

УДК. 629.7.017.1

МІЦІТІС А.К., старший науковий співробітник
ХАТУНЦЕВА З.В., науковий співробітник

МОДЕЛЬ ВІЗУАЛЬНОГО ВИЯВЛЕННЯ НАЗЕМНОГО (НАДВОДНОГО) ОБ'ЄКТА З ПАТРУЛЬНОГО ЛІТАКА

Розглядається модель візуального виявлення наземного (надводного) об'єкта при симетричному секторі огляду місцевості, побудована на основі фізіологічної властивості «жовтої плями» сітківки ока. Розрахункові параметри моделі можуть слугувати в якості часткових критеріїв бойової ефективності застосування патрульного літака

У військовій практиці постійно доводиться вирішувати різні пошукові задачі. При цьому часто виникає необхідність у візуальному спостереженні і виявленні об'єктів неозброєним оком.

Незважаючи на те, що в останні роки все більший розвиток отримують різні технічні засоби пошуку, візуальний пошук не втрачає свого значення, так як візуальні методи володіють перевагами порівняно з технічними. Наприклад, такою, як оперативність при прийнятті рішення в разі виявлення об'єкта. Тому питання візуального пошуку і виявлення об'єкта продовжують притягувати увагу великого кола фахівців.

З другого боку око – це оптична система, яка володіє великою чутливістю, особливо до перепадів освітлювання (контрастності). Однією з головних характеристик ока, як і оптичного приладу, є його розрізнявальна здатність (величина, обернена до мінімального кута між напрямленням на дві точки, при якому виходять їх розділені зображення).

В статті зроблена спроба застосувати графоаналітичний метод оцінки ефективності оптико-електронних засобів повітряної розвідки [1] до оцінки ефективності візуальної розвідки наземних (надводних) об'єктів.

Можливості візуального спостереження визначаються дальністю виявлення об'єктів, фізіологічними особливостями зору спостерігача, кутовою швидкістю переміщення об'єкта в полі зору, відведеним часом спостереження за об'єктом, характером місцевості і ступенем маскуванню об'єктів на ній. Візуальний пошук часто підрозділяють на два види: 1. вільний, при якому вибір методу, способу огляду простору визначає саме спостерігач; 2. організований, при якому огляд певної зони простору проводиться в певній, суворо заданій послідовності. В статті розглядається симетричний сектор огляду місцевості на гранично малих висотах, в якому використовується другий вид пошуку, і передбачується дальність виявлення об'єкта більше величини закриття місцевості фюзеляжем літака по поздовжній осі.

Процес пошуку об'єкта включає його виявлення і розпізнавання за рядом ознак (формі, кольору тощо) і знаходиться в певній залежності від дальності його видимості. В разі, коли спостереження при пошуку об'єкта ведеться в напрямку його появи в границях ефективно розглядуваної смуги, виявлення відбувається на дальності видимості. В іншому разі дальність виявлення об'єкта менша за дальності його видимості.

Максимальна дальність видимості розраховується за формулою

$$D_B = d / \gamma,$$

де d – потрібна детальність (лінійний розмір) об'єкта розвідки; γ – миттєвий кут зору елементарного каналу (порогова чутливість людського ока: $\gamma = 297 \cdot 10^{-6}$ рад при відмінному зору і $\gamma = 581 \cdot 10^{-6}$ рад при середньому зору).

Дальність виявлення, з урахуванням викладеного вище, розраховується за формулою

$$D_{обн} = \kappa D_B,$$

де κ – коефіцієнт виявлення об'єкта коливається в границях $0,8..1$. Якщо спостереження ведеться в напрямку появи об'єкта, то $\kappa = 1$.

Максимальний кут візування об'єкта (рис.1)

$$\varphi_M = \arccos (h / D_{обн}),$$

де h – передбачувана висота розвідки.

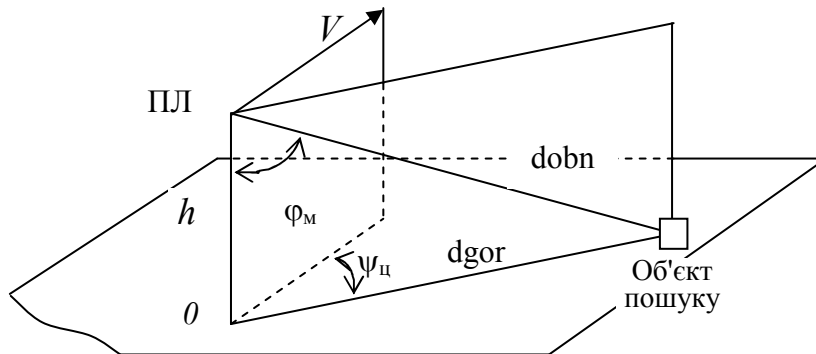


Рис. 1.

Ширина смуги розвідки при симетричному секторі огляду залежить від кута поля зору людського ока. Кутові розміри поля зору в горизонтальній і вертикальній площині дорівнюють 160° і 130° .

Проте найбільш ефективно в горизонтальній площині оглядається смуга з кутковими розмірами поля зору $2\psi = 20..50^\circ$. Отже, ширина ефективною смуги огляду складає

$$d_{ef} = 2D_{обн} \operatorname{tg} \psi,$$

де ψ – половина кута сектора огляду місцевості.

Застосування графоаналітичного методу оцінки ефективності оптико-електронних засобів повітряної розвідки до оцінки ефективності візуальної розвідки передбачає розрахунок розмірів умовного кадру візуального спостереження і тривалості циклу цих кадрів. Розмір кадру перпендикулярно вектору швидкості польоту дорівнює ширині ефективною смуги огляду d_{ef} .

Розмір кадру в напрямку польоту літака і тривалість циклу огляду кадру розраховуються на основі фізіологічної властивості так званої "жовтої плями" сітківки ока: найбільша кількість деталей об'єкта око розпізнає, якщо зображення попадає на "жовту пляму" сітківки ока. Кут поля зору "жовтої плями" складає $6..7^\circ$, час фіксації погляду на об'єкті коливається в інтервалі $0,1..2$ с. "Жовта пляма" сітківки ока проєцирується на поверхню землі у вигляді витягнутого неправильного еліпса (рис.2). Розміри осей еліпса залежать від кута візування об'єкта розвідки φ_M , висоти польоту літака h і кута поля зору "жовтої плями" α .

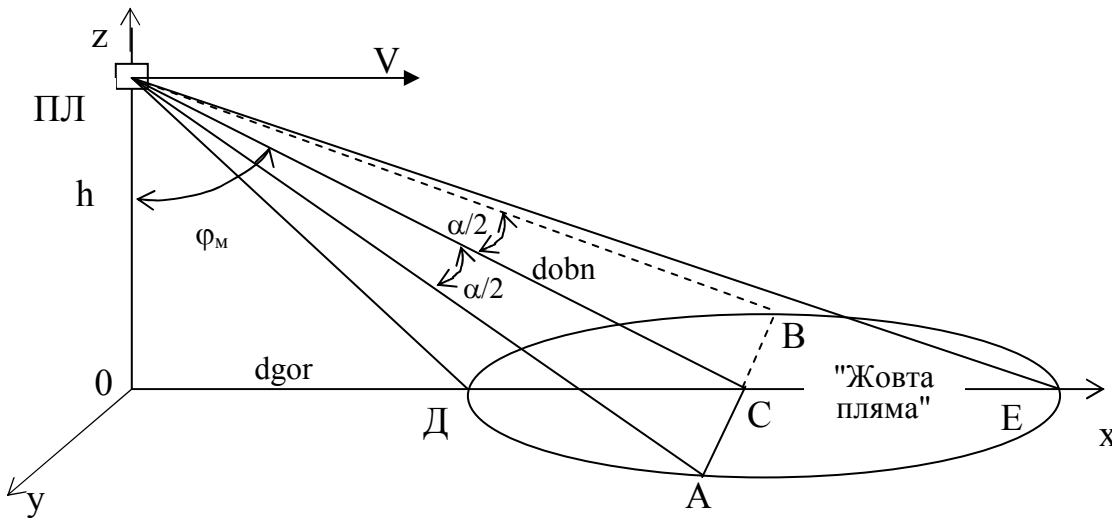


Рис. 2.

Розмір осі еліпса AB , перпендикулярної напрямку польоту, дорівнює

$$AB = \frac{2h \operatorname{tg}(\alpha / 2)}{\cos \varphi_M} .$$

Розмір малої півосі еліпса CD і великої півосі CE , направлених вздовж вектора швидкості літака, розраховується за формулами

$$CD = h (\operatorname{tg}(\varphi_M) - \operatorname{tg}(\varphi_M - \alpha/2)) ,$$

$$CE = h (\operatorname{tg}(\varphi_M + \alpha/2) - \operatorname{tg}(\varphi_M)) ,$$

а загальна довжина осі еліпса, тобто розмір кадру в напрямку польоту складе

$$DE = \frac{h \sin(\alpha)}{\cos(\varphi_M + \frac{\alpha}{2}) \cos(\varphi_M - \frac{\alpha}{2})} .$$

Знаючи ширину ефективної смуги огляду і розмір проєкції осі "жовтої плями" в напрямку, перпендикулярному вектору швидкості польоту літака, можна розрахувати кількість "жовтих плям" n в смугі огляду (рис. 3) і тривалість циклу огляду кадру $T_{Ц}$:

$$n = d_{ef} / AB ,$$

$$T_{Ц} = n t_{\varphi} ,$$

де t_{φ} – час фіксації погляду на об'єкті, дорівнює $0,1..2$ с.

Розрахуємо коефіцієнт поздовжнього перекриття $K_{П}$ між кадрами (розглядуваними ділянками місцевості)

$$K_{\Pi} = 1 - \frac{V T_{Ц}}{DE},$$

де V – шляхова швидкість літака, і визначимо максимально допустиму, з точки зору повноти огляду місцевості, швидкість літака. При $K_{\Pi} > 0$ кадри перекривають один одного, тобто здійснюється повторний огляд деякої ділянки місцевості. При $K_{\Pi} < 0$ між кадрами утворюються розриви : не всі об'єкти потрапляють в поле зору спостерігача. Якщо

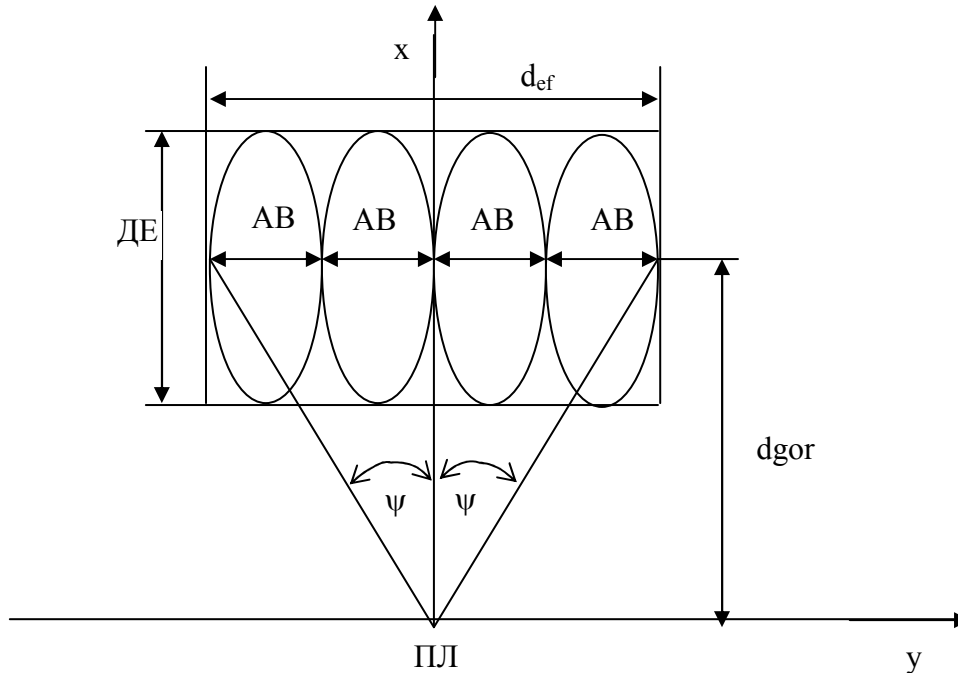


Рис. 3.

$K_{\Pi} = 0$ літак може переміщатися з максимально допустимою швидкістю, при якій всі об'єкти з ефективної смуги огляду потрапляють в поле зору спостерігача без повторного огляду деяких ділянок місцевості. Тоді максимально допустима швидкість польоту літака розраховується за формулою

$$V_{MAX} = \frac{(1 - K_{\Pi})DE}{T_{Ц}}.$$

При заданій площі розвідки S довжина смуги розвідки на місцевості L_P і час, потрібний для проведення розвідки на цій площі T_P , будуть дорівнювати

$$L_P = \frac{S}{d_{ef}} ; \quad T_P = \frac{L_P}{V}.$$

В процесі польоту об'єкт спостерігається під змінним кутом візування. Кутова швидкість переміщення об'єкта в полі зору спостерігача залежить від швидкості літака, висоти польоту, кута візування і дорівнює

$$\omega = \frac{V \cos^2(\varphi_M)}{h}.$$

Малорозмірні об'єкти можуть бути розпізнані в ефективній смугі огляду, якщо вони пересуваються в полі зору з кутовою швидкістю не більше 0,5 рад/с, великорозмірні і контрастні об'єкти – до 1,5 рад/с. При великій кутовій швидкості розпізнання об'єктів неможливо, так як втрачається гострота зору і об'єкт зливається

з фоном місцевості. Розрахунки за формулою і практичні польоти показали, що найкращі умови для спостереження на всіх кутах візування створюються у разі, коли відношення швидкості до висоти $\frac{V}{h} \leq 1,5$.

Для розпізнання об'єкта в середньому потрібно 5...8 с. Наявний (відведений) час для спостереження за об'єктом T_H після його виявлення може мати суттєві розбіжності в часі із-за відходу об'єкта під фюзеляж. Якщо відведений час спостереження об'єкта менше потрібного часу на його розпізнання, то він не буде розпізнаний. Відведений час спостереження за об'єктом в напрямку польоту літака складе

$$T_H = h (\operatorname{tg} \varphi_n - \operatorname{tg} \varphi_k) / V,$$

де φ_n, φ_k – початковий (максимальний) і кінцевий кути візування об'єкта.

Такі розрахункові параметри моделі, як : максимальна дальність видимості D_B ; дальність виявлення об'єкта $D_{обн}$; максимальний кут візування об'єкта φ_m ; ширина ефективної смуги огляду d_{ef} ; тривалість циклу огляду кадру $T_{Ц}$; максимально допустима швидкість польоту літака V_{MAX} ; довжина смуги розвідки на місцевості L_P при заданій площі розвідки S ; час, потрібний для проведення розвідки на цій площі T_P ; відведений час спостереження за об'єктом T_H можуть бути використані в якості часткових критеріїв бойової ефективності застосування патрульного літака або опосередковано входити до узагальненого критерію його бойової ефективності.

Як приклад, наведемо розрахований за вказаною методикою час T_P , потрібний для проведення розвідки, на площі $S = 360 \text{ км}^2$ при детальності об'єкта на місцевості $d = 1 \text{ м}$, половині кута поля зору $\psi = 15^\circ$, коефіцієнті виявлення об'єкта $\kappa = 0.9$ для різної порогової чутливості людського ока $\gamma = 297 \cdot 10^{-6} \text{ рад}$ при відмінному зору і $\gamma = 581 \cdot 10^{-6} \text{ рад}$ при середньому зору. Всі вихідні дані цього прикладу є умовними.

Розрахунки показують, що при $\gamma = 297 \cdot 10^{-6} \text{ рад}$ потрібний час розвідки складає $T_P = 24,48 \text{ хв.}$, при $\gamma = 581 \cdot 10^{-6} \text{ рад}$ – $T_P = 49,88 \text{ хв.}$

ЛІТЕРАТУРА

1. Ребрин Ю.К., Станкевич С.А., Мосов С.П. Методы количественной оценки эффективности средств аэрокосмической разведки / Под ред. Ю.К. Ребрин – Киев: КИВВС, 1997. – 262 с.

Надійшла до редакції 29.10.2010