

УДК 621.384

**КРАВЧУК І.С.**, провідний науковий співробітник, кандидат технічних наук, доцент  
**ТАРАНЕНКО В.В.**, начальник науково-дослідного відділу, кандидат технічних наук  
**ХИЖНЯК А.С.**, помічник провідного інженера-випробувача Державного науково-випробувального центру Збройних Сил України

## **МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ДАЛЬНОСТІ ДІЇ ЛАЗЕРНОЇ СИСТЕМИ ФОРМУВАННЯ ПРИЦІЛЬНОЇ МАРКИ**

*В статті приведена методика розрахунку дальності дії лазерної системи формування прицільної марки з урахуванням технічних параметрів пілотажних окулярів нічного бачення, потужності лазерного випромінювача та характеристик природної освітленості земної поверхні вночі.*

*Ключові слова:* інфрачервона техніка, літальний апарат, лазерний випромінювач, формування прицільної марки, окуляри нічного бачення.

Однією з найбільш важливих умов у забезпеченні цілодобового застосування сучасних бойових вертольотів є оснащення його екіпажу окулярами нічного бачення (ОНБ). Але при цьому різко знижуються можливості вертольота з ураження наземних об'єктів внаслідок складності виконання льотчиком прицілювання за допомогою штатних коліматорних прицільних пристроїв.

Для виконання прицілювання льотчиком, що виконує пілотування вертольота з використанням ОНБ, розроблена лазерна система формування прицільної марки (ЛСФПМ), що забезпечує можливість оперативного бойового застосування некерованих засобів ураження та виконання стрільби з нерухомих артилерійських установок вночі при прямому спостереженні наземної цілі за допомогою ОНБ [1]. У цьому випадку лазерний промінь, діапазон інфрачервоного випромінювання котрого узгоджений з діапазоном чутливості ОНБ, формує на земній поверхні лазерну пляму – прицільну марку (ПМ). Сумістивши ПМ з наземною ціллю льотчик може вести вогонь по цій цілі.

Одним із завдань, що вирішуються при створенні таких систем, є розрахунок їх максимальної дальності дії. Розглянемо схему формування ПМ, яка зображена на рис.1.

Льотчик за допомогою ОНБ, кут огляду яких  $w_{онб}$ , спостерігає земну поверхню. Лазерний випромінювач (ЛВ) формує промінь з кутом  $w_{лм}$ , причому  $w_{онб} \gg w_{лм}$ . ОНБ та ЛВ знаходяться на одному і тому ж літальному апараті, тому вважаємо, що відстань  $D$  від ОНБ та ЛВ до ПМ однакова. Зважаючи на те, що кут  $w_{лм}$  складає 0,5...1 мрад [1], можна припустити, що ПМ спостерігається як точковий випромінювач. Тоді сила випромінювання  $I_{лм}$  ПМ запишеться за допомогою формули

$$I_{лм} = \frac{Pr}{p} t_a \cos a, \quad (1)$$

де  $P$  - потужність ЛВ;  $\rho$  - коефіцієнт відбиття лазерного випромінювання елементами земної поверхні;  $t_a$  - коефіцієнт пропускання лазерного випромінювання атмосферою;  $\alpha$  - кут між віссю лазерного променя та нормаллю до освітлюваної поверхні.

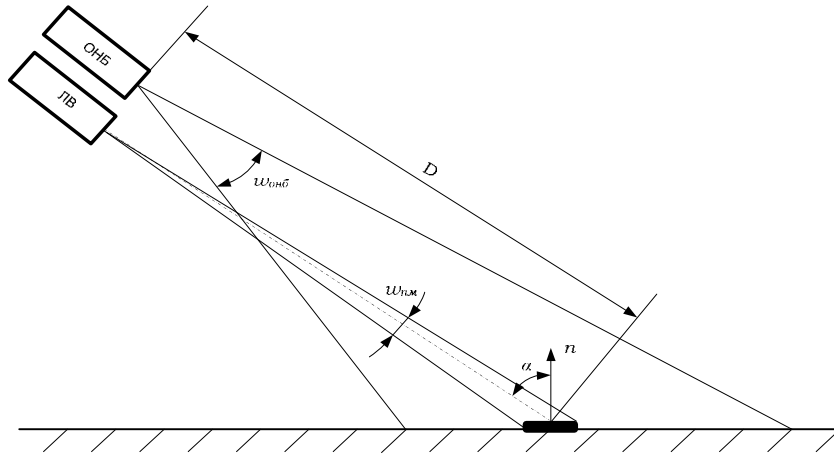


Рис.1. Схема формування прицільної марки

Вираз для потоку  $\Phi_{\text{фк}}$  випромінювання ПМ, який надходить до фотокатоду електронно-оптичного перетворювача (ЕОП), що входить до складу ОНБ, запишемо

$$\Phi_{\text{фк}} = \frac{I_{\text{нм}} p d_{\text{вх}}^2}{D^2 4} t_a t_{\text{об}} \cos a, \quad (2)$$

де  $d_{\text{вх}}$  - діаметр входної зіниці об'єктиву;  $t_{\text{об}}$  - коефіцієнт пропускання випромінювання об'єктивом ОНБ.

З урахуванням (1), формула (2) переписеться у вигляді

$$\Phi_{\text{фк}} = \frac{Pr}{4D^2} d_{\text{вх}}^2 t_a^2 t_{\text{об}} \cos^2 a, \quad (3)$$

а освітленість  $E_{\text{фк}}$  фотокатоду, створеної сфокусованим об'єктивом ОНБ енергії ПМ, має вигляд

$$E_{\text{фк}} = \frac{\Phi_{\text{фк}}}{S_{\text{нм}}}, \quad (4)$$

де  $S_{\text{нм}}$  - площа зображення ПМ на фотокатоді ЕОП.

Тоді яскравість  $L_{\text{нм}}$  зображення ПМ на екрані ЕОП

$$L_{\text{нм}} = \frac{E_{\text{фк}} S_i h}{S_s V^2 p}, \quad (5)$$

де  $S_i$  - спектральна чутливість фотокатоду ЕОП;  $\eta$  - коефіцієнт перетворення ЕОП;  $S_s$  - інтегральна чутливість ЕОП;  $V$  - електронно-оптичне збільшення ЕОП.

З урахуванням (3) і (4) вираз (5) переписемо

$$L_{\text{нм}} = \frac{Pr S_i h d_{\text{вх}}^2}{S_{\text{нм}} 4p D^2 S_s V^2} t_a^2 t_{\text{об}} \cos^2 a. \quad (6)$$

Крім зображення ПМ, на екрані ЕОП відображається також фон, яскравість  $L_{\text{ф}}$  котрого

$$L_{\phi} = L_{\phi e} + L_m, \quad (7)$$

де  $L_{\phi e}$  - яскравість екрану, що створена природним освітленням фону, який знаходиться у полі зору ОНБ;  $L_m$  - темновий фон ЕОП.

Величина  $L_{\phi e}$  дорівнює

$$L_{\phi e} = \frac{E_{\lambda} \Delta l d_{ex}^2 S_i h r}{4 f^2 S_s V^2} t_a t_{ob} \cos a, \quad (8)$$

де  $E_{\lambda}$  - спектральна освітленість земної поверхні;  $\Delta \lambda$  - спектральний діапазон чутливості фотокатоду ЕОП.

Зважаючи, що відносний отвір  $\Theta$  об'єктиву ОНБ

$$\Theta = \frac{d_{ex}}{f},$$

перепишемо (7) з урахуванням (8) у такому вигляді

$$L_{\phi} = \frac{E_{\lambda} \Delta l \Theta^2 S_i h r}{4 S_s V^2} t_a t_{ob} \cos a + L_m. \quad (9)$$

Надійне виявлення ПМ можливе, якщо яскравість  $L_{nm}$  перевищуватиме яскравість  $L_{\phi}$  у  $k_{nop}$  разів, тобто

$$L_{nm} = k_{nop} L_{\phi}. \quad (10)$$

Підставивши (6) і (9) у вираз (10) і виразивши з отриманого  $D$ , маємо

$$D = \left[ \frac{P r d_{ex}^2 t_a^2 t_{ob}^2 \cos^2 a}{k_{nop} S_{nm} p \left( E_{\lambda} \Delta l r \Theta^2 t_a t_{ob} \cos a + \frac{4 L_m S_s V^2}{S_i h} \right)} \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (11)$$

Величина  $D$ , обчислена за формулою (11), і є максимальна дальність дії ЛСФПМ.

Для ОНБ з ЕОП третього покоління виконується умова

$$E_{\lambda} \Delta l r \Theta^2 t_a t_{ob} \cos a \gg \frac{4 L_m S_s V^2}{S_i h},$$

тому вираз (11) можна переписати

$$D = \left[ \frac{P d_{ex}^2 \cos a t_a}{k_{nop} S_{nm} p E_{\lambda} \Delta l \Theta^2} \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (12)$$

Як відомо, для урахування послаблення лазерного випромінювання в атмосфері застосовують закон Бугера [2], згідно з яким параметр  $\tau_a$  записують у вигляді

$$t_a = e^{-\beta D},$$

де  $\beta$  - показник послаблення випромінювання атмосферою.

Тоді вираз (12) у кінцевому вигляді переписється так

$$D = \left[ \frac{P d_{ex}^2 \cos a}{k_{nop} S_{nm} p E_{\lambda} \Delta l \Theta^2} \right]^{\frac{1}{2}} \times e^{-\frac{\beta}{2} D}. \quad (13)$$

Рівняння (13) є трансцендентним. Найчастіше для розв'язання такого рівняння застосовують метод ітерацій.

Для оціночних розрахунків максимальної дальності дії ЛСФПМ за допомогою формули (13) можна прийняти такі типові вихідні дані[3]:

параметри ОНБ:  $d_{ex} = 0,02 м$ ,  $S_{nm} = 0,15 \cdot 10^{-8} м^2$ ,  $\Theta = 0,9$ ;

для місячної ясної ночі:  $E_1 \Delta I = 1,2 \cdot 10^{-3} вт / м^2$ ,  $k_{nop} = 1,2$ ;

для зоряної ясної ночі:  $E_1 \Delta I = 1,2 \cdot 10^{-5} вт / м^2$ ,  $k_{nop} = 20$ .

На рис.2 приведені результати розрахунку  $D, м$  як функції  $P, мВт$  для метеорологічної дальності видимості 7...8 км ( $b = 8 \cdot 10^{-5} м^{-1}$ ) для місячної ( графік 1) та зоряної (графік 2) ясної ночі.

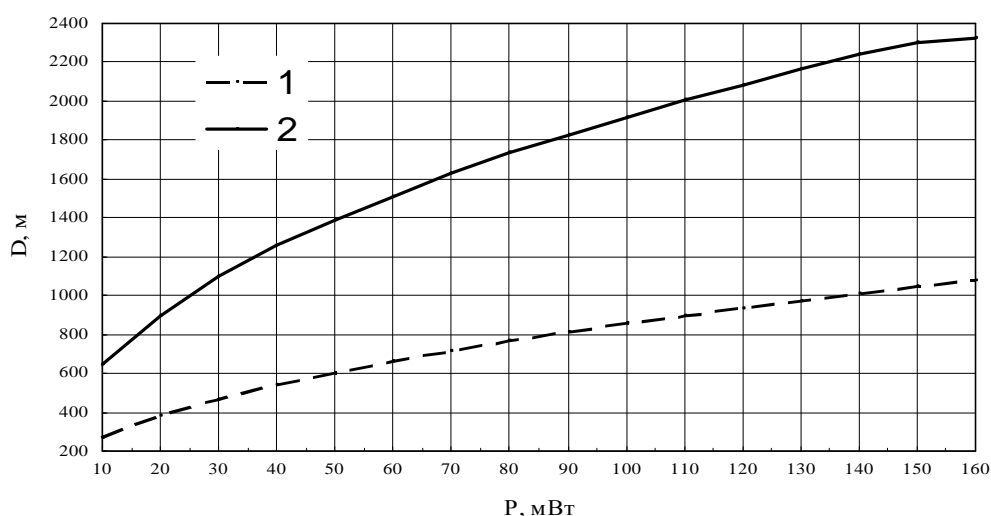


Рис.2. Дальність дії ЛСФПМ для місячної ( графік 1) та зоряної (графік 2) ясної ночі.

Таким чином, розроблена методика розрахунку дальності дії лазерної системи формування прицільної марки з урахуванням технічних параметрів пілотажних окулярів нічного бачення, потужності лазерного випромінювача та характеристик природної освітленості земної поверхні вночі. Дана методика може застосовуватися як для розрахунків дальності дії лазерної системи формування прицільної марки при заданих характеристиках лазерного випромінювача, так і для розрахунків потужності лазерного випромінювача для забезпечення заданої дальності спостереження прицільної марки.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Лазерна система формування прицільної марки “АДРОС“ ФПМ – 01КВ. Проспект НПФ “АДРОН“, Київ, 2010.
2. Криксунов Л.З. Справочник по основам инфракрасной техники. –М.: Сов. Радио, - 1978. – 400с.

3. Кощавцев Н.Ф., Кощавцев С.Ф., Федотова С.Ф. Анализ перспектив развития приборов ночного видения // Прикладная физика. – №3,1999. – с.68 – 74.

*Надійшла до редакції 29.10.2011*