

УДК 629.7

**Віктор ПОЛІЩУК,***Національна академія Державної прикордонної служби України  
імені Богдана Хмельницького, м. Хмельницький***МЕТОДИКА ОБҐРУНТУВАННЯ СПОСОБУ ПОШУКУ  
ПРАВОПОРУШНИКА ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ  
БЕЗПІЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТА**

*Розглянуто завдання пошуку правопорушника кордону із застосуванням безпілотного літального апарата за умови, що відомі початкові координати перебування та напрямок руху правопорушника. Встановлено, що застосування способу пошуку за визначеним галсом найбільш ефективніше, оскільки пошук буде здійснено найшвидше і за менших вимог до ширини зони спостереження безпілотного літального апарата.*

**Ключові слова:** *безпілотний літальний апарат, пошук правопорушника кордону*

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Найважливіша роль у сучасній війні відводиться засобам розвідки та висвітлення оперативної обстановки. Основне навантаження щодо вирішення цього завдання покладається в сучасних умовах на безпілотні літальні апарати (БПЛА), ефективність використання яких значною мірою залежить від їх тактико-технічних характеристик, а також умов їх застосування [1]. Зазначене стосується застосування БПЛА в охороні кордону.

© Поліщук В.

Безпілотні літальні апарати в охороні кордону можуть застосовуватись автономно, здійснюючи патрулювання, а також для пошуку правопорушника (ПП) чи уточнення факту порушення кордону. Початкові координати порушення кордону можуть бути отримані, наприклад, за допомогою радіотехнічного комплексу охорони протяжної ділянки кордону. Заплановано в найближчі роки обладнати державний кордон сучасними технічними засобами охорони [2], що в сукупності становитимуть радіотехнічний комплекс, здатний виявити ПП, визначити напрямок його руху. Проте, зважаючи на пересіченість місцевості, з метою суттєвого зменшення часу та персоналу для затримання ПП є доцільним після його виявлення радіотехнічним комплексом здійснити пошук і спостереження за ним до прибуття сил охорони.

Для вирішення цих часткових завдань доцільно використати БПЛА, оскільки вони характеризуються високою швидкістю пересування у довільному напрямку. Причому для вирішення цих завдань рекомендується використовувати БПЛА, який має базуватися в підрозділі охорони кордону [3], що потребує здійснення вибору виду пошуку правопорушника із застосуванням БПЛА і визначення характеристик траєкторії польоту.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій, у яких започатковано вирішення даної проблеми та на які опирається автор.** Загальні вимоги до комплектації та застосування БПЛА для охорони державного кордону розглянуто в праці [4]. Проте огляд застосування БПЛА зроблено без врахування особливостей різних видів пошуку ПП, що безумовно впливатиме на визначення вимог до БПЛА під час їх закупівлі та оснащення підрозділів охорони.

Основними видами пошуку об'єктів із застосуванням БПЛА у військових цілях є [1]: пошук об'єкта в заданій зоні; баражування в заданій зоні; обліт заданого рубежу в бойових порядках противника; вихід у задану точку на території противника і її обліт; пошук об'єкта в заданому кутовому секторі; пошук об'єкта на заданому маршруті польоту. Зазначені види пошуку об'єктів не враховують особливостей

застосування БПЛА за даними радіотехнічного комплексу охорони протяжної ділянки кордону, що розглянуто в праці [3].

Доцільна траєкторія руху прикордонного наряду визначена як відрізок прямої, який з'єднує початок координат, що співпадає з координатами виявлення ПП, і далі переходить у логарифмічну спіраль [3]. Проте у такому випадку не ефективно використовуються можливості засобу спостереження БПЛА. На початку траєкторії ширина смуги спостереження необхідна мінімальна, а в кінці максимальна. Отже, маючи достатньо широку смугу пошуку, БПЛА повною мірою її використовує лише в кінці траєкторії.

Очевидно більш доцільно застосувати Архімедову спіраль з постійним кроком збільшення [5], який відповідає ширині смуги пошуку БПЛА. Але сектор пошуку не може бути  $360^\circ$ , оскільки проліт над територією суміжної країни заборонений і, крім того, напрям руху ПП може визначатися радіотехнічним комплексом охорони, що робить доцільним пошук у секторі  $180^\circ$  за траєкторією напівкругових галсів.

Тому слід розглянути вид пошуку ПП за викликом із застосуванням траєкторії руху у вигляді напівкругових галсів. Під викликом розуміється сигнал тривоги від радіотехнічного комплексу охорони із видачею координат і напрямом (від нас або до нас) руху ПП.

**Метою роботи** є розробка методики обґрунтування способу пошуку правопорушника із застосуванням БПЛА.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Розглянемо завдання пошуку правопорушника кордону із застосуванням БПЛА за умови, що відомі початкові координати перебування правопорушника, а також напрямок його руху. Залежно від фізико-географічних умов місцевості, ТТХ безпілотного літального апарата, змісту отриманої інформації про виявлення ПП на РОІС, застосування БПЛА доцільно в режимі пошуку ПП за викликом, який можна поділити на такі види:

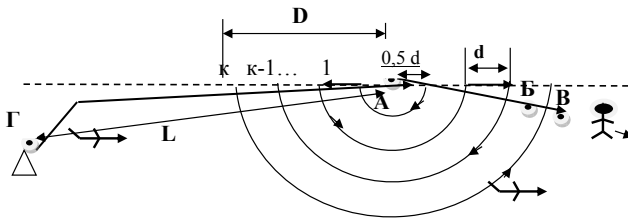
пошук ПП за викликом з покроковим збільшенням радіуса напівкругових галсів;

пошук ПП за викликом за траєкторією визначеного галса.

Якщо тип БПЛА, який буде застосовуватись, відомий, тобто задані його такі технічні характеристики, як: швидкість польоту, час під-

готовки до розгортання, ширина зони спостереження, що буде різною залежно від комплектації апаратури спостереження, а також заданих характеристик зони пошуку ПП і його руху, як: віддаленість місця старту від місця виявлення ТЗОК, час затримання ПП на РОІС, ширина зони пошуку, швидкість і напрям руху (від нас або до нас) ПП, тоді для застосування БПЛА слід визначитись з шириною напівкругових галсів та їх кількістю для виду пошуку з покроковим збільшенням радіуса галсів і визначитись з радіусом траєкторії галса під час пошуку ПП за викликом за траєкторією визначеного галса. Додатково необхідно визначити кількість галсів за його максимальним номером, що обмежуватиметься тривалістю польоту.

Формалізуємо завдання щодо пошуку ПП за викликом з покроковим збільшенням радіуса напівкругових галсів. Нехай наземний пункт управління БПЛА знаходиться в точці Г, ПП виявлений, наприклад, радіотехнічним комплексом охорони кордону в точці А (рис. 1).



**Рис. 1.** Схема польоту БПЛА в режимі пошуку ПП за викликом з покроковим збільшенням радіуса напівкругових галсів:

А – точка виявлення ПП на РОІС; Б, В – точки, які позначають межі ширини смуги виявлення БПЛА; Г – точка пуску БПЛА;  $k$  – номер галса;  $d$  – ширина галса;  $L$  – відстань від місця старту БПЛА до місця виявлення ПП на РОІС;  $D$  – ширина зони пошуку ПП

Вважатимемо рух ПП рівноймовірним у напрямку від місця виявлення вглиб території України. Нехай ПП намагається якнайшвидше віддалитися від точки виявлення А і рухається в напрямку точки В, яка віддалена від траєкторії останнього галса на відстань  $\frac{d}{2}$  половини ширини галса. Радіус першого галса становить також  $\frac{d}{2}$ , наступних

них галсів  $kd + \frac{d}{2}$ , де  $k$  – номер галса, тобто радіус збільшується на ширину галса для кожного наступного галса.

Пошук доцільно проводити до моменту часу, коли ПП вийде в точку В і одночасно ще встигне дана точка попасти в зону спостереження БПЛА, що знаходиться на траєкторії останнього  $k$ -го галса. Загальний маршрут БПЛА за таким пошуком буде включати політ від місця старту до точки виявлення ПП засобом охорони, далі політ проходить до початку траєкторії 1-го галса, політ за першим галсом, перехід до 2-го і т. д., повернення БПЛА з кінця  $k$ -го галса в точку виявлення ПП на РОІС і далі до місця старту.

Складемо рівняння балансу часу для застосування БПЛА в режимі польоту за викликом з покрововим збільшенням радіуса напівкругових галсів, скористаємось даними рис. 1. Тоді для всієї траєкторії польоту БПЛА рівняння буде мати вигляд

$$\frac{kd}{V_n} + T_{nz} = T_{\text{bn}} + \frac{2L}{V_\sigma} + \frac{d}{2V_\sigma} + \frac{0,5\pi d}{V_\sigma} + \frac{d + \pi(0,5d + 1d)}{V_\sigma} + \frac{d + \pi(0,5d + 2d)}{V_\sigma} + \dots + \frac{d + \pi(0,5d + (k-1)d)}{V_\sigma} + \frac{d(k-1) + 0,5d}{V_\sigma}, \quad (1)$$

де  $T_{nz}$  – час затримки ПП на РОІС;  $T_{\text{bn}}$  – час підготовки до пуску БПЛА;  $k$  – номер галсу;  $L$  – відстань, від місця старту БПЛА до місця виявлення ПП;  $V_\sigma$  – швидкість польоту БПЛА;  $V_n$  – швидкість переміщення ПП.

Спростимо вираз (1), урахувавши наявну арифметичну прогресію у правій частині рівняння (1), доданки 5–7:

$$\frac{kd}{V_n} + T_{nz} = T_{\text{bn}} + \frac{2L}{V_\sigma} + \frac{dk}{V_\sigma} + \frac{\pi dk^2}{2V_\sigma} + \frac{d(k-1)}{V_\sigma}. \quad (2)$$

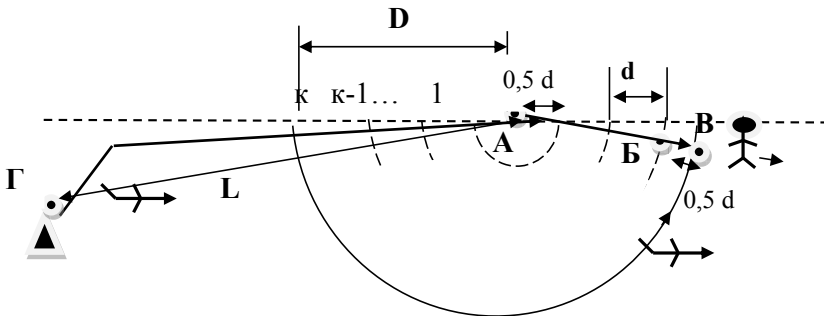
Для встановлення взаємозв'язку номера галса (кількості галсів) від ширини галсів (зони пошуку БПЛА) перетворимо рівняння (2):

$$0,5\pi k^2 + k \left( 2 - \frac{V_{\sigma}}{V_n} \right) + \frac{V_{\sigma}(T_{\sigma n} - T_{n3})}{d} + \frac{2L}{d} - 1 = 0 . \quad (3)$$

Отримаємо рішення нелінійного рівняння:

$$k = \frac{\frac{V_{\sigma}}{V_n} - 2 \pm \sqrt{\left( 2 - \frac{V_{\sigma}}{V_n} \right)^2 - 2\pi \left( \frac{V_{\sigma}(T_{\sigma n} - T_{n3})}{d} + \frac{2L}{d} - 1 \right)}}{\pi} . \quad (4)$$

Розглянемо другий вид режиму пошуку ПП. Формалізуємо завдання щодо пошуку ПП за викликом за траекторією визначеного галса. На відміну від попереднього виду пошуку передбачається, що БПЛА з точки А, точки виявлення ПП ТЗОК, переміститься на траекторію умовного  $k$ -го галсу, де за один прохід можливе попадання ПП у зону спостереження БПЛА. При цьому поділ на галси є лише умовним, оскільки БПЛА пролітатиме один або декілька разів за однією і тією ж траекторією  $k$ -го галса. Такий поділ введено для можливості порівняння видів пошуку за викликом (рис. 2).



**Рис. 2.** Схема польоту БПЛА в режимі пошуку ПП за викликом за траекторією визначеного галса:

А – точка виявлення ПП на РОІС; Б, В – точки, які позначають межі ширини смуги виявлення БПЛА; Г – точка пуску БПЛА;  $k$  – номер галса;  $d$  – ширина галсу;  $L$  – відстань, від місця старту БПЛА до місця виявлення ПП на РОІС;  $D$  – ширина зони пошуку ПП.

Схема руху БПЛА в режимі пошуку ПП за викликом за траєкторією визначеного галса відрізняється від схеми з покроковим збільшенням радіуса напівкругових галсів тим, що згідно з останньою БПЛА проходить всі галси, починаючи з 1-го, а для другого виду пошуку здійснюється політ на рубежі тільки за траєкторією визначеного галса, пропустивши попередні.

Складемо рівняння балансу часу для застосування БПЛА в режимі польоту за викликом з покроковим збільшенням радіусу напівкругових галсів, скористаємось даними рис. 2. Тоді, для всієї траєкторії польоту БПЛА рівняння буде мати вид

$$\frac{kd}{V_n} + T_{ns} = T_{on} + \frac{2L}{V_{\sigma}} + \frac{m\pi d(k-0,5)}{V_{\sigma}} + \frac{2d(k-0,5)}{V_{\sigma}}, \quad (5)$$

де  $m$  – кількість галсів за номером  $k$ , які пролетить БПЛА.

Після спрощення рівняння (5) отримаємо

$$k = \frac{\frac{(T_{on} - T_{ns})V_{\sigma}}{d} + \frac{2L}{d} - 0,5\pi \cdot m - 1}{\frac{V_{\sigma}}{V_n} - \pi \cdot m - 2}}. \quad (6)$$

Для виявлення ПП, який переміщується з точки Б у точку В, за найнесприятливішого ймовірнісного випадку зустрічі, БПЛА необхідно здійснити два галси і розворот. При цьому курс руху ПП не впливатиме на результат виявлення. Припустимо, що час на розворот незначний. Час, витрачений БПЛА, має бути меншим часу проходження ПП ширини зони спостереження, яка ототожнюється з шириною галса (переміщення ПП від точки Б до точки В). Тоді вважатимемо, що ПП буде виявлено БПЛА. Зазначене стосується і пошуку з покроковим збільшенням радіуса напівкругових галсів, якщо передбачається бажане виявлення (політ) БПЛА за траєкторією останнього галса, що унеможливить пропуск ПП у будь-якій точці траєкторії.

Отже, умову пошуку правопорушника з урахуванням часу його переміщення на ширину зони спостереження безпілотного літального апарата сформулюємо так: пошук ПП за даними БПЛА, який рухається

ся за траєкторією кругових галсів, доцільно вести до галса, подвійний час руху по якому і час на розворот будуть меншими часу переміщення ПП на ширину зони спостереження БПЛА (ширину галса).

Тоді в аналітичному вигляді запишемо

$$\frac{d}{V_n} \geq \frac{2\pi d(k-0,5)}{V_6}, \quad (7)$$

або відносно  $k$

$$k \leq \frac{V_6}{V_n} \frac{1}{2\pi} + 0,5, \quad (8)$$

де  $d$  – ширина галса (ширина зони спостереження БПЛА);  $k$  – номер галса;  $V_6$  – швидкість польоту БПЛА;  $V_n$  – швидкість переміщення ПП.

Прийmemo обмеження, розглядатимемо випадки, коли БПЛА спроможний здійснити хоча б один напівкруговий галс. З умови (8) випливає, що швидкість БПЛА має перевищувати швидкість ПП щонайменше у 3 рази при ( $k = 1$ ), що співпадає з даними роботи [3]. При цьому БПЛА може неперервно знаходитися на  $k$ -му галсі, очікуючи підходу ПП, але кількість галсів  $m$ , які пролетить БПЛА за номером  $k$ , має відповідати рівнянню балансу часу (6).

Зазвичай для ділянок РОІС задається максимальне значення ширини зони пошуку ПП, яке обмежується, наприклад, наближенням інфраструктури поселень до державного кордону. Тобто, припускаємо, що ширина зони пошуку ПП є обмеженою і пошук поза нею не результативний. Згідно з рис. 1 і 2 ширина зони пошуку ПП відповідає сумарній кількості галсів

$$D \geq kd, \quad (9)$$

де  $D$  – ширина зони пошуку ПП.

Тоді справедливим є висунення умови виявлення ПП у межах зони пошуку.

Умову виявлення ПП у межах заданої зони його пошуку при застосуванні пошуку за викликом сформулюємо так: пошук ПП за даними БПЛА, який рухається за траєкторією напівкругових галсів,



можливо вести до галса, при якому добуток ширини на номер галса не перевищить значення ширини зони пошуку.

Тобто, фактично одним із обмежень значення максимального номера галса визначає гіперболічна крива  $k = D/d$ . Щодо нижньої межі, то вона обмежується траєкторією 1-го галса.

Наступним напрямком дослідження є визначення умови пошуку ПП під час обмеження часу польоту БПЛА, що також впливатиме на обґрунтування режиму пошуку ПП за викликом із застосуванням БПЛА.

**Висновок.** Уперше розроблено методику обґрунтування способу пошуку правопорушника із застосуванням безпілотного літального апарату в режимі пошуку за викликом. Сутність наукової новизни методики полягає у складанні рівнянь балансу часу для застосування безпілотного літального апарату в режимі польоту за викликом з покровим збільшенням радіуса напівкругових галсів, а також в режимі польоту за траєкторією визначеного галса. Методика відрізняється формулюванням та аналітичним описом умови пошуку правопорушника з врахуванням часу його переміщення на ширину зони спостереження безпілотного літального апарату, а також умови виявлення правопорушника у межах заданої зони його пошуку. Це дозволило визначити номер галса (кількість) залежно від ширини галса (ширина зони спостереження БПЛА) для різних видів пошуку за викликом.

### Список використаної літератури

1. Ростопчин В. В. Элементарные основы оценки эффективности применения беспилотных авиационных систем для воздушной разведки. Режим доступа : [http://www.uav.ru/articles/basic\\_uav\\_efficiency.pdf](http://www.uav.ru/articles/basic_uav_efficiency.pdf). – Заголовок з екрана.

2. Серватюк В. М. Інженерно-технічне облаштування українсько-російської ділянки державного кордону України в сучасних умовах / В. М. Серватюк // Історія, сучасність та перспективи розвитку ДПСУ та охорони державного кордону : матеріали міжнародної наук.-практ. конференції. – Хмельницький : НАДПСУ, 2015. – С. 10–15.

3. Даник Ю. Г. Здійснення охорони державного кордону із інтегральним застосуванням безпілотних і космічних засобів / Даник Ю. Г., Балицький І. І. // Застосування космічних систем в інтересах національної безпеки та оборони : Матеріали наук.-практ. семінару. – К. : НАОУ, 2008. – С. 17–25.

4. Ананьїн О. В. Вимоги до застосування та комплектації безпілотних авіаційних комплексів / Ананьїн О. В. // Історія, сучасність та перспективи розвитку ДПСУ та охорони державного кордону : матеріали міжнародної наук.-практ. конф. – Хмельницький. : НАДПСУ, 2015. – С. 229–232.

5. Архимедова спіраль. – Режим доступу : <https://ru.wikipedia.org/wiki/>. – Заголовок з екрана.

*Рецензент – доктор технічних наук, доцент Лисий М. І.*

*Стаття надійшла до редакції 05.05.2016*

**Полищук В. В. Методика обосновання способу пошуку порушника з використанням безпілотного літального апарату**

Рассмотрены задачи поиска правонарушителя границы с применением беспилотного летательного аппарата при условии, что известны начальные координаты нахождения и направление движения правонарушителя. Установлено, что применение способа поиска по определенным галсам наиболее эффективно, поскольку поиск будет осуществлен быстрее и при меньших требованиях к ширине зоны наблюдения беспилотного летательного аппарата.

**Ключевые слова:** *беспилотный летательный аппарат, поиск правонарушителя границы.*

**Polishchuk V. V. Substantiation methods of violator's search techniques using unmanned aerial vehicle**

The issues of conducting a search for border violators using unmanned aerial vehicles (UAVs) when initial coordinates and direction of their movement are known have been discussed in the article.

Substantiation methods of violator's search techniques using UAV in the search mode on an on-call basis have been elaborated for the first time. The essence of scientific novelty of the method is formulation of time balance equations in order to use unmanned aerial vehicle in the on-call

flight mode with step-up increase of the radius of semicircular courses and in the set course (path) flight mode. The distinctive feature of the method is formulation and analytical description of the violator's search situation, taking into account the time of their moving to the UAV surveillance zone (area) width, as well as violator's detection conditions within the set search zone. This allowed determining the number of courses depending on the course width (UAV surveillance zone width) for various search modes on an on-call basis.

It has been established that the use of the set course search method is the most efficient as the search is conducted the fastest and with less strict requirements to the UAV surveillance zone width. In addition, it has been found that overall flight time of unmanned aircraft is the least influential factor for limiting the number of search path courses for the set source data.

**Keywords:** *Unmanned Aerial Vehicle, border violator search.*