи комплексування різноспектральних зображень для обґрунтування вибору діапазонів роботи багатоканальної системи розвідки.

**Ключові слова:** оптико-електронна система розвідки, телевізійний канал, тепловізійний канал, радіометричний канал, методи комплексування.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Сучасний розвиток оптико-електронних систем розвідки (ОЕСР) дозволяє використовувати їх в умовах складної фоноцільової обстановки майже без обмежень. Така можливість досягається за рахунок використання в системах датчиків різної фізичної природи (ДРФП). Існує значна кількість робіт, присвячених проблемам комплексованих та комбінованих систем, об'єднаних метою, що використання комбінованих оптико-електронних засобів спостереження на борту БПЛА дозволить використовувати додаткові різноспектральні ознаки об'єктів, що спостерігаються або навпаки – приховані від спостереження. Однак використання великої кількості ДРФП в системі призводить до її ускладнення та збільшує навантаження на оператора, який не в змозі у повному обсязі використати можливості системи через велику кількість поставлених перед ним задач. Таким чином використання великої кількості різноспектральних датчиків, які теоретично дозволяють у повному обсязі задовольнити всі вимоги до розвідки, на практиці може виявитися не виправданим.

У практичному застосуванні більш зручним виявляється сумісне застосування 2–3 різноспектральних датчиків, при умові, що переваги одних компенсують недоліки інших, а в умовах, коли неможливо забезпечити таке нівелювання, доцільно використати апаратні методи покращення зображень отриманих ДРФП [1–2].

Однак такий підхід потребує глибокого попереднього аналізу можливостей роботи датчиків різного спектрального діапазону в умовах складної фоно-цільової обстановки.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В основу ведення розвідки за допомогою технічних

засобів покладено виявлення демаскуючих ознак (ДО) об'єктів, які можуть проявлятися в достатньо широкому діапазоні частот від інфраніжких до  $\gamma$ -частот [3].

Для забезпечення виявлення ДО об'єктів розвідки в широкому діапазоні в ряді робіт пропонується використання великої кількості ДРФП і відповідних ним каналів отримання інформації [3–5]:

- телевізійний (ТВ) канал ультрафіолетового (УФ) діапазону;
- денний ТВ канал;
- нічний ТВ канал;
- канал короткохвильового інфрачервоного (ІЧ) діапазону;
- тепловізійний (ТпВ) канал середньохвильового діапазону;
- тепловізійний (ТпВ) канал довгохвильового діапазону.

В роботі [4] вказано, що на ефективність роботи каналів ОЕСР впливають три фактори: параметри атмосфери, освітленість об'єкту, параметри фоноцільової обстановки. Параметри атмосфери та освітленості в основному визначають дальність роботи системи. Параметри цілі визначають як дальність виявлення, так і інформативність розвідки.

Таким чином, для обґрунтованого вибору каналів отримання інформації в ОЕСР необхідно визначити вплив основних параметрів об'єкту розвідки (ОР) та середовища розповсюдження електромагнітних хвиль (ЕМХ) на процес отримання інформації про поле бою в різних діапазонах спектру.

**Метою статті** є проведення аналізу впливу середовища розповсюдження ЕМХ на роботу багатоканальної ОЕСР з подальшим обґрунтуванням вибору діапазонів роботи різноспектральних датчиків багатоканальної системи розвідки.

### Виклад основного матеріалу

Відомо [6–8], що максимальна ефективність роботи ОЕСР досягається лише у “вікнах” прозорості атмосфери. При цьому на різних ділянках спектру основні втрати, пов’язані з поглинанням випромінювання атмосферою вздовж траси розповсюдження, визначаються, головним чином, різним складом газів і домішок в атмосфері. Наприклад, в діапазоні 1...2 мкм коефіцієнт пропускання визначається, головним чином, величиною концентрації вуглекислого газу, а в діапазонах 3...5 та 8...12 мкм основні втрати відбуваються за рахунок поглинання випромінювання водяними парами [3]. Таким чином, при різних співвідношеннях концентрації парів води та газів у атмосфері ефективність ОЕСР в різних діапазонах буде змінюватись.

Втрати на розсіяння випромінювання на молекулах та аерозольних частках (аерозольне розсіяння) є фактором, який обмежує дальність дії ОЕСР. Найбільш критичним до молекулярного та аерозольного розсіяння є УФ діапазон, найменш критичним дальній ТпВ діапазон (8...14 мкм) [6–8].

Розсіяння та поглинання в атмосфері визначають метеорологічну дальність видимості – основний параметр оцінки дальності ОЕСР.

Інтенсивність відбитого від об’єкту випромінювання (енергетична яскравість об’єкту), яке фіксується ОЕСР, визначається рівнем освітленості об’єкту. При достатньо високих рівнях освітленості, від десятків до тисяч люкс, доволі ефективним є використання в ОЕСР каналів УФ та ТВ діапазонів. Важливо відмітити, що для УФ діапазону бажане пряме сонячне освітлення ОР [4].

Для каналу ближнього ІЧ діапазону (0,8...1,3 мкм) мінімальний рівень освітленості ОР складає  $10^{-4}$ ... $10^{-5}$  люкс, що суттєво розширює його можливості.

У загальному випадку в діапазоні спектру 0,4...1,3 мкм (ТВ та ближній ІЧ діапазон) енергетична яскравість об’єктів визначається спектральним коефіцієнтом яскравості:

$$r_{\lambda} = B_{\lambda} / B_{0\lambda}, \tag{1}$$

де  $B_{\lambda}$  – монохроматична яскравість об’єкта;

$B_{0\lambda}$  – яскравість ідеально відбиваючої поверхні.

Ефективність роботи каналів середнього та дальнього ІЧ діапазонів (3...5 та 8...14 мкм відповідно) не залежить від рівня освітленості ОР. Основним фактором, який впливає на їх роботу, є тепловий контраст об’єкту і фону. Різниця радіаційних температур, яка сприймається ТпВ каналом, його тепловий контраст  $\Delta T_R$  може бути рівний нулю і для нагрітого відносно фону об’єкту, в ситуації коли відстань до фону значно більша відстані до об’єкту, а температура повітря  $T_{II}$  перевищує температуру

об’єкта  $T_{об}$ . В такому випадку випромінювання шару повітря між об’єктом і фоном може наблизити до нуля значення теплового контрасту  $\Delta T_R = T_{об} - T_{\phi}$ .

І навпаки, якщо температура повітря нижча за температуру фону, то тепловий контраст може навіть збільшитися. Значення  $\Delta T_R$  може бути нульовим і у випадку коли  $T_{II} < T_{об} < T_{\phi}$ , бо тоді має місце компенсація випромінювання атмосфери від’ємного теплового контрасту об’єкту, розміщеного поряд з віддаленим фоном. При цьому важливо відмітити те, що при компенсації теплового фону в одному з робочих ІЧ діапазонів 3–5 мкм або 8–12 мкм, в іншому діапазоні спектру він ще не являється нульовим [9].

Слід відмітити, що негативний вплив зниження теплового контрасту об’єктів до нуля на роботу оптико-електронної системи розвідки ослаблюється, враховуючи, що імовірність виявлення об’єктів визначається не середнім тепловим контрастом, а так званим контрастом Дойла, рівним:

$$\Delta T_{RD} = (\overline{\Delta T_R^2} + \sigma_{\Delta R}^2)^{1/2}, \tag{2}$$

де  $\overline{\Delta T_R^2}$  – середній по площі об’єкта тепловий контраст;

$\sigma_{\Delta R}^2$  – середньоквадратичне відхилення варіацій контрасту по площі об’єкта.

Оскільки на практиці  $\sigma_{\Delta R}^2$  завжди більше нуля, то і значення  $\Delta T_{RD}$  також відмінне від нуля.

Враховуючи вплив атмосфери, освітленості та фоно-цільової обстановки на роботу каналів ОЕСР в різних діапазонах спектру, можливо узагальнити їх основне призначення та специфіку роботи. Склад, спектральний діапазон, основне призначення та специфіка розвідувальних каналів приведені в табл. 1.

Не зважаючи на те, що в ряді робіт [4–6] пропонується поєднувати в одній системі розвідки всі канали, з табл. 1 видно, що доцільність використання всіх каналів в одній ОЕСР невиправдана.

Таблиця 1

Специфіка розвідувальних каналів

Канал	Спектральний діапазон, мкм	Основне призначення	Характерні ознаки
Телевізійний (ТВ) канал ультрафіолетового (УФ) діапазону	0,2 – 0,38	Виявлення замаскованих цілей. Виявлення пуску ракет	Контраст об’єктів і фонів; Світлова відмітка факелу ракети
Денний ТВ канал	0,35 – 0,8	Розвідка відкрито розміщених цілей вдень	Контраст об’єктів і фонів
Нічний ТВ – канал	0,4 – 1,1	Розвідка відкрито розміщених цілей вночі. Виявлення замаскованих цілей по відблиску від ОЕС	Контраст об’єктів і фонів; Світлова відмітка оптики ОЕС (відблиск)

Закінчення табл. 1

Оптико-електронний канал короткохвильового ІЧ діапазону	0,8 – 2,5	Виявлення замаскованих цілей	Контраст об'єктів і фонів
Тепловізійний (ТпВ) канал середньохвильового діапазону	3 – 5	Розвідка відкрито розміщених цілей вночі та вдень; Виявлення замаскованих цілей	Температурний контраст об'єктів і фонів; Теплова відмітка
Тепловізійний (ТпВ) канал довгохвильового діапазону	8 – 14	Розвідка відкрито розміщених цілей вночі та вдень; Виявлення замаскованих цілей	Температурний контраст об'єктів і фонів; Теплова відмітка

Оскільки основне призначення каналів та характерні ознаки ОР, які використовуються для їх роботи, повторюються, це призводить до ускладнення системи, але не дає істотного зниження впливу складної фоно-цільової обстановки на формування інформації про поле бою.

Більш доцільно використовувати всього два канали для роботи ОЕСР. Мається на увазі ТВ канал, який працює в діапазоні 0,4...1,3 мкм, тобто в оптичному та частині ближнього ІЧ діапазонах, та ТпВ канал, який працює в дальньому ІЧ діапазоні (8...12 мкм).

Такий вибір діапазону роботи ТВ каналу пояснюється наявністю відповідного вікна прозорості атмосфери, а також характерними особливостями спектрального коефіцієнта яскравості типових об'єктів. Ця область спектру характеризується стійким від'ємним контрастом об'єктів, розміщених на різних фонах, при чому ці контрасти не залежать від кута візування, досить стабільні по площі об'єкта і в 1,5...2 рази перевищують (по модулю) відповідні позитивні контрасти у видимому діапазоні спектру. Це підтверджується таблицями з розрахованими спектральними коефіцієнтами яскравості, представленими в роботі [10]. Крім того, для ближнього ІЧ діапазону характерні кращі, ніж для видимого, атмосферні умови спостереження об'єктів [11].

Вибір діапазону роботи ТпВ каналу пояснюється тим, що для багатьох об'єктів місцевості коефіцієнти випромінювання  $\epsilon$  (за законом Стефана Больцмана) в діапазоні 3...5 мкм значно нижчі, ніж в діапазоні 8...12 мкм, і в середньому складають 0,83 та 0,9 відповідно, у той час як коефіцієнти випромінювання всіх природних фонів приблизно однакові в обох діапазонах (0,91...0,93) [3]. Оскільки тепловий контраст об'єктів залежить не тільки від їх температурного контрасту (загального для двох діапазонів), а і від відмінностей коефіцієнта випромінювання об'єкту та фону, то ці об'єкти в діапазоні 8...12 мкм

мають більш високий тепловий контраст вночі, а в діапазоні 3...5 мкм – вдень (за рахунок більшої долі відбитого сонячного випромінювання, що визначається як  $\rho=1-\epsilon$ ).

Необхідно також відмітити, що канал, який працює у діапазоні 8...12 мкм, забезпечує більш стабільне в часі зображення, ніж канал в діапазоні 3...5 мкм, а його ефективність менше залежить від температури фону. Такий діапазон спектру найбільш підходящий для спостереження при погіршеній, за рахунок метеорологічних умов, дальності видимості та в умовах застосування аерозольних і димових завіс та активних перешкод (ІЧ прожекторі, спалахи і т.д.), які працюють в основному у видимій та ближній ІЧ області спектру [9].

В табл. 2 приведена порівняльна характеристика каналів розвідки, які працюють у запропонованих діапазонах.

Таблиця 2

Порівняльна характеристика каналів розвідки

Канал	Переваги	Недоліки
Тепловізійний $\lambda=8-12$ мкм	Практично цілодобовість та всепогодність роботи, висока ефективність виявлення замаскованих об'єктів. Стійкість до засвітів, аерозольним завадам. Висока ефективність при малій метеорологічній дальності видимості, низьких температурах, високій турбулентності. Високий тепловий контраст вночі. Висока стабільність теплових контрастів об'єктів.	Зменшення ефективності при наближенні середнього теплового контрасту до нуля: в моменти інверсії (двічі на добу); - у випадку коли фон значно далі об'єкту а $T_{\Pi} < T_{об} < T_{ф}$ або $T_{\Pi} > T_{об} > T_{ф}$ Невисоке кутове розділення. Зниження ефективності при високій вологості повітря.
Телевізійний $\lambda=0,4-1,3$ мкм	Високе кутове розділення. Незалежність ефективності від енергетичного стану об'єктів. Можливість виявлення об'єктів захищених непрозорими покриттями. Дешевизна та доступність елементної бази	Низька ефективність при високій турбулентності атмосфери. Зниження ефективності вночі та при виявленні об'єктів під маскувальними покриттями або при малій метеорологічній дальності виявлення. Нестійкість до засвітів. Не ефективність в аерозольних завісах. Висока залежність ефективності від метеоумов.

З таблиці бачимо, що недоліки роботи каналів компенсуються їх перевагами, при чому відсутня надлишковість системи.

Під всепогодністю роботи мається на увазі надійність функціонування системи в несприятливих погодно-кліматичних умовах, вдень і вночі, в димах і пилових утвореннях. У зв'язку з тим, що погонне загасання електромагнітних хвиль в атмосфері зростає зі зменшенням довжини хвилі, системи радіодіапазонів є більш всепогодними в порівнянні з системами видимого та ІЧ діапазонів хвиль. В якості ро-

бочих діапазонів хвиль в міліметровому діапазоні (ММД) використовуються радіометричні (РМ) піддіапазони в довжин хвиль  $\lambda = 8 \text{ мм}$ ,  $\lambda = 3 \text{ мм}$ , які в цьому випадку є “вікнами прозорості” атмосфери.

Пасивні РМ системи ММД в складних погодних умовах зберігають працездатність при дальності дії (7...10) км. Активні РЛК системи ММД здатні в тих же умовах працювати на дальності в кілька десятків кілометрів. Вимоги до перешкодозахищеності зумовлюють забезпечення енергетичної скритності роботи, а також високої завадостійкості приймальних пристроїв в умовах впливу природних і навмисних перешкод. Природно, пасивні РМ системи ІК і ММД мають більш високу скритність функціонування в порівнянні з активними.

Забезпечення високої завадостійкості широко-смугових пасивних систем ІК і ММД, в першу чергу, по відношенню до потужних зосереджених по спектру перешкод, може бути досягнуто завдяки застосуванню відомих методів компенсації і придушення потужних вузькосмугових перешкод в межах спектра широкосмугового сигналу.

Просторова роздільна здатність визначається (обмежена) фокусуєчими властивостями оптичних інформаційних датчиків і квазіоптичних (радіодіапазону) антенних систем.

Роздільна здатність РМ систем ММД залежить від розмірів антен, розрізнення по дальності у РЛК систем залежить від тривалості зондуючого імпульсу. Так, антена РЛК або РМ діаметром  $d = 300 \text{ мм}$  на довжині хвилі  $\lambda = 8,6 \text{ мм}$  (ширина ДНА  $\theta_{0,5} = 2^0$ ) з висоти  $H = 10 \text{ км}$  забезпечує розрізнення  $\sim 350 \text{ м}$ . При повному куті огляду поверхні  $\varphi = 16^0$  кількість дозволених елементів в одному рядку  $N_1 = 8$ , в кадрі  $N_1 \times N_2 = 64$ . Розміри дозволених елементів змінюються прямо пропорційно висоті візування.

РМ системи ММД мають суттєво менше просторове розрізнення, але також визначають потрібну кількість розрізних елементів для площі та лінійних об'єктів.

Чутливість активних РЛК систем забезпечується вибором відповідного енергетичного потенціалу передаючих пристроїв. Чутливість пасивних РМ систем становить 0,01...0,1 К/с, що забезпечує стійке виявлення радіоконтрастних об'єктів штучного та природного явищ на різних фонах.

Розрізнення за яскравістю (радіояскравістю) визначає зображення об'єкта у вигляді зонної конструкції, в якій окремим непересічним ситуаціям приписуються визначені (середні) величини інтенсивності випромінююмого або відбитого сигналів.

У тих випадках, коли кожен із каналів, взятий окремо, не задовольняє вимогам до якості одержаної інформації, то можливо підвищити ефективність

роботи системи за рахунок сумісної обробки інформації від різних каналів одночасно. Сумісну обробку інформації від різноспектральних каналів можливо реалізувати за допомогою методів комплексування різноспектральних зображень [4; 11–12].

Зображенням, що надходять від кожного з каналів, які працюють в своєму спектральному діапазоні, властиві індивідуальні особливості та характерні ознаки. Синтезуючи в одному зображенні відмінні ознаки зображень різних каналів і акцентуючи на них увагу, можна різко підвищити інформативність і ефективність ведення розвідки.

Однак через велику кількість існуючих методів комплексування виникає необхідність їх глибокого аналізу з метою визначення можливостей їх застосування для підвищення інформативності зображень ОЕСР в умовах складної фоно-цільової обстановки.

Таким чином, поєднання ТВ та ТпВ каналу та використання способів підвищення інформативності ОЕСР, оснований на комплексуванні різноспектральних зображень, дозволяє підвищити інформативність ОЕСР без суттєвого її ускладнення та перенавантаження датчиками інших діапазонів спектру.

## Висновки

В статті проведений порівняльний аналіз впливу параметрів атмосфери, освітленості та фоно-цільової обстановки на роботу різноспектральних каналів ОЕСР. За результатами аналізу зроблені висновки про недоцільність використання надлишкової кількості різноспектральних датчиків в одній системі.

Використання різноспектральних даних обсягне, реалістичне та внаслідок досягнутої на сучасному етапі відносної мініатюризації обладнання може бути використане у оптико-електронних системах розвідки, збільшить кількість та якість інформації, що отримується.

Обґрунтовано достатність використання в ОЕСР лише датчиків діапазону 0,4...1,3 мкм (ТВ канал) та 8...12 мкм (ТпВ канал), що у поєднанні з методами комплексування різноспектральних зображень дозволяє знизити вплив складної фоно-цільової обстановки на формування інформації про поле бою без суттєвих ускладнень ОЕСР.

Комплексна реалізація вказаного типу обладнання в ОЕСР призведе до якісного зростання можливостей підрозділів.

Визначено необхідність проведення подальшого глибокого аналізу методів комплексування різноспектральних зображень для визначення можливості підвищення інформативності зображень ОЕСР в умовах складної фоно-цільової обстановки.

## Список літератури

1. Аналіз можливого бортового оснащення радіотехнічними та телевізійними системами безпілотного літального апарату / Я.М. Кожушко, О.М. Гричанюк, М.Г. Саморок, О.С. Балабуха // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2018. – № 4(58). – С. 37-42. <https://doi.org/10.30748/zhups.2018.58.05>.
2. Гричанюк А.М. Влияние условий освещенности района геодезической привязки на работу оптических корреляционно-экстремальных систем навигации летательных аппаратов / А.М. Гричанюк, Я.Н. Кожушко // Системы обработки информации. – 2013. – № 6(113). – С. 61-65.
3. Гуляев В.П. Анализ демаскирующих признаков объектов информатизации и технических каналов утечки информации / В.П. Гуляев. – Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2014. – 166 с.
4. Мордвин Н.Н. Концепция построения оптико-электронных приборов универсального назначения / Н.Н. Мордвин, Г.Н. Попов // Известия вузов. – 2009. – Т. 52. – № 6. – С. 34-39.
5. Гейстер С.Р. Перспективные системы и средства ведения наземной разведки / С.Р. Гейстер // Наука и военная безопасность. – 2006. – № 2. – С. 46-49.
6. Тарасов В.В. Инфракрасные системы “смотрящего” типа / В.В. Тарасов, Ю.Г. Якушенков. – М.: Лотос, 2004. – 444 с.
7. Вольф У. Справочник по инфракрасной технике Т. 1 / У. Вольф. – М.: Мир, 1995. – 606 с.
8. Зуев В.Е. Перенос оптических сигналов в земной атмосфере (в условиях помех) / В.Е. Зуев, М.В. Кабанов. – М.: Сов. радио, 1977. – 368 с.
9. Анализ путей повышения эффективности наземных оптико-электронных комплексов наблюдения / В.А. Белоев, С.С. Мишанин, В.А. Овсянников, В.Л. Филинов, С.Е. Якубсон, В.С. Яцык // Оптический журнал. – 2012. – № 73(3). – С. 22-32.
10. Кринов Е.Л. Спектральная отражательная способность природных образований / Е.Л. Кринов. – М.: Издательство академии наук СССР, 1947. – 274 с.
11. Визильтер Ю.В. Проблемы технического зрения в современных авиационных системах / Ю.В. Визильтер, С.Ю. Желтов // Труды научно-технической конференции семинара “Техническое зрение в системах управления мобильными объектами - 2010”. – М.: КДУ, 2011. – Вып. 4. – С.11-45.
12. Танцюра О.Б. Аналіз методів комплексування різноспектральних зображень з використанням універсального показника якості / О.Б. Танцюра // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2016. – № 4(25). – С. 152-156.

## References

1. Kozhushko, Ya.M., Hrychaniuk, O.M., Samorok, M.H. and Balabukha, O.S. (2018), “Analiz mozhlyvoho bortovoho osnashchennia radiotekhnichnymy ta televiziinymy systemamy bezpilotnoho litalnoho aparatu” [Analysis of the possible radio and television systems on-board equipment of unmanned aerial vehicle], *Scientific Works of Kharkiv National Air Force University*, No. 4(58), pp. 37-42. <https://doi.org/10.30748/zhups.2018.58.05>.
2. Hrychaniuk, A.M. and Kozhushko, Ya.M. (2013), “Vlyianyie usloviy osveshchennosti raiona heodezycheskoi pryv'yazky na rabotu optycheskykh korrelyatsionno-ekstremalnykh system navyhatsy letatelnykh apparatov” [Influence of conditions of luminosity of geodesic region fixation on activity optical correlation extreme navigation systems of aircrafts], *Information Processing Systems*, No. 6(113), pp. 61-65.
3. Gylyayev, A.A. (2014), “Analiz demaskiruyushih priznakov obektov informatizatsii i tehnicheskikh kanalov utechki informatsii” [Analysis of unmasking signs of informatization objects and technical channels of information leakage], Ural University Publishing House, Yekaterinburg, 166 p.
4. Mordvin, N.N. and Popov, G.N. (2006), “Konceptsiya postroeniya optiko-elektronnykh priborov universalnogo naznacheniya” [The concept of building optoelectronic devices for universal use], *University News*, Vol. 52, No. 6, pp. 34-39.
5. Gayster, S.R. (2006), “Perspektivnye sistemy i sredstva vedeniya nazemnoj razvedki” [Advanced ground intelligence systems and tools], *Science and Military Security*, No. 2, pp. 46-49.
6. Tarasov, V.V. and Yakushenkov, U.G. (2004), “Infrakrasnye sistemy “smotryashego” tipa” [“Looking” type infrared systems], Moscow, 444 p.
7. Volf, Y. (1995), “Spravochnik po infrakrasnoj tehnike” [Infrared Technology Reference], Vol. 1, Mir, Moscow, 606 p.
8. Zuev, V.E. and Kabanov, M.V. (1977), “Perenos opticheskikh signalov v zemnoj atmosfere (v usloviyah pomekh)” [The transfer of optical signals in the Earth's atmosphere (in the conditions of interference)], Moscow, 368 p.
9. Baloev, V.A., Mishanin, S.S., Ovsyannikov, V.A., Filinov, V.L., Yakubson, S.E. and Yacyk, V.S. (2012), “Analiz putej povysheniya effektivnosti nazemnykh optiko-elektronnykh kompleksov nablyudeniya” [Analysis of ways to improve the efficiency of ground-based optical-electronic observation systems], *Optical journal*, No. 73(3), pp. 22-32.
10. Krinov E.L. (1947), “Spektralnaya otrazhatelnaya sposobnost prirodnykh obrazovaniy” [Spectral reflectance of natural formations], Moscow, 274 p.
11. Vizilter, Yu.V. and Zheltov, S.Yu. (2010), “Problemy tehničeskogo zreniya v sovremennykh aviacionnykh sistemah” [Problems of technical vision in modern aviation systems], *Proceedings of the scientific and technical conference of the seminar “Technical Vision in Mobile Object Management Systems - 2010”*, Vol. 4, KDU, Moscow, pp. 11-45.
12. Tancyra, A.B. (2016), “Analiz metodiv kompleksyvannya rizonspektralnykh zobrazhenn z vykorystannyam yuniversalnogo pokaznyka yakosti” [Analysis of methods different spectral image fusion with using universal quality score], *Science and Technology of the Air Force of Ukraine*, No. 4(25), pp. 152-156.

Надійшла до редколегії 9.10.2019

Схвалена до друку 19.11.2019

**Відомості про авторів:****Кожушко Ярослав Миколайович**

кандидат технічних наук  
старший науковий співробітник  
Харківського національного університету  
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-4229-6757>

**Іохов Олександр Юрійович**

кандидат технічних наук доцент  
начальник кафедри Національної академії  
Національної гвардії України,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-1718-0138>

**Лавров Олег Юрійович**

кандидат технічних наук  
науковий співробітник  
Харківського національного університету  
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0003-1292-5986>

**Калмыков Олександр Сергійович**

викладач  
Харківського національного  
університету радіоелектроніки,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0003-3000-0469>

**Information about the authors:****Yaroslav Kozhushko**

Candidate of Technical Sciences  
Senior Research Associate  
of Ivan Kozhedub Kharkiv  
National Air Forces University,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-4229-6757>

**Olexandr Iohov**

Candidate of Technical Sciences Associate Professor  
Head of Department of National Academy  
of National Guard of Ukraine,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-1718-0138>

**Oleg Lavrov**

Candidate of Technical Sciences  
Research Associate  
of Ivan Kozhedub Kharkiv  
National Air Forces University,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0003-1292-5986>

**Oleksandr Kalmykov**

Instructor  
of Kharkiv National University  
of Radio Electronics,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0003-3000-0469>

### ВЫБОР ДИАПАЗОНОВ РАЗНОСПЕКТРАЛЬНЫХ ДАТЧИКОВ В ИНТЕРЕСАХ ВЕДЕНИЯ МНОГОКАНАЛЬНОЙ РАЗВЕДКИ

Я.Н. Кожушко, А.Ю. Иохов, О.Ю. Лавров, А.С. Калмыков

*В статье проведен анализ влияния внешней среды распространения электромагнитных волн на работу многоканальной оптико-электронной системы разведки. Обосновано использование оптического и дальнего инфракрасного диапазонов в качестве основных диапазонов работы системы разведки. Предложено использовать методы комплексирования разносектральных изображений для обоснования выбора диапазонов работы многоканальной системы разведки.*

*Ключевые слова: оптико-электронная система разведки, телевизионный канал, тепловизионный канал, радиометрический канал, методы комплексирования.*

### SELECTION RANGES OF DIFFERENT SPECTRUM SENSORS IN THE MULTICHANNEL INTELLIGENCE INTERESTS

Ya. Kozhushko, O. Iohov, O. Lavrov, O. Kalmykov

*The article analyzes the influence of the external environment of the propagation of electromagnetic waves on the operation of a multi-channel optoelectronic intelligence system. In the article of the analysis of the atmosphere, atmospheric parameters, environmental and background conditions for the operation of the separate spectral channels of the multi-channel optoelectronic intelligence system. For the results of the analysis shown about the undervaluation of the high quality of the optical sensors in one system. The use of optical and far infrared ranges as the main ranges of the intelligence system is justified. Thus, in order to make a reasonable choice of channels for obtaining information in an optical-electronic reconnaissance system, it is necessary to determine the influence of the main parameters of the reconnaissance object and the medium of propagation of electromagnetic waves on the process of obtaining information in different spectral ranges. It was shown that the expediency of using all channels in one multi-channel optoelectronic intelligence system is unjustified. Since the main purpose of the channels and the characteristic features of the reconnaissance object that are used to operate them are repeated, this leads to a complication of the system, but does not significantly reduce the influence of a complex background-target situation on the formation of the received information. It is more advisable to use only two channels for the work of the multi-channel optoelectronic intelligence system: a television channel that operates in the optical and near infrared ranges, and a thermal imaging channel that operates in the far infrared range. In cases where each of the channels separately does not satisfy the requirements for the quality of information received, it is possible to increase the efficiency of the system due to the joint processing of information from different channels at the same time. Joint processing of information from different spectral channels can be realized using methods for complexing different spectral images. It is proposed to use methods for combining multispectral images to justify the choice of ranges of multi-channel intelligence systems.*

*Keywords: optoelectronic intelligence system, television channel, thermal imaging channel, radiometric channel, integration methods.*