Р.Г. Сидоренко, Г.В. Акулінін, С.А. Безверхий, Г.М. Сафарова

Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

МЕТОДИКА ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХОДІВ МАСКУВАННЯ У ВИДИМОМУ ДІАПАЗОНІ ДОВЖИН ХВИЛЬ

Проведено оцінку можливостей апаратури оптико-візуальної розвідки, яка встановлена на космічних, літальних апаратах та наземних засобах щодо виявлення об'єктів. Наведені необхідні для розрахунків вихідні дані по об'єктах та умовах ведення розвідки. Отримано аналітичні вирази для розрахунку відношення сигналу до шуму зображень вихідного й замаскованого об'єктів та їх тіней, ймовірностей виявлення вихідного й замаскованого об'єкту. Розроблено математичний апарат для оцінки ефективності заходів маскування у видимому діапазоні довжин хвиль. Отримані результати можуть використовуватись при розробці нових засобів маскування та оцінці існуючих та перспективних засобів розвідки у видимому діапазоні довжин хвиль.

Ключові слова: засоби оптико-візуальної розвідки, заходи маскування, оцінка ефективності, ймовірність виявлення об'єкта.

Вступ

Постановка проблеми. В теперішній час в збройних силах провідних країн світу для виявлення і розпізнавання наземних, повітряних та морських об'єктів, а також забезпечення нанесення ударів в нічних та складних метеоумовах широко використовуються оптичні та оптоелектронні засоби розвідки.

Основою таких засобів є бортові авіаційні розвідувально-ударні оптичні та оптико-електронні системи, що включають: оптичні прилади безпосереднього спостереження; авіаційні фотоапарати (АФА), в тому числі оптико-електронні; телевізійні станції переднього огляду; телевізійні камери; оптико-електронні навігаційні та прицільні системи. Дана апаратура дозволяє вести повітряну візуальну оптичну, фотографічну і оптико-електронну (телевізійну) розвідку в денний і нічний час доби.

Повітряна візуальна оптична і фотографічна розвідка ведеться розвідувальними, базовими патрульними літаками.

З наявних на озброєнні АФА близько 200 типів можуть бути обрані для установки практично на будь-якому типі літаків. Вони мають лінійну роздільну здатність на місцевості до 10 см, окремі зразки АФА – 2-3 см. Дальність фотозйомки об'єктів в діапазоні довжин хвиль електромагнітного спектру випромінювання (спектральний діапазон) 0,5-0,8 мкм з висоти 10 км становить до 50 км. Крім того, в комплект обладнання розвідувальних літаків входить оптичний телескоп, який дозволяє виявляти старт ракет на відстані до 500 км.

Телевізійними станціями переднього огляду оснащуються літаки практично всіх сучасних типів, вертольотів і безпілотних літальних апаратів (Бп-

ЛА). Вони також входять до складу комплексних прицільно-навігаційних систем, які забезпечують вирішення широкого кола бойових завдань. Більшість станцій працюють в одній з двох (3-5 або 8-14 мкм) або обох областях спектрального діапазону. При температурній роздільній здатності 0,1-0,3° і кутовій роздільній здатності 0,5-2,5 мрад вони забезпечують ведення розвідки на дальності до 10 км.

Телевізійні камери входять до складу комплексних розвідувально-ударних систем або встановлюються у вигляді окремого блоку на борту БпЛА. Вони працюють в спектральному діапазоні (0,3–0,5 мкм) і використовуються, як правило, для ведення розвідки в денних умовах і при низьких рівнях освітленості.

В цілому, фото- і телевізійні станції, а також оптико-електронні камери мають лінійну роздільну здатність близько 40 см і дозволяють розпізнавати малорозмірні стаціонарні та рухливі цілі, такі, як танки, бронетранспортери, пускові установки зенітних ракетних комплексів на дальності до 50 км.

Все вище зазначене говорить, про необхідність значно підвищити увагу до розробки та застосування новітніх засобів маскування, а також оцінити їх можливості щодо зниження помітності важливих військових об'єктів і озброєння та військової техніки (ОВТ) від сучасних та перспективних засобів розвідки та ураження.

Тому, з огляду на важливість вирішення проблеми захисту об'єктів ОВТ від засобів розвідки та ураження з оптико-електронною апаратурою, застосування засобів маскування для забезпечення необхідної оптичної помітності об'єктів повинно мати відповідне наукове обґрунтування і спиратися на прогноз очікуваних результатів, що обумовлює

необхідність проведення подальших досліджень, спрямованих, насамперед, на розвиток теорії і практики оцінки застосування засобів маскування і розробку практичних рекомендацій щодо захисту об'єктів ОБТ від зазначеної апаратури.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням зниження помітності об'єктів у видимому діапазоні довжин хвиль за рахунок використання пасивних засобів маскування в останній час приділяється багато уваги. В роботах [1–8] розглянуті основні напрямки створення зазначених засобів, а також методи зниження ефективності застосування систем виявлення та ураження об'єктів у видимому діапазоні довжин хвиль.

Однак оцінок ефективності застосування пасивних засобів маскування для захисту об'єктів в реальній обстановці не проведено та не розроблений математичний апарат для цих цілей.

Мета статті – розробка методики оцінки ефективності заходів маскування об'єктів від систем виявлення та ураження у видимому діапазоні довжин хвиль.

Виклад основного матеріалу

Проведемо оцінку можливостей розвідки об'єктів системами оптико-візуальної розвідки, яка встановлена на космічних апаратах, літаках-розвідниках, БпЛА та наземних засобах, що працює в діапазоні довжин хвиль 0,4–0,9 мкм.

Для оцінки можливостей оптико-електронних об'єктів будемо використовувати такий показник, як імовірність виявлення об'єкта – $P_{\text{в}}$.

Для визначення наведеного показника необхідні наступні вихідні дані:

– по апаратурі розвідки:

1) роздільна здатність системи (при контрасті міри $K=1$) r_z , лін/мм;

2) фокусна відстань об'єктива F , м;

3) спектральний діапазон зйомки $\Delta\lambda$, мкм;

– по об'єкту розвідки:

1) площа проекції об'єкта та його тіні на площину, що перпендикулярна до лінії візування апаратури оптичної розвідки S_o , S_t , м²;

2) максимальний лінійний розмір проекції об'єкта (тіні) l_{no} , l_{nt} , м;

3) лінійний розмір об'єкта (тіні) l_o , l_t , м;

4) периметр проекції об'єкта (тіні) G_o , G_t , м;

5) середньарифметичне значення радіусів найбільшої вписаної та найменшої описаної окружностей проекції об'єкта (тіні) r_o , r_t , м;

6) величина проекції лінійного розміру об'єкта (тіні) l_{no} , l_{nt} , м;

7) висота об'єкта h_o , м;

8) значення спектральних коефіцієнтів яскравості об'єкта для довжин хвиль $\lambda_{\text{в}}$ в діапазоні $\Delta\lambda$, r_{λ} ;

– по умовах ведення розвідки:

1) географічні координати об'єкта: широта φ_N та довгота δ_q ;

2) час можливої зйомки t , ч;

3) дата можливої зйомки;

4) азимут α_m та кут візування Ψ_m точки, з якої проводиться зйомка (рис. 1), град;

5) дальність зйомки D_z , км;

6) метеорологічна дальність видимості S_m , км;

7) повна оптична товщина атмосфери у вертикальному напрямку для довжини хвилі $\lambda_{\text{в}}=0,55$ мкм, τ_o ;

8) значення спектральних коефіцієнтів яскравості фону для довжин хвиль $\lambda_{\text{в}}$ в діапазоні $\Delta\lambda$, r_{2i} .

Рис. 1. Геометричні співвідношення для умов зйомки:

N – точка знаходження об'єкта; M – точка, з якої ведеться зйомка; Ψ_m – кут візування; α_m – азимут точки зйомки; h_q – висота Сонця; Z_q – зенітна відстань Сонця; α_q – азимут; γ_p – кут розсіяння

Джерело: розроблено авторами.

Необхідні для розрахунків типові вихідні дані по умовах ведення розвідки наведені в [9].

При цьому приймаються наступні припущення. Об'єкти і фони мають по всій поверхні постійну яскравість. Ознакою, по якій приймається рішення по визначенню об'єкта з площею, більшою площини елементу розділу, є перевищення різниці оптичних щільностей зображення об'єкта та фону (тіні та фону) над шумами системи виявлення при імовірності помилкової тривоги, що дорівнює 10^{-3} .

Визначаються вихідні дані по апаратурі розвідки (r_z , F , $\Delta\lambda$).

Визначаються вихідні дані про метеорологічну дальність видимості S_m та повну оптичну товщину атмосфери у вертикальному напрямку τ_o для довжини хвилі $\lambda_{\text{в}}$. На цій основі розраховуються значення задилення атмосфери. Для цього знаходиться різниця меридіанів Сонця і об'єкта:

$$\Delta\lambda_{qN} = 225^\circ - 15^\circ(t - \eta) - \lambda_N, \quad (1)$$

де η – рівняння часу (залежить від пори року).

При відсутності вихідних даних про час можливої зйомки (t) приймається $\Delta\lambda_{qN} = 0$.

Розраховується азимут Сонця відносно об'єкта α_q .

$$\alpha_q = \arccatg \left(\frac{\sin \delta_q \cos \phi_N - \cos \delta_q \sin \phi_N \cos \Delta \lambda_{qN}}{\sin \Delta \lambda_{qN} \cos \delta_q} \right) + \begin{cases} 0, \text{ при } \Delta \lambda_{qN} \leq 0; \\ 180, \text{ при } \Delta \lambda_{qN} > 0, \end{cases} \quad (2)$$

де δ_q – схилання Сонця (залежить від пори року).

При відсутності вихідних даних про дату можливої зйомки приймати $\alpha_q = 180^\circ$; $\delta_q = 23^\circ$.

Далі розраховуються висота h_q та зенітна відстань Z_q Сонця за формулами:

$$h_q = \arcsin(\sin \delta_q \sin \phi_N + \cos \delta_q \cos \phi_N \cos \Delta \lambda_{qN}). \quad (3)$$

$$Z_q = 90^\circ - h_q. \quad (4)$$

Розраховується кут розсіювання:

$$\gamma_p = \arccos(-\cos Z_q \cos \Psi_m + \sin Z_q \sin \Psi_m \times \cos(\alpha_m - (\alpha_q + 180^\circ))). \quad (5)$$

Для випадку наземної зйомки приймається $\Psi_m = 85^\circ$; для космічної та повітряної зйомки при відсутності вихідних даних про азимут α_q та кут візування точки Ψ_m , з якої можлива зйомка приймається $\Psi_m = 0$, $\gamma_p = 180^\circ - Z_q$.

Розраховується молекулярна оптична товщина атмосфери:

$$\tau_{pi} = 0,09 \left(\frac{0,55}{\lambda_{\theta i}} \right)^4. \quad (6)$$

Розраховується аерозольна оптична товщина атмосфери:

$$\tau_{ai} = \frac{(\tau_o - 0,09)0,55}{\lambda_{\theta i}}. \quad (7)$$

Розраховується спектральна оптична товщина атмосфери:

$$\tau_{\lambda i} = \tau_{pi} + \tau_{ai}. \quad (8)$$

Розраховується релеєвська індикатриса розсіювання χ_p при куті розсіювання γ_p :

$$\chi_p = 0,75(1 + \cos^2 \gamma_p). \quad (9)$$

Визначається аерозольна індикатриса розсіювання χ_a при куті розсіювання γ_p та метеорологічній дальності видимості S_m використовуючи метод інтерполяції [10].

Розраховується загальна індикатриса розсіювання:

$$\chi_i(\gamma_p) = \frac{\tau_{pi}\chi_p + \tau_{ai}\chi_a}{\tau_{\lambda i}}. \quad (10)$$

Використовуючи метод лінійної інтерполяції

[10] визначається значення параметру індикатрис χ_i , що відповідає метеорологічній дальності видимості S_m .

Розраховується прозорість атмосфери в напрямку на Сонце:

$$T_{qi} = \exp(-\tau_{\lambda i} \sec Z_q). \quad (11)$$

Розраховується прозорість атмосфери в напрямку на об'єкт зйомки:

$$T_{\lambda i} = \exp(-\tau_{\lambda i} \sec \Psi_m). \quad (12)$$

Розраховується коефіцієнт P_i :

$$P_i = 1 + \frac{3}{2} \cos Z_q + \left(1 - \frac{3}{2} \cos Z_q\right) T_{qi}. \quad (13)$$

Розраховується коефіцієнт Q_i :

$$Q_i = \frac{(1 - \alpha) P_i \cos Z_q}{8 + 2\tau_{\lambda i}(3 - x_i)(1 - \alpha)}, \quad (14)$$

де α – середнє альbedo фону [11].

Розраховується коефіцієнт C_i :

$$C_i = \frac{1}{2} \cos Z_q \left(1 + \frac{3}{2} \cos Z_q\right) - 2Q_i. \quad (15)$$

Розраховується яскравість димки за рахунок розсіювання першого порядку при сферичній індикатрисі:

$$L_{oi} = \frac{1 \sec \Psi_m (1 - T_{qi} T_{\lambda i})}{4 \sec \Psi_m + \sec Z_q}. \quad (16)$$

Розраховується яскравість димки за рахунок розсіювання вищих порядків:

$$\begin{aligned} \Delta L_{oi} = & (C_i - 3Q_i \cos \Psi_m)(1 - T_{\lambda i}) + \\ & + (3 - \chi_i) Q_i \tau_{\lambda i} T_{\lambda i} + \\ & + (\chi_i \cos \Psi_m \cos Z_q - 3 \cos^2 Z_q) L_{oi}. \end{aligned} \quad (17)$$

Розраховуються коефіцієнти задимленості атмосфери, що відповідають умовам освітлення та візування:

$$\chi_{oi} = \frac{(x_i(\gamma_p) L_{oi} + \Delta L_{oi})(1 - \alpha)}{4Q_i T_{\lambda i}}. \quad (18)$$

Розраховується коефіцієнт задимленості атмосфери, що відповідає дальності зйомки D_n :

– для повітряної розвідки

$$\chi_i = \chi_{oi} (1 - \exp(-0,13 \cdot D_n \cdot \cos \Psi_m)), \quad (19)$$

для нічних умов $\chi_i = 0,05$;

– для наземної розвідки

$$\chi_i = \frac{\chi_{oi} D_n}{92}; \quad (20)$$

– для космічної розвідки $\chi_i = \chi_{oi}$.

Розраховується різниця оптичних щільностей зображень об'єкта та фону (тіні та фону) $\Delta D_{oi,mi}$ за формулами:

– для об'ємного об'єкта, що має тінь:

$$\Delta D_{oi} = \left| \lg \frac{r_{1i} + \chi_i}{r_{2i} + \chi_i} \right| + 0,65 \left| \lg \frac{r_{1i} + \chi_i}{r_{2i} C_{mi} + \chi_i} \right|, \quad (21)$$

де r_{1i}, r_{2i} – спектральні коефіцієнти яскравості об'єкту та фону для довжини хвилі $\lambda_{\text{вi}}$ (визначається з табл. 1);

C_{mi} – коефіцієнт тіні для довжини хвилі $\lambda_{\text{вi}}$ (визначається з табл. 2);

– для об'ємного об'єкта, тінь якого прихована від засобів оптичної розвідки, або плоского об'єкта (розташованого в площині фону і що не створює тіні):

$$\Delta D_{oi} = 1,6 \left| \lg \frac{r_{1i} + \chi_i}{r_{2i} + \chi_i} \right|; \quad (22)$$

– для тіні об'єкта

$$\Delta D_{mi} = 1,6 \left| \lg \frac{r_{2i} + \chi_i}{r_{2i} C_{mi} + \chi_i} \right|. \quad (23)$$

Таблиця 1

Спектральні коефіцієнти яскравості r_{1i}, r_{2i} матеріалів та підстилаючих поверхонь (фонів)

Матеріали та підстилаючі поверхні (фони)	Коефіцієнти яскравості для довжини хвилі $\lambda_{\text{вi}}$, мкм		
	мкм		
	0,5	0,7	0,9
Конструкційні матеріали			
Алюміній	0,88	0,87	0,85
Сталь оцинкована	0,08	0,08	0,07
Залізо	0,07	0,08	0,07
Пластик	0,23	0,36	0,34
Резина	0,16	0,12	0,13
Мідь	0,44	0,83	0,89
Нікель	0,61	0,69	0,74
Шифер	0,13	0,17	0,19
Дошки	0,38	0,7	0,74
Асфальт	0,18	0,18	0,17
Цегла червона	0,12	0,38	0,38
Толь	0,1	0,17	0,23
Фанера	0,6	0,72	0,97
Маскувальні матеріали та комплекти			
Емаль зелена	0,07	0,1	0,37
Емаль сіра	0,08	0,14	0,12
Тканина плащ-палаточна	0,1	0,16	0,27
МКТ-Т зелений	0,05	0,1	0,35
МКС-2М	0,06	0,14	0,27
Фарба масляна зелена	0,13	0,09	0,1
Фарба масл. сіро-зелена	0,13	0,18	0,2
Фарба масл. блакитна	0,22	0,04	0,05
Брезент	0,05	0,1	0,1
Тканина біла	0,84	0,9	0,91
Нітрофарба біла	0,62	0,66	0,66
Нітрофарба алюмінієва	0,45	0,39	0,43
МКТ-С	0,58	0,56	0,57
МКТ-Л	0,07	0,17	0,5
МКТ-П	0,17	0,41	0,41
ТН-70	0,05	0,12	0,32

Закінчення табл. 1

Підстилаючі поверхні (фони)			
Сніг	0,9	0,78	0,78
Грунт (чорнозем)	0,03	0,04	0,05
Ліс (листяний літом)	0,05	0,12	0,48
Дорога асфальтована	0,06	0,09	0,1
Бетон	0,3	0,4	0,4
Степ літом	0,1	0,15	0,24
Степ восени	0,09	0,13	0,22
Степ взимку	0,12	0,2	0,3
Пісок	0,19	0,35	0,41
Глина	0,61	0,78	0,75
Луг зелений	0,05	0,19	0,5
Луг сухий	0,06	0,2	0,5
Солома	0,11	0,3	0,38
Дорога ґрунтова	0,08	0,15	0,22
Ріка	0,09	0,03	0,02
Море	0,07	0,02	0,02

Джерело: розроблено авторами.

Таблиця 2

Коефіцієнти тіні C_{mi}

Зенітна відстань Сонця Z_q , град	Значення коефіцієнта C_{mi} , для довжини хвилі $\lambda_{\text{вi}}$, мкм					
	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
20	0,25	0,14	0,1	0,08	0,07	0,07
40	0,35	0,22	0,15	0,12	0,1	0,09
60	0,56	0,33	0,25	0,2	0,15	0,14
80	1	0,5	0,42	0,4	0,33	0,28

Джерело: розроблено авторами.

Якщо усі значення $\Delta D_{oi,mi} \leq 0,02$, то подальші розрахунки не проводяться, у зв'язку з тим, що зображення об'єкту (тіні об'єкту) не розпізнається. В іншому випадку для подальших розрахунків приймається значення $\Delta D_{o,m}$, яке розраховується за формулою:

$$\Delta D_{o,m} = \Delta D_{oi \max, mi \max} \left(1 - \left(\frac{0,02}{\Delta D_{oi \max, mi \max}} \right)^2 \right), \quad (24)$$

де $\Delta D_{oi \max, mi \max}$ – максимальне з отриманих значень $\Delta D_{oi}, \Delta D_{mi}$.

Розраховується реальна роздільна здатність системи оптичної розвідки $r_{po,m}$ для різниці оптичних щільностей зображення об'єкту та фону (тіні та фону) $\Delta D_{o,m}$:

$$r_{po,m} = r_c \left(1 - 10^{-\Delta D_{o,m}} \right). \quad (25)$$

Розраховується лінійний розподіл на місцевості апаратури оптичної розвідки для об'єкту ΔI_o та тіні об'єкту ΔI_m :

$$\Delta I_{o,m} = \frac{D_H}{2r_{po,m}F}. \quad (26)$$

Розраховується число елементів розподілу для

об'єкту n_o та по тині об'єкту n_m , що припадає на еквівалентний габаритний розмір площини проекції об'єкта $\sqrt{S_o}$ та його тині $\sqrt{S_m}$:

$$n_{o,m} = \sqrt{\frac{S_{o,m}}{\Delta I_{o,m}}} \quad (27)$$

Якщо коефіцієнт $n_{o,m} \geq 1$, то імовірність виявлення об'єкта $R_{o,m}$ знаходиться за допомогою виразів просторової частоти для об'єкту й тині об'єкту:

$$v_{o,m} = \frac{D_n}{2F\sqrt{S_{o,m}}}, \quad (28)$$

та величини q , що характеризує відношення сигналу до шуму для зображення об'єкту і тині об'єкту:

$$q = \frac{A_o \Delta D_{o,m} F \sqrt{S_{o,m}} f(v_{o,m})}{D_n} - 3,2, \quad (29)$$

де $A_o = 3 \cdot 10^3 \text{ м}^{-1}$ – коефіцієнт, що характеризує шумові властивості апаратури розвідки;

$f(v_{o,m})$ значення просторово-частотної характеристики каналу отримання зображення апаратурою розвідки (визначається з табл. 3) та згідно графіку рис. 2 [12].

Таблиця 3

Просторово-частотна характеристика $f(v)$ каналу отримання зображення фотографічною апаратурою

v , ЛІН/ММ	1	10	40	60	80	100	160	200
$f(v)$	1	0,92	0,71	0,56	0,45	0,35	0,12	0,03

Рис. 2. Залежність імовірності виявлення $P_{в.о}, P_{в.т}, P_{з.о}$ від співвідношення сигнал/шум q
Джерело: розроблено авторами за даними [12].

Якщо $n_{o,m} < 1$, тоді розраховується коефіцієнт форми для об'єкту і тині об'єкта:

$$B_{o,m} = \frac{G_{o,m} r_{o,m}}{S_{o,m}} \quad (30)$$

Визначається імовірність виявлення об'єкту $R_{в.о}$ без урахування тині та імовірність виявлення тині $R_{в.т}$:

$$R_{в.о, в.т} = \exp\left(\frac{-0,16 B_{o,m} \Delta I_{o,m}^2}{I_{o,m}^2}\right) \quad (31)$$

Імовірність виявлення об'єкту розраховується по формулі:

$$R_{в} = R_{в.о} + R_{в.т} - R_{в.о} R_{в.т} \quad (32)$$

Для оцінки ефективності заходів маскування у видимому діапазоні довжин хвиль при коефіцієнті $n_{o,m} \geq 1$ розраховується відношення сигналу до шуму для зображення замаскованого об'єкту і його тині:

$$q_z = \frac{A_o \Delta D_{z,m} F \sqrt{S_{z,m}} f(v_{o,m})}{D_n} - 3,2, \quad (33)$$

де $\Delta D_{z,m}$ – різниця оптичних щільностей зображень замаскованого об'єкта та фону (тині та фону);

$S_{z,m}$ – еквівалентний габаритний розмір площини проекції замаскованого об'єкта та його тині, та визначається згідно графіку (рис. 2). Якщо $n_{o,m} < 1$, тоді розраховується коефіцієнт форми для замаскованого об'єкту і його тині:

$$B_{z,m} = \frac{G_{z,m} r_{z,m}}{S_{z,m}}, \quad (34)$$

де $G_{z,m}$ – периметр проекції замаскованого об'єкта та його тині;

$r_{z,m}$ – середньоарифметичне значення радіусів найбільшої вписаної та найменшої описаної окружностей проекції замаскованого об'єкта та його тині.

Визначається імовірність виявлення замаскованого об'єкту $R_{з.о}$ без урахування тині та імовірність виявлення тині $R_{з.т}$:

$$R_{в.з, в.т} = \exp\left(\frac{-0,16 B_{z,m} \Delta I_{z,m}^2}{I_{z,m}^2}\right), \quad (35)$$

де $\Delta I_{z,m}$ – лінійний розподіл на місцевості апаратури оптичної розвідки для об'єкту та його тині.

Імовірність виявлення замаскованого об'єкту розраховується за формулою:

$$R_z = R_{з.о} + R_{з.т} - R_{з.о} R_{з.т} \quad (36)$$

Визначаються значення імовірності виявлення об'єктів апаратурою оптичної розвідки без маскування $R_{в}$ та з маскуванням R_z .

Ефективність заходів маскування у видимому діапазоні довжин хвиль оцінюється за формулою:

$$E_{ов} = (R_{в} - R_z) \cdot 100\% \quad (37)$$

Висновки

Таким чином розроблено методику оцінки ефективності заходів масування об'єктів від систем виявлення та ураження у видимому діапазоні довжин хвиль.

Крім того в ході досліджень отримані аналітичні вирази для розрахунку відношення сигналу до шуму зображень вихідного й замаскованого об'єктів і їх тіней та ймовірностей виявлення вихідного й замаскованого об'єкту.

Отримані результати можуть забезпечити розрахункову оцінку можливостей оптико-візуальної розвідки конкретних об'єктів захисту в заданих умовах, необхідну для виявлення особливо небезпечних засобів виявлення та ураження противника, визначення демаскуючих ознак, вибору та розробки способів та засобів протидії й оцінки їх ефективності.

Список літератури

1. Сидоренко Р.Г. Пасивні засоби радіоелектронного захисту об'єктів від впливу сучасних та перспективних засобів ураження / Р.Г. Сидоренко, Г.В. Акулінін, О.О. Скопінцев // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2017. – № 1(26). – С. 156-159. <https://doi.org/10.30748/nitps.2017.26.31>.
2. Шляхи удосконалення радіоелектронного захисту об'єктів від впливу сучасних та перспективних засобів виявлення та ураження / Р.Г. Сидоренко, Г.В. Мегельбей, Г.В. Рибалка, А.І. Резніченко, О.О. Скопінцев // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2019. – № 3(61). – С. 103-111. <https://doi.org/10.30748/zhups.2019.61.13>.
3. Умение быть невидимым. Конструкция “Контраст КМС” – квинтэссенция маскировочного искусства // Defense Express. – 2004. – № 12(37). – С. 189-193.
4. Савенков А. Разработка высокоточных всепогодных систем наведения малоразмерных средств поражения объектов ВВТ / А. Савенков // Оборонная техника. – 1990. – № 9. – С. 18-19.
5. Королев А.Ю. Маскировка вооружения, техники и объектов / А.Ю. Королев, А.А. Королева, А.Д. Яковлев. – СПб.: УИМТО, 2015. – 154 с.
6. Гурский Б. Системы наведения ракет класса “земля-земля” – основа дальнего огневого поражения наземных целей / Б. Гурский, А. Свободин // Высокоточное оружие. – 2003. – № 1. – С. 24-26.
7. Бетяев Ю. Радиопоглощающие материалы и технология “Стелс” / Ю. Бетяев // Зарубежное военное обозрение. – 1988. – № 6. – С. 45-46.
8. Слипенченко В.И. Анализ военной кампании НАТО против Югославии весной 1999 г. / В.И. Слипенченко // Экспорт вооружений. – 2000. – № 3. – С. 4-12.
9. Лазарев Б.А. Фотографические средства воздушной разведки / Б.А. Лазарев, А.П. Сизов. – Ч. 1. – Рига, 1989. – 257 с.
10. Бахвалов Н.С. Численные методы / Н.С. Бахвалов – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2007. – 636 с.
11. Аллен К.У. Астрофизические величины / К.У. Аллен. – М.: Мир, 1977. – 134 с.
12. Беркович Р. Современная радиолокация Анализ, расчет и проектирование систем / Р. Беркович; пер. с англ.; под ред. Ю.Б. Кобзарева. – М.: Книга по требованию, 1968. – 700 с.

Надійшла до редколегії 30.06.2020

Схвалена до друку 18.08.2020

Відомості про авторів:

Сидоренко Руслан Григорович

кандидат технічних наук старший науковий співробітник
провідний науковий співробітник
Харківського національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-3097-6747>

Акулінін Гліб Васильович

кандидат технічних наук доцент
доцент Харківського національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-7313-9164>

Information about the authors:

Ruslan Sydorenko

Candidate of Technical Sciences Senior Research
Lead Research
of Ivan Kozhedub Kharkiv
National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-3097-6747>

Hlib Akulinin

Candidate of Technical Sciences Associate Professor
Senior Lecturer of Ivan Kozhedub Kharkiv
National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-7313-9164>

Безверхий Сергій Анатолійович
молодший науковий співробітник
Харківського національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-2767-3753>

Serhii Bezverkhyy
Junior Research Associate
of Ivan Kozhedub Kharkiv
National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-2767-3753>

Сафарова Гюльнара Маїсівна
науковий співробітник
Харківського національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-2273-4454>

Hulnara Safarova
Research Associate
of Ivan Kozhedub Kharkiv
National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-2273-4454>

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ МАСКИРОВКИ В ВИДИМОМ ДИАПАЗОНЕ ДЛИН ВОЛН

Р.Г. Сидоренко, Г.В. Акулинин, С.А. Безверхий, Г.М. Сафарова

Проведена оцінка можливостей апаратури оптико-візуальної розвідки, установленної на космічних, летальних апаратах і наземних засобах по виявленню об'єктів. Приведені необхідні для розрахунків вихідні дані по об'єктам і умовам ведення розвідки. Отримані аналітичні вирази для розрахунку відношення сигналу до шуму зображень вихідного і замаскированого об'єктів і їх тіней, ймовірностей виявлення вихідного і замаскированого об'єкта. Розроблено математичний апарат для оцінки ефективності заходів маскування в видимому діапазоні довжин волн. Отримані результати можуть використовуватися при розробці нових засобів маскування і оцінці існуючих і перспективних засобів розвідки в видимому діапазоні довжин волн.

Ключевые слова: средства оптико-визуальной разведки, мероприятия маскировки, оценка эффективности, вероятность обнаружения объекта.

METHODS OF EVALUATION OF EFFICIENCY OF MASKING MEASURES IN THE VISIBLE WAVELENGTH RANGE

R. Sydorenko, H. Akulinin, S. Bezverkhyy, H. Safarova

At present, optical and optoelectronic reconnaissance means are widely used in the armed forces of the leading countries of the world to detect and recognize land, air and sea objects, as well as to deliver strikes at night and in adverse weather conditions. The basis of such means is the airborne reconnaissance and strike optical and optoelectronic systems, which include: optical devices for direct observation; aviation cameras, including optoelectronic; forward looking television stations; television cameras; optical-electronic navigation and sighting systems. This equipment allows conducting aerial visual optical, photographic and optical-electronic (television) reconnaissance in the daytime and at night. Recently, much attention has been paid to the issues of reducing the visibility of objects in the visible wavelength range due to the use of passive cloaking means. Various directions of creation of these means, as well as methods of reducing the effectiveness of the use of systems for detecting and destroying objects in the visible range of wavelengths, are considered. However, little attention has been paid to assessing the effectiveness of the use of passive camouflage means to protect objects in a real situation, and no mathematical apparatus has been developed for these purposes. Therefore, there is a need to increase attention to the development and use of the latest camouflage means, as well as to assess their ability to reduce the visibility of important military objects, weapons and military equipment. This requires further research, aimed primarily at developing the theory and practice of assessing the use of camouflage means and developing practical recommendations for protecting objects. The article evaluates the capabilities of optical-visual reconnaissance equipment installed on space, aviation and ground vehicles for object recognition. The initial data on objects and conditions of exploration required for calculations are given. Analytical expressions are obtained for calculating the signal-to-noise ratio of images of the original and masked objects and their shadows, the probabilities of detecting the original and masked objects. A mathematical apparatus has been developed for evaluating the effectiveness of masking measures in the visible wavelength range. The results obtained can be used in the development of new concealment means, as well as in the assessment of existing and prospective reconnaissance means in the visible wavelength range.

Keywords: optical and visual reconnaissance means, camouflage measures, efficiency assessment, probability of object detection.