

УДК 629.7.058.74

І.Б. Ковтонюк, О.Б. Котов, В.А. Таврін

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

## МОДИФІКОВАНА МОДЕЛЬ ВІЗУАЛЬНОЇ ПОМІТНОСТІ ДИСТАНЦІЙНО ПІЛОТОВАНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

В статті запропонована модифікована модель візуальної помітності дистанційно пілотованих літальних апаратів, а також проаналізовано чинники, які впливають на неї.

**Ключові слова:** дистанційно пілотовані літальні апарати, візуальна помітність.

### Вступ

Однією з найбільш важливих якостей дистанційно пілотованих літальних апаратів (ДПЛА) локальної ланки є їх візуальна помітність [1]. Модель візуального виявлення наземної цілі з літака розглянута у [2]. На практиці виникають ситуації, коли автоматичне повернення апарату в точку пуску неможливе. Тоді необхідно візуально визначити місце знаходження апарату у повітряному просторі та у ручному режимі дистанційно здійснити його посадку. Особливість виявлення ДПЛА із землі полягає в тому, що виявлення і упізнання є в даному випадку основним. Також слід урахувувати, що ДПЛА повинні мати перевагу по скритності і дальності виявлення із землі над об'єктом пошуку для наземного спостерігача. Тому удосконалення моделі візуальної помітності ДПЛА, чому присвячена дана стаття, є актуальним.

### Результати досліджень

Поява ДПЛА в зоні візуальної помітності ще недостатня для його візуального виявлення. Аналіз даних відносно впливу просторової характеристики сигналу на зоровий аналізатор дозволяє зробити припущення:

– ДПЛА може бути візуально помітним у процесі його пошуку наземним спостерігачем тільки тоді, коли його кутові розміри для спостерігача  $\epsilon_n > 1'$ ;

– висота та швидкість польоту ДПЛА при виконанні завдання моніторингу земної поверхні визначаються погодними умовами.

Припустимо, що ДПЛА виконує політ на певній висоті  $H_n$  із швидкістю  $V_n$  і деяким бічним ухиленням  $r$  від наземного спостерігача (рис. 1).

Бічне ухилення  $r$  характеризує відстань на горизонтальній площині від лінії  $\zeta_1' \zeta_2'$  (проекції траєкторії ДПЛА  $\zeta_1 \zeta_2$ ) до паралельної лінії  $H_1 H_2$ , що проходить через точку  $O$  (положення спостерігача).

Припустимо, що при підльоті ДПЛА до спостерігача на дальність його візуальної помітності  $D_b$ , яка характеризується курсовим кутом ДПЛА відносно спостерігача  $q_{D_b}$ , кутові розміри ДПЛА  $\epsilon_n \geq 1'$ .

Процес пошуку при візуальному виявленні повітряного об'єкту із землі полягає в тому, що спо-

стерігач послідовно переглядає заздалегідь визначену область огляду повітряного простору. Спостерігач кожного разу затримує погляд на деякий час для фіксації факту наявності або відсутності цілі в цій області повітряного простору.

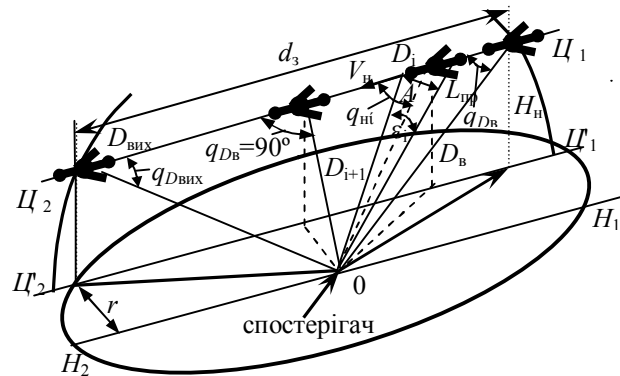


Рис. 1. Політ ДПЛА в зоні візуальної помітності для наземного спостерігача

Задамо такі умови рішення задачі:

- спостерігач проводить випадковий пошук в заданому районі  $R$  площею  $S$ ;
- область огляду постійна;
- спостерігач у будь-який момент часу переглядає будь-яку точку району, незалежно від того, які ділянки були проглянуті до цього [2].

Нехай ціль з рівною імовірністю розташована у будь-якій точці  $(x, y)$  деякої зони пошуку  $R$  площею  $S$ . Щільність розподілу координат ДПЛА задана в загальному вигляді.

Імовірність візуального виявлення наземним спостерігачем ДПЛА при його одноразовому прольоті визначається виразом [5]:

$$P_B = 1 - e^{-\frac{\bar{p}_B v_s d_3}{S V_n}}, \quad (1)$$

де  $\bar{p}_B$  – умовна імовірність виявлення (візуальної помітності) ДПЛА за умови, що він знаходиться на ділянці неба, яка оглядається наземним спостерігачем;  $V_n$  – швидкість польоту ДПЛА;  $d_3$  – ширина зони візуальної помітності;  $S$  – площа зони пошуку  $R$ ;  $v_s$  – середня швидкість огляду, яка визначається площею ділянки неба, що проектується на "жовту пляму" ока  $s_3(x, y)$ :

$$v_s = s_3(x, y) / m_{t_s} \quad (2)$$

де  $m_{t_s}$  – середній час, через який спостерігач переносить погляд з однієї ділянки неба, що оглядається, на іншу. Середня швидкість огляду  $v_s$  визначається точкою зору під кутом  $20^\circ$  і дальністю від спостерігача до ДПЛА. Тоді:

$$v_s = \pi \left( D_B \operatorname{tg} 10^\circ \right)^2 / 3 \quad (3)$$

Це припущення справедливе, оскільки на ДПЛА встановлюються оптико електронні засоби (ОЕЗ) повітряного моніторингу земної поверхні для сканування місцевості в плані і в перспективі. Якщо наземний спостерігач виявить ДПЛА після прольоту їм точки  $D_{i+1}$  ( $D_i$  - дальність від наземного спостерігача до ДПЛА у конкретний момент часу), то інформація про нього вже буде отримана оператором (рис. 1).

Поточні кутові розміри  $\varepsilon_{\text{ні}}$  ДПЛА визначаються висотою польоту  $H_{\text{н}}$ , дальністю  $D_i$  і довжиною фюзеляжу  $L_{\text{ф}}$ , (як функції від курсового кута  $q_{\text{ні}}$  ДПЛА) з урахуванням бічного ухилення ДПЛА від спостерігача  $\gamma$  (рис. 1). Для визначення розміру проекції відповідного характерного розміру ДПЛА на картинну площину і кутових розмірів ДПЛА  $\varepsilon_{\text{ні}}$  використовується модель (рис. 1), яка дозволяє зв'язати останні з параметрами руху ДПЛА:

- швидкістю польоту  $V_{\text{н}}$ ;
- висотою польоту  $H_{\text{н}}$ ;
- бічним ухиленням  $\gamma$  відносно спостерігача;
- курсовим кутом  $q_{\text{ні}}$ .

Будемо вважати, що виявлення поодинокого ДПЛА рівнозначне його упізнанню. Око погано пізнає деталі предмета, кутові розміри якого менше  $1'$ , тому вважаємо, що при кутовому розмірі ДПЛА для спостерігача менш однієї кутової хвилини ДПЛА візуально не виявляється і не пізнається [3, 8], тобто при  $\varepsilon_{\text{ні}} < 1'$  умовна ймовірність виявлення  $\bar{p}_B = 0$  (рис. 2).

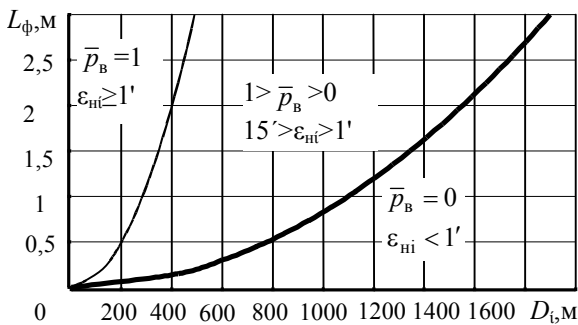


Рис. 2. Області умовної ймовірності візуальної помітності ДПЛА  $\bar{p}_B$

Припустимо, що в діапазоні кутових розмірів ДПЛА  $15' \geq \varepsilon_{\text{ні}} > 1'$  умовна ймовірність візуального виявлення (помітність)  $\bar{p}_B \in (0; 1)$ . Якщо кутові розміри фюзеляжу ДПЛА для наземного спостерігача  $\varepsilon_{\text{ні}} > 15'$ ,

його візуальне виявлення за умови, що він знаходиться на ділянці неба, яка оглядається наземним спостерігачем [3, 4], відбувається з умовною ймовірністю  $\bar{p}_B = 1$ .

Для визначення умовної ймовірності виявлення ДПЛА  $\bar{p}_B$  зазвичай використовується підхід, відомий як закон виявлення по дальності [2]. Модифікація моделі візуальної помітності ДПЛА для наземного спостерігача полягає в застосуванні рівномірного розподілу значень умовної ймовірності виявлення ДПЛА  $\bar{p}_B$ . Умовна ймовірність виявлення (візуальна помітність) визначається за умови, що ДПЛА знаходиться на ділянці неба, яка оглядається спостерігачем і проектується на "жовту пляму" очей. Відповідно до цього закону умовна ймовірність виявлення  $\bar{p}_B$  для діапазону кутових розмірів ДПЛА може бути визначена наступним чином. У діапазоні видимих кутових розмірів ДПЛА при  $15' > \varepsilon_{\text{ні}} > 1'$   $1 > \bar{p}_B > 0$ , при  $\varepsilon_{\text{ні}} \geq 15'$  значення умовної ймовірності виявлення  $\bar{p}_B$  прагне до 1.

Такий підхід характеризується складністю реалізації обчислень і порівняно незначним ефектом відносно їх точності. Кутові розміри ДПЛА на заданій висоті польоту визначаються його курсовим кутом відносно спостерігача. Тоді, для рівномірного розподілу значень умовної вірогідності виявлення ДПЛА  $\bar{p}_B$  (рис. 3), застосуємо відносний курсовий кут цілі

$$\bar{q}_H(\varepsilon_1) = \left( 90^\circ - q_{H(15' \geq \varepsilon \geq 1')} \right) / \left( 90^\circ - q_{H(\varepsilon=1')} \right)$$

$$\bar{p}_B = \begin{cases} 0, & \text{при } \frac{90^\circ - q_{H(\varepsilon_{\text{ні}} < \varepsilon_{\text{н}}=1')}}{90^\circ - q_{H(\varepsilon_{\text{н}}=1')}}; \\ \frac{\varepsilon_{\text{ні}}}{\varepsilon = 15'}, & \text{при } q_{H(\varepsilon_{\text{ні}}=15')} \geq q_{\text{ні}} \geq q_{H(\varepsilon_{\text{н}}=1)}; \\ 1, & \text{при } \frac{90^\circ - q_{H(\varepsilon_{\text{ні}} \geq 15')}}{90^\circ - q_{H(\varepsilon_{\text{н}}=1')}} \end{cases} \quad (4)$$

де  $q_{H(\varepsilon=1')}$  – курсовий кут цілі для заданої висоти польоту при його пошуку наземним спостерігачем, який відповідає кутовому розміру  $\varepsilon_{\text{ні}}=1'$ ;  $q_{H(\varepsilon_1)}$  – поточний курсовий кут цілі для заданої висоти польоту, при якому кутовий розмір фюзеляжу  $15' > \varepsilon_{\text{ні}} > 1'$ ;  $q_{H(\varepsilon=15')}$  – курсовий кут цілі для заданої висоти польоту, при якому кутовий розмір фюзеляжу  $\varepsilon_{\text{ні}} \geq 15'$ .

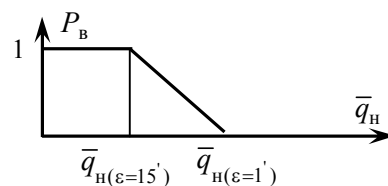


Рис. 3. Графік залежності умовної ймовірності виявлення ДПЛА від відносного курсового кута цілі  $q_{H(\varepsilon_1)}$

Чисельне значення площі області огляду  $S$  залежить від швидкості польоту ДПЛА і є сумою площ  $s$ , ділянки, що оглядається наземним спостерігачем і проєктується на "жовту пляму" ока  $s_3(x, y)$  за час польоту ДПЛА в зоні польоту відносно спостерігача. Таким чином, площу області огляду  $S$  визначаємо

$$S = \pi \left( D_B \operatorname{tg} 10^\circ \right)^2 d_3 / (m_{ts} V_H), \quad (5)$$

де  $d_3/V_H$  є ні що інше, як час польоту ДПЛА  $t'_{пр}$  в зоні візуальної помітності;

Для обчислень значення середнього часу складає  $m_{ts} = 3$  с [3, 5].

Наземний спостерігач проводить випадковий пошук ДПЛА в заданому районі  $R$  площею  $S$ . Будемо вважати, що співвідношення  $d_3/V_H = \text{const}$  для конкретного типу ДПЛА, який здійснює політ в зоні видимості з постійною швидкістю.

Ширина зони візуальної помітності визначається висотою польоту і дальністю від спостерігача до ДПЛА. Тому при обчисленні  $P_B$ ,  $t'_{пр}$  вважається постійним. Значення  $t_{пр} = \text{var}$  і при обчисленні  $P_B$  змінюється від однієї секунди до  $t'_{пр}$ .

Таким чином, знання залежності поточних кутових розмірів  $\varepsilon_n$  конкретних типів перспективних ДПЛА, що перебувають на озброєнні, відносно наземного спостерігача, дозволяє остаточно записати вираз (2) для визначення імовірності їх візуального виявлення наземним спостерігачем, у такому вигляді

$$P_B = 1 - e^{-\bar{P}_B t_{пр}/t'_{пр}}. \quad (6)$$

Аналіз (6) показує, що візуальна помітність ДПЛА, при його пошуку наземним спостерігачем тим менше, чим менше час його польоту в зоні спостереження. Тобто візуальна помітність ДПЛА безпосередньо залежить від його габаритів, швидкості і висоти польоту.

## Висновки

1. Таким чином, зниження візуальної помітності ДПЛА може бути досягнуто шляхом виконання польоту на висотах, при яких ДПЛА знаходиться на такому віддаленні від наземного спостерігача (об'єкту моніторингу), при якому його кутові розміри  $\varepsilon_n$  менше однієї кутової хвилини (рис. 2).

2. Висота польоту конкретних типів ДПЛА, що виконують завдання із застосуванням ОЕЗ, може бути обмежена погодними умовами. В цьому випадку ефективність застосування ОЕЗ повітряного моніторингу може бути не забезпечена в зв'язку з необхідністю польоту в хмарах або в інших погодних умовах (туман, хмарність, дощ).

3. Вимоги, які висуваються фахівцями до габаритних розмірів ДПЛА, призначаються виходячи з умови їх візуальної помітності з землі.

Крім того, реалізація підходу, спрямованого на зменшення габаритних розмірів ДПЛА, забезпечує підвищення рівня візуальної непомітності, оскільки скорочується час їх перебування в зоні пошуку наземним спостерігачем за рахунок більш пізнього виявлення.

## Список літератури

1. Таврін В.А. Основи експлуатації безпілотних літальних апаратів, загальні проблеми та шляхи їх вирішення // Науково-практична конф. НАОУ/ В.А. Таврін, О.І. Кремешиний – К.: , 2003 – С. 102 – 107.
2. Мильграм Ю.Г. Боевая эффективность авиационной техники и исследование операций / Ю.Г. Мильграм, И.Ю. Попов – М.: ВВИА, 1970. – 500 с.
3. Меньшин Г.Г. Надежность систем «Человек – машина» / Г.Г. Меньшин, И.Э. Том. – Минск: Ин-т технической кибернетики АН БССР, 1985. – 137 с.
4. Элементарный учебник физики / Под ред. Г.С. Ландсберга. / Т. III. Колебания и волны. Оптика. Атомная и ядерная физика. – М.: Наука. 1986. – 656 с.
5. Риженко О.І. Методика вибору основних масштабів подібності при проєктуванні динамічно подібних моделей надлежких безпілотних літальних апаратів / О.І. Риженко, Д.Ю. Сілін, В.А. Таврін // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. Вип. 11. – 2002. – С. 22 – 25.
6. Боевое применение и эффективность комплексов авиационного вооружения / [А.И. Буравлев, С.В. Волков и др.]. – М.: ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 1989. – 239 с.
7. Основы инженерной психологии / Под ред. Б.Ф. Ломова. – М.: Высш. шк., 1977. – 335 с.
8. Ильин В. Боевое применение беспилотных летательных аппаратов / В. Ильин, А. Скрынников // Вестник авиации космонавтики – 2002. – № 3. – С. 28 – 31.

Надійшла до редколегії 20.08.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.М. Порошин, Національний технічний університет «ХПІ», Харків.

## МОДИФИЦИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ ВИЗУАЛЬНОЙ ЗАМЕТНОСТИ ДИСТАНЦИОННО ПИЛОТИРУЕМЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

И.Б. Ковтонюк, А.Б. Котов, В.А. Таврин

В статье предложена модифицирована модель визуальной заметности ДПЛА, которая позволяет уменьшить визуальную заметность ДПЛА путем выполнения полета на высотах, при которых угловые размеры ДПЛА обеспечивают их визуальную непометность.

**Ключевые слова:** дистанционно пилотируемые летательные аппараты, визуальная заметность.

## MODEL OF VISUAL NOTICEABLENESS OF THE REMOTEDLY PILOT-CONTROLLED AIRCRAFTS IS MODIFIED

I.B. Kovtonyuk, O.B. Kotov, V.A. Tavrín

In the article the offered is modified model of visual noticeableness of DPLA, which allows to decrease visual noticeableness of DPLA by implementation of flight on heights at which the angular sizes of DPLA provide their visual imperceptibility.

**Keywords:** remotely pilot-controlled aircrafts, visual noticeableness.