

УДК 0621.396: 551.508

DOI: 10.31673/2412-9070.2021.061117

О. І. БОГАТОВ<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доцент;  
В. Ф. ЗАЙКА<sup>2</sup>, доктор техн. наук, професор;  
В. І. КРАВЧЕНКО<sup>2</sup>, канд. техн. наук, доцент;  
Д. П. МОРОЗ<sup>3</sup>, провід. наук. співробітник;  
М. М. ПРОЦЕНКО<sup>4</sup>, ст. наук. співробітник;  
М. Я. ПАВЛУНЬКО<sup>5</sup>, канд. військ. наук, доцент,

<sup>1</sup> Харківський Національний автомобільно-дорожній університет

<sup>2</sup> Державний університет телекомунікацій, Київ

<sup>3</sup> Науково-методичний центр кадрової політики Міністерства оборони України, Київ

<sup>4</sup> Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, Київ

<sup>5</sup> Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ

## МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ОПТИЧНИХ СИСТЕМ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

*Показано доцільність використання оптичних систем безпілотних авіаційних комплексів для здійснення моніторингу місцевості в інтересах інформаційного забезпечення дій військ (сил). Наведено технічні дані відповідних оптичних пристроїв. Подано методику визначення необхідних характеристик оптичної системи безпілотних літальних апаратів. Запропоновано рекомендації стосовно процесу оброблення цифрових зображень апаратурою безпілотного літального апарата. Показано перспективи розвитку напряму.*

**Ключові слова:** безпілотний літальний апарат; оптична система; моніторинг місцевості; цифрові зображення.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Аналіз досвіду використання безпілотних авіаційних комплексів (БпАК) в інтересах інформаційного забезпечення дій військ (сил) Збройних Сил України свідчить про значне розширення переліку завдань, що вирішуються безпілотними літальними апаратами (БпЛА) військового призначення. Прикладом цього є практика застосування багатоцільового БпАК А1-СМ «Фурія», розробленого підприємством «Атлон Авіа» 2014 року в Україні для ведення розвідки та коригування вогню артилерії (рис. 1).

Для отримання інформації про об'єкти противника в такому комплексі можуть застосовуватися різноманітні оптичні системи (відеокамери, фотокамери, тепловізори). Але раціональний вибір конкретних оптичних систем (ОС) БпЛА залежно від їх характеристик для виконання функціональних завдань і досі залишається проблематичним.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Нині багато публікацій присвячено проблемним питанням процесу оброблення інформації апаратурою БпЛА [1-19]. У науковій статті [1] розроблено метод високоточної геолокації віддаленого наземного об'єкта моніторингу (ОМ) за допомогою платформи БпЛА, оснащеної електрооптичним

приладом і лазерним віддалеміром. Використовуючи дані про положення БпЛА та ОС, визначаються координати ОМ. Запропонований метод застосовує багаторазові вимірювання кута та віддалі до ОМ для зменшення випадкових похибок вимірювання. Результат моделювання показує, що координати ОМ визначено з точністю до 10 м для випадку, коли БпЛА перебуває на відстані 4000 м від нього.

У [2] наведено стандарти передавання відео та фото інформації, показано, що під час розроблення радіоліній зв'язку з БпЛА слід ґрунтуватись на вимогах доступних стандартів НАТО, в яких акумульовано кращий світовий досвід у відповідній сфері. З огляду на це для формування відеозображень на борту БпЛА доцільно використовувати відеокамери високої чіткості з прогресивною розгорткою і квадратними пікселями. Причому найкращий вибір — камери з роздільною здатністю Full HD 1920 × 1080 × (50р) 60р або 1920 × 1080 × (24р) 30р.

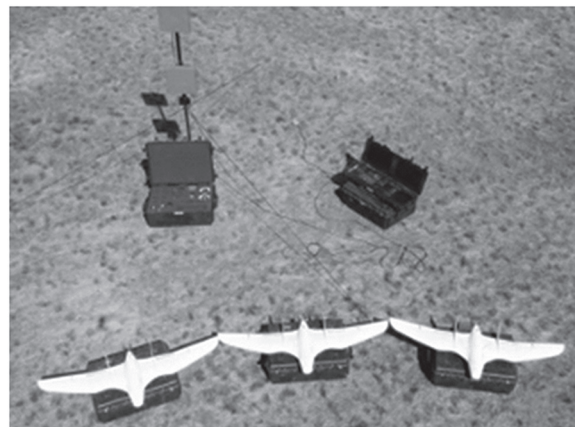


Рис. 1. Безпілотний авіаційний комплекс А1-СМ «Фурія»

У змістовній роботі [3] розглянуто вимоги до каналів зв'язку з БпЛА та визначено найбільш перспективні шляхи їх реалізації. Показано, що в процесі формування вимог до перспективних радіоліній зв'язку з БпЛА потрібно орієнтуватися на переважне застосування сигналів із модуляцією C-OFDM у поєднанні з технологіями цифрового діаграмоутворення, MIMO та мультиMIMO (MultiUser MIMO). Ці технології дають змогу забезпечити максимальну спектральну ефективність каналів зв'язку та їх стійкість до впливу завад.

Цифрове оброблення зображень, отриманих з БпЛА, набуває особливого поширення. Різноманітність методів і алгоритмів пов'язана з широким колом проблем, які постають під час оброблення та передавання цифрових даних в апаратурі БпЛА, а особливо проблеми оброблення в реальному масштабі часу. На підставі проведеного аналізу літератури можна дійти висновку, що вибір характеристик ОС для різних висот та умов спостереження в роботах [1-19] не розглянуто. Тому актуальним завданням є аргументування вимог до ОС та процесу оброблення інформації апаратурою БпЛА; вирішення протиріччя між отриманням необхідної якості зображень та забезпеченням максимального можливого стиснення даних.

**Метою статті** є обґрунтування методики розрахунку характеристик ОС безпілотних авіаційних комплексів залежно від висот та умов спостереження і розмірів ОМ.

### Основна частина

Безпілотний авіаційний комплекс здатен здійснювати пошук ОМ, проводити цифрове картографічне фотографування місцевості; фото-, відеореєстрацію подій та ОМ на місцевості; виявляти наявність і характер інженерного обладнання місцевості, райони руйнувань тощо. Основною перевагою використання БпЛА є те, що його можна застосувати в ситуаціях без ризику для життя та здоров'я пілотів. Однак, попри велику кількість переваг безпілотної зйомки, в особливості отримуваних даних залишаються деякі проблемні питання: низька якість зображень у разі складних погодних умов; недостатність точних даних GPS; похибки, пов'язані з нестабільністю польоту. Усе це потребує додаткового оброблення, яке дасть змогу зменшити вплив наявних недоліків та здобути якісний вихідний результат.

Оптичні системи в БпЛА реалізуються як системи оптичних пристроїв (ОП), розміщених або безпосередньо в корпусі БпЛА та жорстко пов'язаних з його конструкцією, або за допомогою платформ із гіростабілізацією, що забезпечують поворот оптичних пристроїв у будь-який бік із заданою швидкістю. Зазвичай жорсткий зв'язок оптичної осі пристрою з конструкцією БпЛА використовується для авіаційних фотокамер і оптичних пристроїв огляду передньої або інших півсфер БпЛА. Приклади характерних ОП видимого діапазону малого формату (МФ) та середнього формату (СФ), що можуть встановлюються на БпЛА, наведено в табл. 1.

Таблиця 1






Технічні дані оптичних пристроїв видимого діапазону МФ та СФ

Оптичний пристрій	Основні технічні дані
<b>Phase One iXA 180</b> 	Тип формату: МФ; роздільна здатність: 80 Мп; розмір: 53,7 × 40,4 мм <sup>2</sup> ; вага: 1,70 кг; частота кадрів: 0,7 кадр./с; швидкість: 4000(1600) с <sup>-1</sup>
<b>Trimble IQ180</b> 	Тип формату: МФ; роздільна здатність: 80 Мп; розмір: 53,7 × 40,4 мм <sup>2</sup> ; вага: 1,50 кг; швидкість: 1000 с <sup>-1</sup>
<b>Hasselblad H4D-60</b> 	Тип формату: МФ; роздільна здатність: 60 Мп; розмір: 53,7 × 40,2 мм <sup>2</sup> ; вага: 1,80 кг; частота кадрів: 0,7 кадр./с; швидкість: 800 с <sup>-1</sup>
<b>Sony NEX-7</b> 	Країна-виробник: Японія; тип формату: СФ; роздільна здатність, 24,3 Мп; розмір: 23,5 × 15,6 мм <sup>2</sup> ; вага: 0,35 кг; частота кадрів: 2,3 кадр./с; швидкість: 4000 с <sup>-1</sup>
<b>Ricoh GXR A16</b> 	Тип формату: СФ; роздільна здатність: 16,2 Мп; розмір: 23,6 × 15,7 мм <sup>2</sup> ; вага: 0,35 кг; частота кадрів: 3 кадр./с; швидкість: 3200 с <sup>-1</sup>

Застосування наведених ОП дає можливість розв'язувати більшість завдань, проте для отримання якісного результату потрібне виконання жорстких вимог до стабілізації положення БпЛА в повітрі в момент проведення зйомки [7]. Тому ОП, що розміщуються на гіростабілізованих платформах, мають істотну перевагу. Сучасний ринок електронно-оптичних систем спостереження пропонує широкий асортимент таких пристроїв (табл. 2).

Таблиця 2

Технічні дані оптичних пристроїв на гіростабілізованих платформах

Оптичний пристрій	Основні технічні дані	
<p><i>Tamron MP1110M-VC</i></p> 	<p>Країна-виробник: Китай; тип: керований підвіс на двовісній платформі; роздільна здатність камери: 1920 × 1080 пікселів;</p>	<p>живлення: 12...24 В; діаметр: 100 мм; вага: 0,6 кг; діапазон робочих температур: від -30 до +40° С</p>
<p><i>Tamron MP1110M-V</i></p> 	<p>Країна-виробник: Китай; тип: керований підвіс на двовісній платформі; роздільна здатність камери: 1920 × 1080 пікселів;</p>	<p>живлення: 12...24 В; діаметр: 130 мм; вага: 0,5 кг; діапазон робочих температур: від -30 до +40° С</p>
<p><i>Sony FCB-EV7500</i></p> 	<p>Країна-виробник: Японія; тип: керований підвіс на двовісній платформі; роздільна здатність камери: 1920 × 1080 пікселів;</p>	<p>живлення: 12...24 В; діаметр: 130 мм; вага: 1 кг; діапазон робочих температур: від -30 до +40° С</p>
<p><i>Flir TAU2 640</i></p> 	<p>Країна-виробник: США; тип: керований підвіс на тривісній платформі; роздільна здатність тепловізійної камери: 640 × 512 пікселів;</p>	<p>живлення: 12...24 В; діаметр: 100 мм; вага: 0,65 кг; діапазон робочих температур: від -30 до +40° С</p>
<p><i>Suncti</i></p> 	<p>Країна-виробник: Китай; тип: керований підвіс на тривісній платформі; роздільна здатність тепловізійної камери: 640 × 480 пікселів;</p>	<p>живлення: 12...24 В; діаметр: 130 мм; вага: 1,2 кг; діапазон робочих температур: від -30 до +40° С</p>

Використання гіростабілізованих платформ з ОП може забезпечувати виконання завдання супроводу літальних апаратів та наземних ОМ у польоті. Спільна установка телевізійної та інфрачервоної камер дає змогу істотно підвищити інформативність отриманого зображення, а доповнення у вигляді лазерного віддалеміра уможливило точне визначення відносних координат об'єктів спостереження.

Оптичні системи на гіростабілізованих платформах поступово починають посідати важливе місце в цільових навантаженнях БпЛА. Їх складність і насиченість різноманітними функціями (супровід літального апарату в просторі, обчислення відносних координат точки в просторі) постійно збільшуються, зростає і вартість цих пристроїв.

Отже, виникає потреба в раціональному виборі конкретної ОС для виконання функціональних завдань БпЛА.

Оптична система БпЛА має свої особливості, які необхідно враховувати в процесі розроблення бортової системи розвідки повітряного простору. Ось деякі з них.

1. Система має забезпечувати одержання інформації про зображення і координати до ОМ, що спостерігається, для чого об'єктив має формувати зображення на виході оптичної системи.

2. Потрібно визначити метод виявлення ОМ, реалізований в ОС, оскільки виявлення може здійснюватися двома методами:

а) за перевищенням сигналу від ОМ деякого рівня, зумовленого зовнішнім фоном і внутрішніми шумами;

б) за контрастом на світлому або темному фоні.

Розглянемо перший випадок, коли сигнал від ОМ приймається при слабкому фоні, а зображення сформоване з кількох елементів дозволу. Однозначний зв'язок розміру ОМ і зображення дозволяє

використовувати здобутий у прикладній оптиці вираз для визначення освітленості зображення віддаленого ОМ [6; 7]:

$$E_{\text{ВП}} = 0,25\pi BD^2 T_a t_{\text{об}} / F_{\text{об}}^2, \quad (1)$$

де  $B$  — яскравість ОМ;  $D$  — діаметр вхідної зіниці;  $F_{\text{об}}$  — фокусна відстань об'єктива;  $T_a$  — прозорість атмосфери для горизонтальної і близьких до непохилих трас,  $T_a = \exp(-(\alpha + \beta)k)R_{\text{ом}}$ ;  $\alpha$  — показник розсіювання атмосфери,  $\beta$  — показник поглинання атмосфери;  $R_{\text{ом}}$  — віддаль до ОМ.

Для виявлення ОМ необхідно, щоб освітленість зображення перевищувала граничну освітленість  $E_{\text{пор}}$ , за якої рівень сигналу на виході ОП відповідає рівню шумів або завад. Звичайно це перевищення визначається заданим у технічному завданні відношенням сигнал/шум,  $\mu$

$$E_{\text{ВП}} \geq \mu E_{\text{пор}}. \quad (2)$$

Зважаючи на те, що для виявлення ОМ достатньо виконати рівності, скористаємося формулою для освітленості зображення і дістанемо вираз

$$\mu E_{\text{пор}} = 0,25\pi BD^2 \exp(-(\alpha + \beta)R_{\text{ом}}) t_{\text{об}} / F_{\text{об}}^2, \quad (3)$$

який дає змогу розрахувати віддаль виявлення ОМ:

$$R_{\text{ом}} = \ln \left( \frac{0,25\pi \cdot B \cdot D^2 \cdot t_{\text{об}}}{F_{\text{об}}^2 \cdot \mu \cdot E_{\text{пор}}} \right) / (\alpha + \beta). \quad (4)$$

Така оцінка справедлива, поки лінійний розмір зображення ОМ перевищує розмір елемента об'єктива ОС. Якщо зображення ОМ вироджується в точку, тобто скорочується до одного елемента об'єктива ОС, то співвідношення, що характеризує освітленість зображення з параметрами ОМ, зміниться. Усе прийняте об'єктивом випромінювання формує точкове зображення, що відповідає одному елементу об'єктива ОС. Освітленість такого зображення буде визначатися розміром світлового потоку на виході ОС і площею одного елемента ОС [6]

$$E_{\text{ВП}} = \Phi_{\text{вих}} / S_{\text{ел.д}}. \quad (5)$$

З огляду на це, складемо енергетичне рівняння для режиму формування точкового зображення

$$E_{\text{ВП}} = \Phi_{\text{вих}} / S_{\text{ел.д}} \geq \mu E_{\text{пор}}, \quad (6)$$

де  $\Phi_{\text{вих}} = E_{\text{вх}} T_{\text{ос}} \pi D^2 / 4 = \pi B T_a \tau_{\text{об}} D^2 / 4 R^2$ ;  $S_{\text{ел.д}} = \pi d_{\text{ел}}^2 / 4$ ;  $d_{\text{ел}} = 1,22 \lambda K_{\text{аб}} F_{\text{об}} / D$ .

Підставивши значення світлового потоку в енергетичне рівняння, запишемо його в розгорнутому виді

$$\mu E_{\text{пор}} \leq (\tau_{\text{об}} B T_a D^4 S_{\text{вп}}) / (2,44 R^2 \lambda^2 K_{\text{аб}}^2 F_{\text{об}}^2). \quad (7)$$

Врахуємо в цьому рівнянні спектральну чутливість ОС через коефіцієнт використання випромінювання  $K_{\text{фп}}$ , а також те, що  $B S_{\text{вп}} = I_{\text{вп}}$ :

$$\frac{\tau_{\text{об}} T_a I_{\text{вп}} D^4 K_{\text{фп}}}{2,44 R^2 \lambda^2 K_{\text{аб}}^2 F_{\text{об}}^2} = \mu E_{\text{пор}}. \quad (8)$$

З цього рівняння визначимо віддаль виявлення ОМ:

$$R_{\text{ом}} = \sqrt{\frac{\tau_{\text{об}} T_a I_{\text{вп}} D^4 K_{\text{фп}}}{2,44 R^2 \lambda^2 K_{\text{аб}}^2 F_{\text{об}}^2}}. \quad (9)$$

Величина фокусної відстані звичайно визначається необхідним полем зору  $2\omega$  ОС:

$$F_{\text{об}} = d_{\text{фп}} / 2 \text{tg} \omega. \quad (10)$$

Розглянуте прийнятне для такого режиму роботи ОС, коли зовнішній фон буде достатньо малим. Це відповідає нічним або сутінковим умовам. Для роботи вдень потрібно зважати на великий рівень яскравості зовнішнього фону, що може значно перевершувати яскравість ОМ і виявлення ОМ за таких умов згідно з розглянутою раніше методикою неможливо. Для виявлення ОМ у разі великого рівня фону використовують відмінність ОМ від фону за контрастом. Контраст звичайно визначають як величину:

$$K = \frac{B_{\text{ом}} - B_{\text{ф}}}{B_{\text{ом}} + B_{\text{ф}}}, \quad (11)$$

де  $B_{\text{ом}}$  і  $B_{\text{ф}}$  — характеризують розмір яскравості відповідно ОМ і фону.

Чим більша розбіжність в яскравості фону й ОМ, тим вищий контраст. Значення контрасту може змінюватися в межах  $0 \leq K \leq 1$ . Людське око розрізняє об'єкт на рівномірному фоні, якщо його контраст перевищує 0,02.

Аналіз й оброблення сигналу на виході ОС можливі, якщо контраст ОМ не менш як 0,03...0,05. Проаналізуємо параметри ОС під час виявлення ОМ за його контрастом.



Сигнал на виході ОС пропорційний до освітленості на його вході, тому запишемо енергетичне рівняння, що визначає можливість виявлення ОМ за контрастом. Подамо освітленість зображення ОМ на вході ОС у вигляді

$$E_{ом} = 0,25\pi B_{ом} D^2 T_a \tau_{об} / F^2_{об}. \quad (12)$$

Аналогічно можна визначити освітленість, утворювану фоновим випромінюванням на вході ОС, проте при цьому треба врахувати, що рівень фону практично цілком визначається його яскравістю і не залежить від прозорості атмосфери:

$$E_{ф} = 0,25\pi B_{ф} D^2 \tau_{об} / F^2_{об}. \quad (13)$$

Скориставшись поняттям фізичної світлосили  $H = \tau_{об} D^2 / F^2_{об}$ , спростимо ці співвідношення:

$$E_{ом} = 0,785 B_{ом} H T_a, \quad E_{ф} = 0,785 B_{ф} H.$$

Позначимо для спрощення запису  $0,785 H = C_1$ , тоді

$$E_{ом} = C_1 B_{ом} T_a, \quad E_{ф} = C_1 B_{ф}. \quad (14)$$

Застосувавши здобуті співвідношення, визначимо контраст зображення ОМ

$$K_{вп} = (E_{ф} - E_{ом}) / (E_{ф} + E_{ом}). \quad (15)$$

У процесі аналізу цього виразу потрібно зважати на те, що освітленість зображення залежатиме не тільки від яскравості ОМ, а й від величини сонячного випромінювання, яке розсіюється прошарком атмосфери, розташованим між ОМ і ОС, що можна визначити так:

$$E_{ом} = C_1 B_{ом} T_a = C_1 [B_{ф} (1 - e^{-\beta R}) + B_{ом} e^{-(\alpha+\beta)R}]. \quad (16)$$

З огляду на це розрахуємо контраст цілі у сформованому на вході ОС:

$$K = \frac{B_{ф} - [B_{ом} e^{-(\alpha+\beta)R} + B_{ф} (1 - e^{-\beta R})]}{B_{ф} + [B_{ом} e^{-(\alpha+\beta)R} + B_{ф} (1 - e^{-\beta R})]}. \quad (17)$$

Якщо позначити контрастну чутливість ОС через  $\epsilon_{min}$ , то дістанемо таке енергетичне співвідношення:

$$\frac{B_{ф} - [B_{ом} e^{-(\alpha+\beta)R} + B_{ф} (1 - e^{-\beta R})]}{B_{ф} + [B_{ом} e^{-(\alpha+\beta)R} + B_{ф} (1 - e^{-\beta R})]} \geq \epsilon_{min}. \quad (18)$$

Аналізуючи здобутий вираз, можна визначити віддаль виявлення ОМ ОС, розміщену на БпЛА.

Важливим параметром, що залежить від ОС, є мінімальна гранична чутливість  $\epsilon_{min}$ , істотно зумовлена рівнем внутрішніх шумів і рівнем зовнішнього фону. У загальному вигляді цю величину можна визначити так:

$$\epsilon_{min} = \frac{i_{cmin} - \sqrt{\sigma_{ш}^2}}{i_{cmin} + \sqrt{\sigma_{ш}^2}}, \quad (19)$$

де  $\sqrt{\sigma_{ш}^2}$  — середньоквадратичне значення шумів на виході ОС;  $i_{cmin}$  — мінімальний сигнал на виході ОС, що забезпечує виявлення ОМ за мінімальним контрастом. Взявши до уваги цю залежність та застосувавши відоме значення контрастної чутливості  $\epsilon_{min}$ , можна здобути рівняння графічно за таких умов:  $B_{ф} = 8$ ;  $B_{ом} = 0,2$ ;  $\alpha = 0,2$ ;  $\beta = 0,1$ ;  $R_{ом} = 0,2 \dots 10$  км;  $\epsilon_{пор} = 0,3$  (рис. 2).

Отже, наведений порядок розрахунку дає змогу визначити можливість використання конкретної бортової ОС БпЛА для виконання певних завдань залежно від віддалі виявлення ОМ.

### Висновки

Наведена методика визначення характеристик ОС БпЛА з урахуванням вимоги до процесу оброблення цифрових фотозображень дає змогу визначити можливість використання БпЛА для здійснення пошуку ОМ на місцевості в конкретних умовах тактичної обстановки.

Водночас, з метою підвищення ефективності застосування БпЛА в подальшому доцільно здійснити розробку методу стиснення (кодування) цифрових фотозображень та передавання їх на наземний пункт керування для подальшого оброблення.

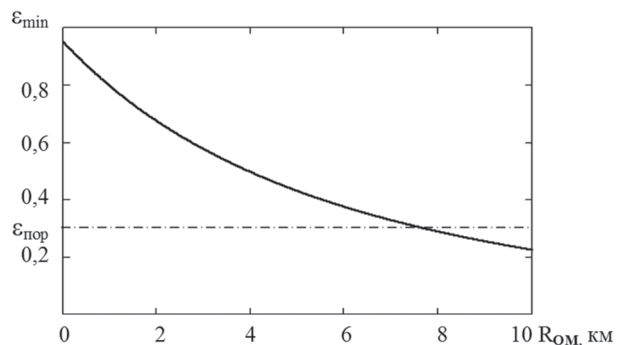


Рис. 2. Залежність мінімальної граничної чутливості від віддалі виявлення ОМ

## Список використаної літератури

1. *High Accuracy Active Stand-off Target Geolocation Using UAV Platform* / X. Yang, D. Lin, F. Zhang [et al.] // *IEEE International Conference on Signal, Information and Data Processing (ICSIDP)*, 2019. P. 1–4.
2. **Слюсар В. И.** Передача данных с борта БПЛА: стандарты НАТО // *Электроника: наука, технология, бизнес*. 2010. № 3. С. 80–86.
3. **Слюсар В. И.** Радиолинии связи с БПЛА: примеры реализации // *Электроника: наука, технология, бизнес*. 2010. № 5. С. 56–60.
4. **Кузнецов В.** Беспилотная одиссея в небе будущего // *Наука и техника*. 2011. №5 (60). С. 21–26.
5. **Підвищення ефективності функціонування системи обробки інформації та управління безпілотних літальних апаратів на основі застосування модулярної системи числення** / В. І. Барсов, Є. О. Сотник, В. О. Жадан, В. А. Краснобаєв // *Зб. наук. праць Харків. ун-ту Повітряних Сил*. 2011. №3 (29). С. 90–95.
6. **Цепляева Т. П., Лохов А. Н.** Метод выбора характеристик фотоборудования для БПЛА в зависимости от высоты полета // *Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии*. 2011. №49. С. 48–52.
7. **Росточин В. В., Дмитриев М. Л.** Применение цифровых оптических систем для беспилотных летательных аппаратов [Электронный ресурс]. URL: [www.uav.ru](http://www.uav.ru).
8. **STANAG 4609/AEDP-8. NATO Digital Motion Imagery Format** [Электронный ресурс.]. URL: [www.nato.int/structur/AC/224/standrd/4609/4609.htm](http://www.nato.int/structur/AC/224/standrd/4609/4609.htm).
9. **Проценко М. М.** Аналіз структури та варіантів побудови безпілотних авіаційних комплексів // *Вісник ЖДТУ*. 2012. №61(2). С. 113–117.
10. **Проценко М. М.** Аналіз методів цифрової обробки відеозображень апаратурою безпілотного літального апарату // *Вісник ЖДТУ*. 2012. №62(3). С. 67–72.
11. **Проценко М. М.** Метод стиснення цифрових зображень з використанням базових функцій пакетного вейвлет-перетворення // *Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем: зб. наук. праць. Житомир: ЖВІ ДУТ, 2015. Вип. №11. 176 с.*
12. **Application of UAV system for low altitude photogrammetry in Shanxi** / J. Chen, L. Zongjian, W. Xiaojing, L. Yongrong // *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences: XXII ISPRS Congress, Melbourne, 25.08.2012-01.09.2012. Melbourne, 2012. P. 351–354.*
13. **Shreyamsh Kamate, Nuri Yilmazer.** Application of Object Detection and Tracking Techniques for Unmanned Aerial Vehicles // *Procedia Computer Science*. 2015. № 61. P. 436–441.
14. **Berezhnyi A., Trystan A., Lavrov O.** Information technology of automatic detection and identification of stationary objects with unmanned aerial vehicles // *Сучасні інформаційні системи*. 2020. Вип. 4(1). С. 5–10.
15. **Бережний А. О., Крижанівський І. М.** Комплекс задач системи підтримки прийняття рішення на планування маршрутів польотів безпілотних літальних апаратів // *Системи управління, навігації та зв'язку: зб. наук. праць. Полтава, 2020. Вип. 1(59). С. 3–6.*
16. **Тристан А. В., Бережний А. О., Крижанівський І. М.** Математичні моделі та методи планування повітряної розвідки рухомих й стаціонарних об'єктів з застосуванням безпілотних літальних апаратів // *Проблеми інформатизації: тези доп. 7-ї міжнар. наук.-техн. конф., м. Черкаси, м. Харків, м. Баку, м. Бельсько-Бяла [у 3 т.], 13-15 лист. 2019. Черкаси – Харків – Баку – Бельсько-Бяла, 2019. Т. 3. С. 41.*
17. **Coutinho W. P., Fliege J., Battarra M.** The Unmanned Aerial Vehicle Routing and Trajectory Optimization Problem. *Computers and Industrial Engineering*. 2018. Vol. 120. P. 116–128.
18. **Сайт ascam.aero** [Електронний ресурс]. URL: [ascam.aero/modulnyie-kameryi-s-funktsiey-opticheskoy-stabilizatsii-izobrazheniya/](http://ascam.aero/modulnyie-kameryi-s-funktsiey-opticheskoy-stabilizatsii-izobrazheniya/)
19. **Colomina I., Molina P.** Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2014. Vol. 92. P. 79–97.

О. И. Богатов, В. Ф. Заика, В. И. Кравченко, Д. П. Мороз, М. М. Проценко, Н. Я. Павлушко

**МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ  
БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

Показана целесообразность применения оптических систем беспилотных авиационных комплексов для осуществления мониторинга местности в интересах информационного обеспечения действий войск (сил). Приведены технические данные соответствующих оптических устройств. Представлена методика определения необходимых характеристик оптической системы беспилотных

летательных аппаратов. Предложены рекомендации по процессу обработки цифровых изображений аппаратурой беспилотного летательного аппарата. Показаны перспективы развития данного направления.

**Ключевые слова:** беспилотный летательный аппарат; оптическая система; мониторинг местности; цифровые изображения.

*O. I. Bogatov, V. F. Zaika, V. I. Kravchenko, D. P. Moroz, M. M. Protchenko, M. Y. Pavlunko*

### **METHOD FOR DETERMINING THE CHARACTERISTICS OF UNMANNED AIRCRAFTS OPTICAL SYSTEMS**

*The expediency of using optical systems of unmanned aerial systems for the terrain monitoring in the interests of information support for the actions of troops (forces) is shown. The necessity of early determination of the characteristics of optical systems of unmanned aerial vehicles, depending on the tasks being solved, is determined. The technical characteristics of the corresponding electron-optical devices are given. The advantages of observing ground objects by optical systems, which are placed on unmanned aerial vehicles on gyro-stabilized platforms, are shown. The process of processing digital images of the terrain by optical systems is analyzed depending on the threshold illumination and contrast of the object of observation. A technique is presented for determining the necessary characteristics of the optical system of unmanned aerial vehicles, depending on the flight altitude, observation conditions, and the size of the monitoring object. The procedure for calculating the detection range of ground objects by optical systems of unmanned aerial vehicles for day and night observation conditions is given. The possibility of using these methods for the selection of equipment for unmanned aerial vehicles, which allows you to successfully perform the assigned tasks in specific environmental conditions, is determined. Recommendations are proposed for improving the process of processing digital images with the equipment of an unmanned aerial vehicle. The prospects for the development of this direction are shown by developing methods for compressing (coding) digital images when transferring them to a ground control station.*

**Keywords:** unmanned aircraft; optical system; terrain monitoring; digital images.

