

УДК 001.57:3.55

*В.В. Хижняк, кан. техн. наук, ст. наук. співроб., С.П. Куліков, д-р техн. наук, проф.***ОЦІНЮВАННЯ ВАРТІСНИХ ПОКАЗНИКІВ АВІАЦІЙНОГО ПОШУКУ З ВИКОРИСТАННЯМ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ**

Розглядаються питання використання безпілотних літальних апаратів для авіаційного пошуку об'єктів, що зазнали лиха. Аналізуються вартісні показники: льотної години БПЛА; огляду всієї зони; огляду одиниці площі для різних схем пошуку об'єкта у заданому секторі.

*Ключові слова:* авіаційний пошук, безпілотний літальний апарат, вартісні показники.

*V. Khyzhniak, Cand. of Sc. (Eng.), Sen. St. Sc., S. Kulikov, Doc. of Sc. (Eng.), Prof.***ESTIMATION OF COST INDEXES OF AVIATION SEARCH USING UNMANNED AERIAL VEHICLES**

The article examines the use of unmanned aircraft for aviation search for objects that are in distress. Cost parameters are analyzed: UAV flight hours; review of the entire area; review unit area for various schemes locate an object within a given sector.

*Keywords:* aviation search, an unmanned aerial vehicle, cost indexes.

Сьогоднішній ринковий підхід до замовлення і закупівлі техніки припускає, що складна техніка типу безпілотних комплексів не розробляється на замовлення, а обирається із зразків, які надають виробники. Причому підприємство-виробник повинно за власний рахунок розробити та створити зразок, провести випробування, підготувати відповідну техніко-економічну документацію. Виготовлення техніки, зокрема безпілотних комплексів, значно відрізняється від виготовлення інших апаратів. Наприклад, підприємство-виробник навряд чи буде за свій рахунок виготовляти гіростабілізовану платформу для супроводження рухомих об'єктів, радіолокаційну станцію із синтезованою апертурою, повітряний гамма-спектрометр, авіаційний пошуковий магнітометр, повітряний звукометричний комплекс, лазерний локатор – не маючи замовлення на реалізацію.

У державних установах України останнім часом простежується чітка тенденція замовляти значну кількість невеликих безпілотних літальних апаратів (БПЛА), на противагу великим. Пропонується замовити десятки тактичних та оперативно-тактичних і жодного БПЛА оперативного класу. При цьому не враховуються оперативні завдання, які повинні бути виконані БПЛА. Кількість БПЛА оперативного класу має бути невеликою – до десяти. Такий підхід обумовлюється ще і масо-габаритними характеристиками та вартістю деяких елементів бортових комплексів (БК). Наприклад, РЛС із синтезованою апертурою має вагу близько 200 кг, а лазерний локатор коштує близько 2 млн дол., що не дає можливості їх виготовляти (закупляти) у великій кількості.

Разом з тим, БПЛА оперативного класу, маючи на борту повний комплект БК, можуть виконувати завдання у всіх діапазонах та у повному обсязі на всіх рівнях застосування. Тому оцінювання БПЛА різних класів з урахуванням вартісних показників є актуальним і важливим науково-практичним завданням сьогодення.

Останніми роками у багатьох роботах на основі аналізу застосування БПЛА висвітлюються питання напрямів подальшого розвитку БПЛА [1, 2, 3, 5, 6, 8]. Робляться висновки щодо тенденцій створення БПЛА оперативного рівня, що значно розширює можливості їх застосування. Цікава дискусія розгорнулася між ЦНДІ “АРКС” [4, 7, 9] та НПП

“Новик-XXI” [10, 11, 12], суть якої полягає у виборі вартісних показників оцінювання ефективності застосування БПЛА. Так, у роботах [4, 7, 9] пропонується узагальнити опис та співвідношення різних класів БПЛА, тоді як у [10, 11, 12] навпаки цей підхід вважається контрпродуктивним, робиться висновок про неможливість порівнювати апарати різного призначення. При цьому практична відсутність математичного апарату та вихідних даних у цих публікаціях не дає можливості проаналізувати і перевірити наведені результати проведених досліджень. Надані графічні залежності, розрахункові дані та висновки недостатньо обґрунтовані, інколи мають загальний декларативний характер.

Виділення раніше нерозв’язаних складових загальної проблеми, яким присвячується стаття. Розвиток проектування та виготовлення БПЛА потребує чіткого розуміння можливостей БПЛА при їх застосуванні. Необхідність розв’язання цієї проблеми визначається відсутністю потрібного фінансування та неможливістю виробництва деяких елементів БК.

У зв’язку з цим назріла гостра потреба у виробленні науково обґрунтованих методичних підходів оцінювання безпілотних літальних апаратів різних класів з урахуванням вартісних показників. Це дасть змогу більш цілеспрямовано розв’язувати завдання створення перспективних БПЛА, а також чітко формувати вимоги до них, визначати економічну ефективність конкретних БПЛА, порівнювати та обирати найкращі з них.

Для розв’язання наведеної вище проблеми потрібно:

1. Визначити коефіцієнт співвідношення маси корисного навантаження до загальної маси, його математичне очікування та середньоквадратичну похибку.
2. Визначити вартість льотної години БПЛА, яка враховує максимальну тривалість польоту, кратність застосування та первинну вартість БПЛА.
3. Для різних умов ведення пошуку розрахувати площі зони огляду, смуги сканування, кількість прольотів у зоні огляду, час польоту, вартість огляду всієї зони, вартість огляду одиниці площі для різних схем пошуку об’єкта у заданому секторі.

Враховуючи наведене, метою і основним змістом статті є висвітлення методичного підходу до оцінювання БПЛА різних класів з урахуванням вартісних показників.

Витрачати бюджетні кошти на доопрацювання існуючих БПЛА – вже безперспективно. Доцільно розробляти нові тактико-технічні завдання та спрямовувати кошти на проектування нових комплексів, які будуть спроможні якісно розв’язувати поставлені завдання з авіаційного пошуку.

Малоперспективними проектами БПЛА слід вважати такі, що мають невелике значення співвідношення маси корисного навантаження до загальної маси БПЛА. Наприклад, на озброєнні ЗС України знаходиться БПЛА Ту-243 “Рейс”, який має загальну масу 1400 кг, а корисне навантаження тільки 130 кг. Водночас ізраїльський БПЛА “Hermes 450” при загальній масі 450 кг має масу корисного навантаження 150 кг, тобто коефіцієнт співвідношення  $K$  маси корисного навантаження до загальної маси БПЛА буде дорівнювати:

$$K = \frac{\text{маса корисного навантаження } (M_k)}{\text{загальна маса } (M_3)} = \frac{150}{450} = 0,33. \quad (1)$$

Розглянемо це співвідношення на прикладі деяких БПЛА (табл. 1).

Обчислимо математичне очікування  $M$  та середньоквадратичну похибку  $\sigma$  співвідношення маси корисного навантаження до загальної маси БПЛА за формулами:

$$M = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K_i, \quad (2)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (M - K_i)^2, \quad (3)$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2}, \quad (4)$$

де  $n$  – кількість значень  $K_i$  по кожному класу БПЛА.  
Отримані результати наведені у табл. 2 та на рис. 1.

Таблиця 1 — Співвідношення маси корисного навантаження до загальної маси БПЛА

$n$	Країна	БПЛА	$M_k$ , кг	$M_{\Sigma}$ , кг	$K$
1	2	3	4	5	6
<b>Тактичні БПЛА (радіус дії до 80 км)</b>					
1	Україна	Факс-1	5	14	0,36
2	Україна	Фазан	10	50	0,20

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6
3	Україна	Бекас-2	5	15	0,33
4	Україна	Альбатрос-4	3	20	0,15
5	Україна	Орлан	7	21	0,33
6	Україна	А-11 “Стриж”	5	25	0,24
<b>Оперативно-тактичні БПЛА (радіус дії до 300 км)</b>					
7	Україна	Птах	15	40	0,38
8	Україна	Беркут-1	50	110	0,45
9	Україна	Беркут	60	190	0,32
10	Україна	ХАІ-112	15	45	0,33
11	Україна	Пошук-2	15	45	0,33
12	Україна	R-600	25	60	0,42
13	Україна	Стрепет-С	50	150	0,33
14	Росія	Юлия-Э	100	550	0,18
15	Росія	Иркут-200	50	200	0,25
16	Ізраїль	Hermes 450	150	450	0,33
17	Ізраїль	Hermes 900	300	970	0,31
<b>Оперативні БПЛА (радіус дії до 800 км)</b>					
18	США	MQ-1 Predator	340	1020	0,33
19	СЦА	Boeing X-48A	395	1130	0,35
20	Росія	Аист	100	550	0,18
21	Ізраїль	Heron	250	1100	0,23
22	Ізраїль	IAI Searcher	63	372	0,17
23	Україна	Фенікс	150	750	0,20
24	Україна	Фенікс-2	172	520	0,33

Обчислимо математичне очікування  $M$  та середньоквадратичну похибку  $\sigma$  співвідношення маси корисного навантаження до загальної маси БПЛА за формулами:

$$M = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K_i, \quad (2)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (M - K_i)^2, \tag{3}$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2}, \tag{4}$$

де  $n$  – кількість значень  $K_i$  по кожному класу БПЛА.  
Отримані результати наведені у табл. 2 та на рис. 1.

Таблиця 2 — Математичне очікування та похибки співвідношення маси корисного навантаження до загальної маси БПЛА

Клас БПЛА	$\sum_{i=1}^n K_i$	$M$	$\sum_{i=1}^n (M - K_i)^2$	$\sigma^2$	$\sigma$
Тактичні БПЛА	1,61	0,268	0,035	0,0059	0,0769
Оперативно-тактичні БПЛА	3,64	0,331	0,054	0,0047	0,0686
Оперативні БПЛА	1,8	0,257	0,042	0,0050	0,0704
<b>Загальне значення</b>	<b>7,05</b>	<b>0,294</b>	<b>0,132</b>	<b>0,0060</b>	<b>0,0774</b>

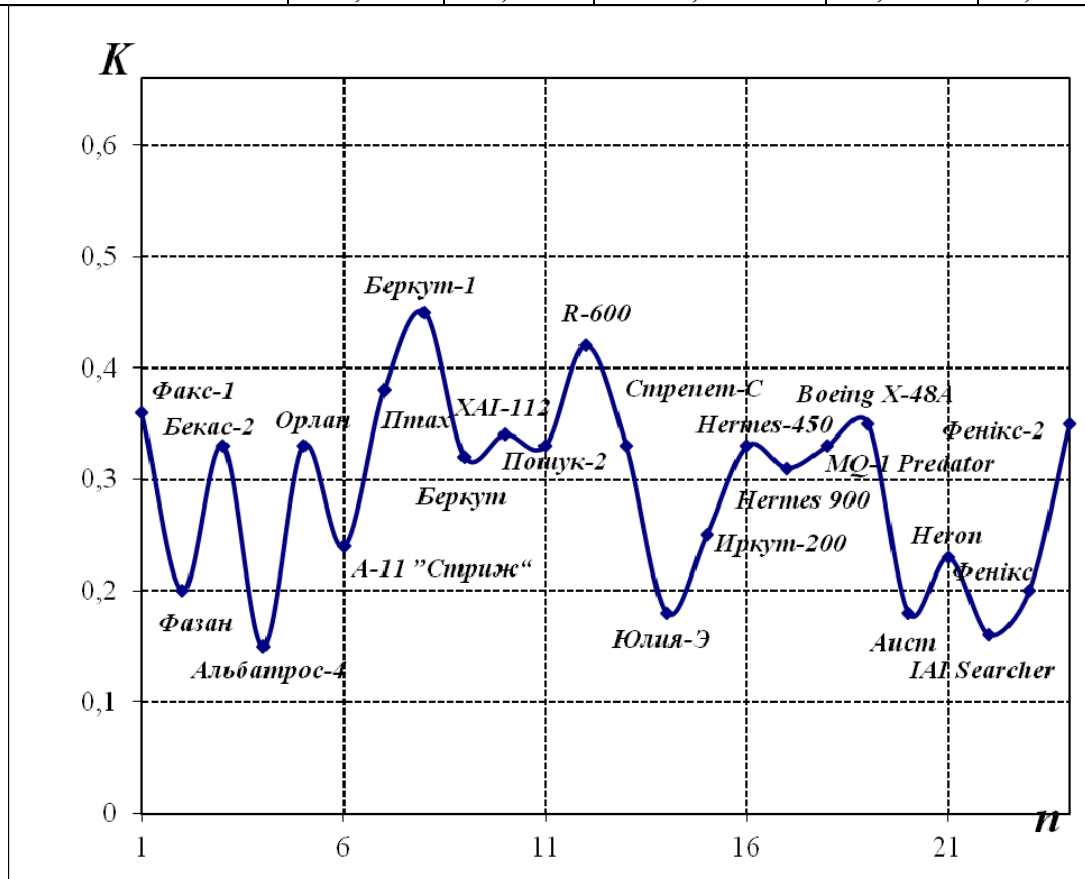


Рисунок 1 — Співвідношення маси корисного навантаження до загальної маси БПЛА

Аналізуючи отримані результати, можна зробити такі висновки.

По-перше, користуючись вищенаведеними даними (які не є повними, тут потрібно брати значно більшу вибірку типів БПЛА), отримуємо, що співвідношення маси корисного навантаження до загальної маси БПЛА становить близько 30% (враховуючи  $\sigma$  від 21% до 37%).

По-друге, коефіцієнт  $K$  залежить від багатьох параметрів: конструктивних особливостей літака, його типу, якості двигуна, кількості пального, швидкості та розрахункової висоти польоту при застосуванні тощо.

По-третє, маса корисного навантаження визначає кількість та масо-габаритні характеристики апаратури бортового комплексу, її склад та завдання, які може виконувати БПЛА. Таким чином, для оптимізації БК потрібно розробляти комплект БК для кожного класу БПЛА окремо, зі своїми оперативно-тактичними вимогами. Так, наприклад, сканери оптичного діапазону можуть мати вагу від десятки грамів до десятків кілограмів. Існує значна диспропорція між різними параметрами БПЛА. За одним параметром БПЛА може відповідати вимогам, що висуваються до оперативного класу, а за іншим – оперативно-тактичного і навіть тактичного класу. Визначення експлуатаційного діапазону висот та швидкостей БПЛА є складним завданням, яке під силу підприємствам, що можуть проводити всебічні та дорогі льотні випробування. Але можна істотно скоротити їх обсяг, якщо підприємство має методики та обчислювальні потужності для їх моделювання.

Також необхідно враховувати проблеми комплектування різних за своєю природою датчиків у рамках обраного складу корисного навантаження, який встановлюється на борту БПЛА для конкретного польоту. Прагнення постійно мати на борту повний комплект бортового комплексу, незалежно від конкретних завдань польоту, впливає на зниження функціонально-економічної ефективності БПЛА. Така тенденція складається внаслідок того, що є прагнення зменшити кількість типів БПЛА за рахунок нарощування універсальності корисного навантаження. Але тоді більш ефективним є модульний принцип реалізації бортового комплексу. Суть цього принципу полягає у тому, що БПЛА конструктивно допускає зміну контейнерів з різного роду бортовим обладнанням. Інколи більш ефективно використовувати декілька БПЛА з різним корисним навантаженням, ніж один – з універсальним.

На перший погляд, ТТХ комплексів БПЛА, які пропонується розробляти і застосовувати при авіаційному пошуку (табл. 1), можливо реалізувати. Однак потрібно дослідити кратність їх застосування. Невелика кратність застосування БПЛА (у деяких випадках не більше п'яти разів – “Рейс”, “Рейс-Д”, “Стриж”) до його капітального ремонту або списання просто непорівнянна з пілотованими літаками. При цьому справедливою є така нерівність:

$$C_{\text{пр}} \geq \frac{C_n}{tn_k}, \quad (5)$$

де  $C_{\text{пр}}$  – вартість льотної години БПЛА;  $t$  – максимальна тривалість польоту БПЛА;  $n_k$  – кратність застосування БПЛА;  $C_n$  – первинна вартість БПЛА.

Нерівність (5) має простий економічний зміст, який полягає в тому, що на вартість кожного польотного часу БПЛА переноситься частина первинної вартості БПЛА, яка обернено пропорційна нальоту БПЛА за весь термін його експлуатації. Або, можна сказати, що вартість амортизації БПЛА за час польоту дорівнює вартості БПЛА, поділеній на наліт БПЛА за весь час його експлуатації. Вираз (5) є нерівністю, бо БПЛА, крім прямої амортизації, має ще й інші витрати. Вартість льотного часу – це основна характеристика економічної ефективності. Для розрахунку вартості льотного часу скористаємося даними, які наведені у табл. 3.

Таблиця 3 — Початкова вартість та максимальна тривалість польоту БПЛА

Клас БПЛА	Початкова вартість, тис. дол. ( $C_n$ )	Максимальна тривалість польоту, год. ( $t$ )
Тактичні БПЛА	810	5
Оперативно-тактичні БПЛА	2000	10
Оперативні БПЛА	5000	20

Результати розрахунків вартості льотної години для оперативних, оперативно-тактичних і тактичних БПЛА наведені у табл. 4.

Таблиця 4 — Вартість льотної години БПЛА (тис. дол)

$n_k$	Тактичні	Оперативно-тактичні	Оперативні
1	1	2	3
2	81,000	100,000	125,000
4	40,500	50,000	62,500
6	27,000	33,333	41,667
8	20,250	25,000	31,250
10	16,200	20,000	25,000
12	13,500	16,667	20,833
14	11,571	14,286	17,857
16	10,125	12,500	15,625
18	9,000	11,111	13,889
20	8,100	10,000	12,500
22	7,364	9,091	11,364
24	6,750	8,333	10,417
26	6,231	7,692	9,615
28	5,786	7,143	8,929
30	5,400	6,667	8,333
32	5,063	6,250	7,813
34	4,765	5,882	7,353
36	4,500	5,556	6,944
38	4,263	5,263	6,579
40	4,050	5,000	6,250

Залежність вартості льотної години  $C_{лг}$  від кратності  $n_k$  застосування БПЛА оперативного, оперативно-тактичного і тактичного класу, розрахована за виразом (5), показана на рис. 2.

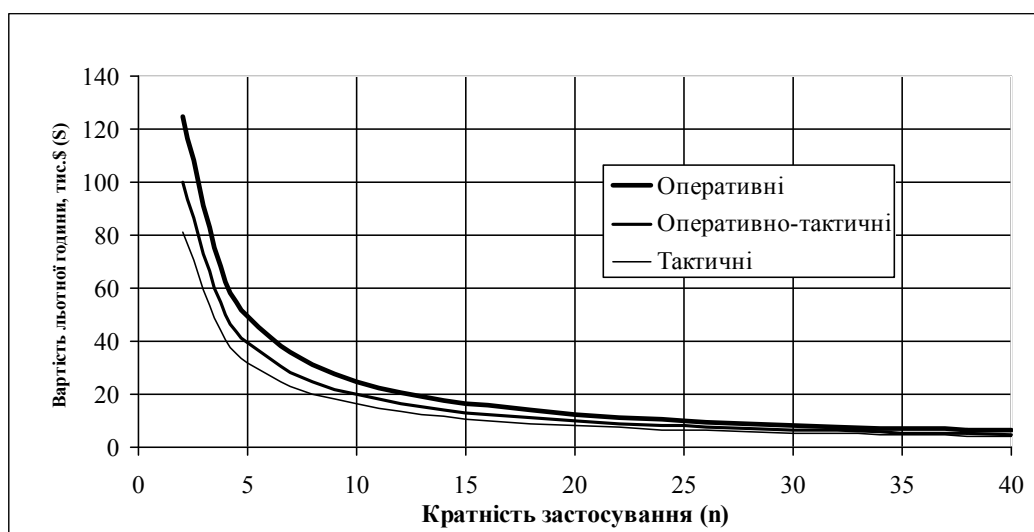


Рисунок 2 — Залежність вартості льотної години БПЛА (тис. дол.) від кратності застосування

Зважаючи на наведені дані (табл. 4, рис. 2), можна зробити такі висновки. При кратності застосування  $n_k = 18$ , між оперативними, оперативно-тактичними та тактичними БПЛА при оцінюванні вартості льотної години суттєвої різниці немає. Підвищення кратності застосування значно знижує вартість льотної години. Так, при кратності застосування  $n_k = 6$ , вартість льотної години буде у три рази більшою, ніж при кратності застосування, яка дорівнює 18.

Для визначення вартості огляду одиниці площі обраного району або зони оберемо такі вхідні дані. Розмір 50x50 км (тактичний рівень); розмір 250x250 км (оперативно-тактичний рівень); розмір 500x500 км (оперативний рівень). Розглянемо схему пошуку об'єкта БПЛА у заданій зоні огляду у вигляді прямокутника (рис. 3).

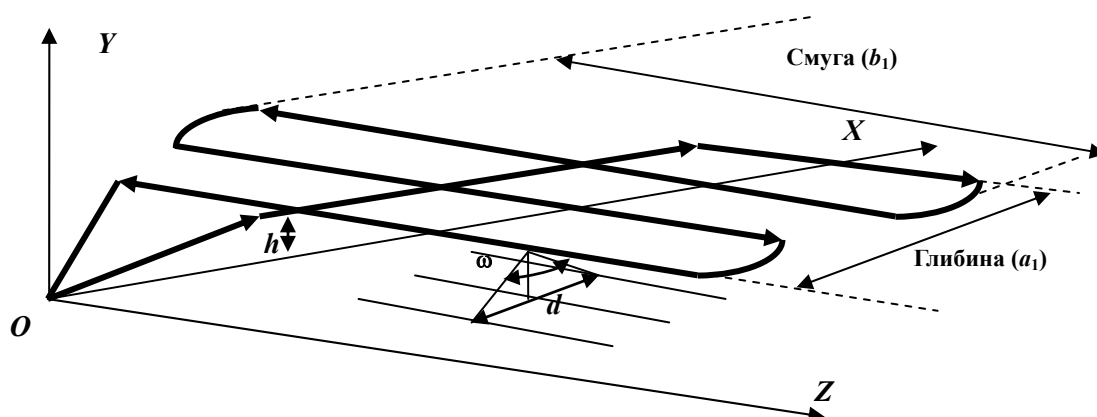


Рисунок 3 — Схема пошуку об'єкта у заданій прямокутній зоні

Для проведення подальших досліджень скористаємось такими формулами: площа зони огляду:

$$S_1 = a_1 b_1; \quad (6)$$

смуга сканування:

$$d = 2h \operatorname{tg}\left(\frac{\omega}{2}\right), \quad (7)$$

де  $h$  – висота польоту БПЛА;  $\omega$  – кут сканування БПЛА у надир; кількість прольотів БПЛА у зоні огляду (кількість розворотів):

$$n_{\text{пр}} = \frac{a_1}{d}; \quad (8)$$

дальність польоту БПЛА у зоні огляду (з урахуванням розвороту):

$$D_1 \geq b_1 n_{\text{пр}} + a_1; \quad (9)$$

час польоту БПЛА у зоні огляду:

$$T = \frac{D_1}{V}, \quad (10)$$

де  $V$  – швидкість польоту БПЛА; вартість огляду всієї зони огляду:

$$C_{\text{зони}} = T C_{\text{лр}}; \quad (11)$$

вартість огляду одиниці площі:

$$C_{\text{один}} = \frac{C_{\text{зони}}}{S_1 P_{\text{бз}}}; \quad (12)$$

$$P_{\text{бз}} = P_{\text{л}} P_{\text{брк}}, \quad (13)$$

де  $P_{\text{бз}}$  – ймовірність виконання завдання БПЛА;  $P_{\text{л}}$  – ймовірність виконання літаком польотного завдання;  $P_{\text{брк}}$  – ймовірність попадання одиночного об'єкта пошуку в область огляду БК, тобто є характеристикою ефективності БК (можливість виявлення та розпізнавання об'єкта, тобто визначає чутливість бортової апаратури, її розрізняльна здатність, кут огляду тощо), незалежно від зовнішніх умов; у цьому випадку вважаємо  $P_{\text{бз}} = 1$ .

Результати розрахунків за наведеними вище формулами (при кратності застосування БПЛА, яке дорівнює 6 та 18), наведені у табл. 5 та на рис. 4.

 Таблиця 5 — Вартість огляду одиниці площі (1 км<sup>2</sup>) БПЛА (тис. дол.)

Параметр	Тактичний ( $h=2$ км, $V=100$ км/год)	Оперативно-тактичний ( $h=6$ км, $V=200$ км/год)	Оперативний ( $h=12$ км, $V=300$ км/год)
$a_1$ (км)	50	250	500
$b_1$ (км)	50	250	500
$S_1$ (км)	2500	62500	250000
$\omega = 15^\circ$	$d$ (км)	0,5	1,6
	$n_{\text{кр}}$	100	156
	$D_1$ (км)	5050	39250
	$T$ (год)	50,5	196,25
	$C_{\text{зони}}$ 6/18 кр	$\frac{1363}{546}$	$\frac{6542}{2181}$
	$C_{\text{один}}$ 6/18 кр	<b><math>\frac{0,5454}{0,2182}</math></b>	<b><math>\frac{0,1046}{0,0348}</math></b>
$\omega = 30^\circ$	$d$ (км)	1	3,2
	$n_{\text{кр}}$	50	78
	$D_1$ (км)	2550	19750
	$T$ (год)	25,5	98,75
	$C_{\text{зони}}$ 6/18 кр	$\frac{688,5}{229,5}$	$\frac{3291,6}{1097,1}$
	$C_{\text{один}}$ 6/18 кр	<b><math>\frac{0,2754}{0,0918}</math></b>	<b><math>\frac{0,0527}{0,0176}</math></b>
$\omega = 45^\circ$	$d$ (км)	1,7	5,0
	$n_{\text{кр}}$	29	50
	$D_1$ (км)	1500	12750
	$T$ (год)	15	63,75
	$C_{\text{зони}}$ 6/18 кр	$\frac{405}{135}$	$\frac{2125}{708,3}$
	$C_{\text{один}}$ 6/18 кр	<b><math>\frac{0,162}{0,054}</math></b>	<b><math>\frac{0,034}{0,011}</math></b>
$\omega = 60^\circ$	$d$ (км)	2,3	6,9
	$n_{\text{кр}}$	22	36
	$D_1$ (км)	1150	9250
	$T$ (год)	11,5	46,25



Продовження Таблиця 5

$C_{зони}$ 6/18 кр	$\frac{310,5}{103,5}$	$\frac{1541,7}{513,9}$	$\frac{2569,6}{856,5}$
$C_{один}$ 6/18 кр	$\frac{0,1242}{0,0414}$	$\frac{0,0247}{0,0082}$	$\frac{0,0103}{0,0034}$

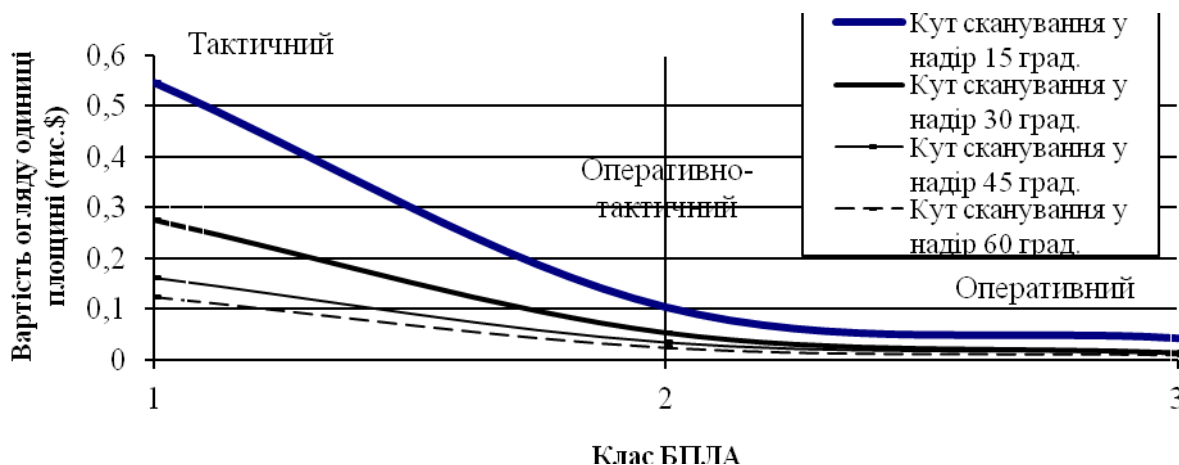


Рисунок 4 — Залежність вартості огляду одиниці площі (1 км<sup>2</sup>) БПЛА (тис. дол.) при кратності застосування БПЛА, яка дорівнює 6

Аналізуючи отримані результати, можна зробити висновок, що оперативний БПЛА більш ефективний за тактичний у 12–15 разів та оперативно-тактичний у 2–3 рази, для одного і того кута сканування БПЛА у надир. Але таке порівняння є не зовсім коректним. Зрозуміло, що висотний БПЛА при однаковому куті сканування порівняно з низьковисотним має значно гіршу розрізняльну здатність на місцевості. Певною мірою розрізняльна здатність на місцевості може характеризуватися смугою сканування  $d$ , тобто потрібно обрати такі дані, де цей параметр має істотно близькі значення. Тому доцільно при порівнянні обирати такі дані (табл. 5): для тактичних БПЛА при  $\omega = 60^\circ$  отримаємо  $d = 2,3$  км,  $C_{один}(6/18 \text{ кр}) = 0,1242/0,0414$ ; для оперативно-тактичних БПЛА при  $\omega = 30^\circ$  отримаємо  $d = 3,2$  км,  $C_{один}(6/18 \text{ кр}) = 0,0527/0,0176$ ; для оперативних БПЛА при  $\omega = 15^\circ$  отримаємо  $d = 3,2$  км,  $C_{один}(6/18 \text{ кр}) = 0,0436/0,0145$ . За таких умов можна зробити висновок, що за обраними показниками оперативний БПЛА більш ефективний за тактичний у 2,8 рази та оперативно-тактичний у 1,2 рази.

Для оперативного рівня в інтересах оперативних командувань ЗС України доцільно використовувати схему пошуку об'єкта з БПЛА у заданому секторі пошуку (рис. 5).

У такому випадку площа зони огляду буде дорівнювати:

$$S_2 = \frac{(b_2 + c_2) a_2}{2} = m a_2 b_2 \tag{14}$$

де коефіцієнт скорочення площі  $m$  (співвідношення зони огляду у вигляді трапеції до прямокутника) буде дорівнювати:

$$m = \frac{S_2}{a_2 b_2} = \frac{(b_2 + c_2) a_2}{2 a_2 b_2} = \frac{b_2 + c_2}{2 b_2} \tag{15}$$

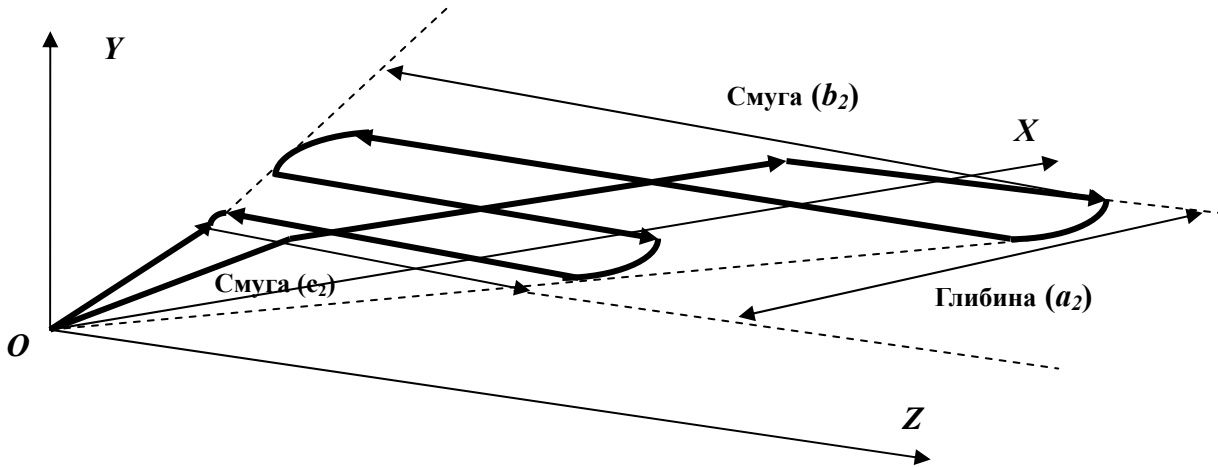


Рисунок 5 — Схема пошуку об’єкта у заданому секторі огляду

Смуга сканування та кількість прольотів БПЛА у зоні огляду обчислюються за формулами (7) та (8), а дальність польоту БПЛА у зоні огляду (з урахуванням розвороту) буде визначатися як

$$D_2 \geq m(b_2 n_{\text{пр}} + a_2) \tag{16}$$

Час польоту БПЛА у зоні огляду  $T$ , вартість огляду всієї зони  $C_{\text{зони}}$ , вартість огляду одиниці площі  $C_{\text{один}}$  обчислюються за формулами (10)–(12).

Як приклад, наведемо результати розрахунків за такими даними:

$$a_2 = 700 \text{ км}, b_2 = 700 \text{ км}, c_2 = 80 \text{ км}, \omega = 15^\circ, h = 12000 \text{ м}, V = 300 \text{ км/год.}$$

Отримаємо такі результати:  $S_2 = 273000 \text{ км}^2$ ;  $m = 0,557143$ ;  $d = 3,16 \text{ км}$ ;  $n_{\text{кр}} = 222$ ;  $D_2 = 869791,7 \text{ км}$ ;  $T = 289,31 \text{ год}$ ;  $C_{\text{зони(при } n_k=6)} = 12054,5 \text{ тис. дол.}$ ;  $C_{\text{зони(при } n_k=18)} = 4018,17 \text{ тис. дол.}$ ;  $C_{\text{один(при } n_k=6)} = 0,044156 \text{ тис. дол.}$ ;  $C_{\text{один(при } n_k=18)} = 0,014719 \text{ тис. дол.}$  Причому слід зауважити, що параметр  $c_2$  не впливає на вартість огляду одиниці площі, вона буде такою ж, як і у випадку використання зони огляду у вигляді прямокутника, тому що коефіцієнт скорочення площі  $m$  однаково пропорційно впливає на площу зони огляду  $S_2$ , дальність польоту БПЛА у зоні огляду  $D_2$  і на вартість огляду одиниці площі  $C_{\text{один}}$ . Але він суттєво підвищує (знижує) інші параметри. Це видно з порівняння отриманих даних із відповідними даними, наведеними у табл. 5, де вартість сканування зони 500x500 км для  $\omega = 15^\circ$  при  $n_k = 6$  становить 10903 тис. дол., водночас вартість сканування зони у вигляді трапеції з основами 80 і 700 км та глибиною 700 км становитиме 12 054,5 тис. дол., що дає можливість правильно розраховувати вартісні показники щодо застосування БПЛА.

При застосуванні БПЛА за умов баражування вздовж державного кордону отримаємо такі ж результати, як для розтягнутої площинної зони.

Висновки. Математичне очікування коефіцієнта співвідношення маси корисного навантаження до загальної маси становить близько 30% із середньоквадратичною похибкою 8%.

Вартість льотної години БПЛА, яка враховує максимальну тривалість польоту, кратність застосування дорівнює 40 та первинна вартість БПЛА становить: оперативних, оперативно-тактичних, тактичних – 4–6 тис. дол.

Для різних зон пошукових дій з урахуванням площі зони огляду, смуги сканування, кількості прольотів у зоні огляду, часу польоту, вартості огляду всієї зони, вартість огляду одиниці площі для різних схем пошуку об'єкта у заданому секторі огляду оперативними БПЛА більш ефективна, ніж тактичними у 2,8 рази та оперативно-тактичними – у 1,2 рази.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Попов В. Пентагон оснащает войска беспилотниками / В. Попов, Д. Федутинов // Независимое военное обозрение. – 24 декабря 2004.
2. Беляев В. Современные зарубежные БПЛА и перспективы их развития. “Хищник” выходит на охоту / В. Беляев // Авиация и космонавтика. – 2005. – № 1. – С. 12–21.
3. Щербаков В. Поиск беспилотников для Российской армии. Нужны ли Вооруженным силам РФ зарубежные аппараты? / В. Щербаков // Независимое военное обозрение. – 28 ноября 2008.
4. Ростопчин В. Беспилотные авиационные системы: основные понятия [Электронный ресурс] / В. Ростопчин, И. Бурдун // Электроника НТБ. – 2009. – Вып. № 4. – Режим доступа до журналу : [www.electronics.ru/journal/article/222](http://www.electronics.ru/journal/article/222).
5. Unmanned Aerial Vehicles and Targets. Issue Twenty-three – November 2004.
6. Беспилотные летательные аппараты / С. М. Ганин, А. В. Карпенко, В. В. Колногоров, Г. Ф. Петров. – СПб. : Невский бастион, 1999. – 160 с.
7. Ростопчин В. В. Применение беспилотных летательных аппаратов в борьбе с распространением наркотических веществ [Электронный ресурс] / В. В. Ростопчин, С. И. Федин. – Режим доступа : <http://www.uav.ru/>, 2006.
8. Unmanned Aircraft Systems Roadmap 2005–2030. – DoD : Office of the Secretary of Defence, 2005.
9. Ростопчин В. В. Элементарные основы оценки эффективности применения беспилотных авиационных систем для воздушной разведки [Электронный ресурс] / В. В. Ростопчин. – Режим доступа : [www.avia.ru](http://www.avia.ru).
10. Лукашева Э. П. Главная тенденция ДПЛАстроения. Краткая статья к МАКС 2003 [Электронный ресурс] / Э. П. Лукашева. – Режим доступа : [www.dpla.ru](http://www.dpla.ru).
11. Лукашева Э. П. Воздушная разведка и наблюдение поля боя. В чём разница? [Электронный ресурс] / Э. П. Лукашева, Н. В. Чистяков. – Режим доступа [www.dpla.ru](http://www.dpla.ru).
12. Лукашева Э. П. Элементарные соображения по беспилотной воздушной разведке и наблюдению поля боя, а также по оптимизации беспилотных систем [Электронный ресурс] / Э. П. Лукашева, А. А. Силкин, Н. В. Чистяков. – Режим доступа : [www.dpla.ru](http://www.dpla.ru)

