

МЕТОДИКА ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ АВІАЦІЙНОГО РАДІОТЕХНІЧНОГО ПОШУКУ З УРАХУВАННЯМ ПАРАМЕТРІВ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ТА ТИПУ ОБЛАДНАННЯ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН ДСНС УКРАЇНИ

В роботі досліджується ефективність авіаційного пошуку повітряних засобів, що зазнали лиха, шляхом застосування бортового радіотехнічного обладнання типу АРК-У2(УД). Досліджується дальність дії зазначеного обладнання з урахуванням параметрів навколишнього середовища.

Ключові слова: авіаційний пошук, радіокомпас, радіомаяк

Постановка проблеми. В рамках розвитку Єдиної державної системи цивільного захисту в Україні важливим питанням на сьогодні є підвищення ефективності авіаційного пошуку і рятування повітряних суден, які зазнають або зазнали лиха у районі пошуку та рятування України. Обладнані засобами радіотехнічного (р/т) пошуку, повітряні пошукові судна можуть детектувати сигнали аварійних радіомаяків (АРМ), що випромінюються на частоті 121,5 МГц з бортів суден, які зазнали або зазнають лиха. Дальність цього детектування у сукупності з іншими параметрами авіаційного пошуку (висота, швидкість руху, траєкторії) визначає ефективність застосування пошукової авіації, а отже привертає особливу увагу для дослідження. В роботі [1] наведені основні характеристики пошукових літаків і вертольотів, що застосовувались ще за часів СРСР. Однак ці дані є застарілими, і окрім цього надають неповну інформацію, щодо дальності дії пошукових радіотехнічних пристроїв АРК-У2 (УД), в залежності від типу місцевості та погодних умов, а отже підлягають вдосконаленню та більш поглибленому дослідженню. Отже метою цієї статті є дослідження дальності радіотехнічних засобів пошуково-рятувальних повітряних суден (ПС) в залежності від різних типів місцевості та погодних умов в районі пошуку і рятування, а також визначення мінімального наряду пошукових ПС для забезпечення ефективного пошуку повітряних суден в тих чи інших умовах.

Виклад основного матеріалу. Розглянемо основні характеристики, що визначають ефективність пошуково-рятувальних літаків і вертольотів. Літаки і вертольоти, що залучаються до пошуково-рятувальних робіт на Україні, зазвичай обладнані пошуковими радіокомпасами АРК-У2 або АРК-УД.

Для виконання рятувальних робіт літаки мають пристрої для скидання на парашутах вантажів, а вертольоти – устаткування для підйому постраждалих людей з води і суші на режимі висіння.

Основними характеристиками, що визначають ефективність пошукових літаків і вертольотів, є: ширина смуги обстеження (ΔL); пошукова продуктивність (N); максимальна площа обстеження ($S_{\text{обст.макс.}}$).

Ширина смуги обстеження визначається дальністю дії (D) пошукової апаратури по сигналах радіомаяків або аварійних радіостанцій і коефіцієнтом (K), що враховує величину перекриття сусідніх смуг обстеження, який залежить від точності літаководіння.

Ширина смуги обстеження обчислюється за формулою:

$$\Delta L = 2D \times K, \quad (1)$$

де K можна приблизно прийняти рівним 0,75.

Під пошуковою продуктивністю літаків і вертольотів приймається площа суші або водної поверхні, яку літак (вертоліт) може надійно обстежити за допомогою пошукових радіотехнічних засобів протягом однієї години.

Пошукова продуктивність визначається за формулою:

$$N = \Delta L \times V, \quad (2)$$

де V – дійсна швидкість горизонтального польоту.

Максимальна площа обстеження визначається по формулі:

$$S_{обст. макс.} = N \times T_{макс.}, \quad (3)$$

де $T_{макс.}$ – максимальна тривалість горизонтального польоту літака (вертольота).

Площа обстеження визначається за формулою:

$$S_{обст.} = N T_{обст.} = N (T_{макс.} - T) = N (T_{макс.} - 2R/V), \quad (4)$$

де T – час, потрібний на політ літака (вертольота) від аеродрому до району пошуку і назад;

$T_{обст.}$ – час обстеження;

R – радіус польоту до району пошуку.

Характеристики, що визначають ефективність пошукових літаків і вертольотів, що використовуються для пошуково-рятувальних робіт ДСНС України, приведені в табл. 1.

Знаючи площу району пошуку ($S_{пошуку}$) і визначивши площу обстеження одним літаком, можна розрахувати необхідний наряд літаків (n) для обстеження всього району пошуку даним типом літака за мінімальний термін:

$$n = S_{пошуку} / S_{обст.} \quad (5)$$

Виходячи з даних, наведених в табл. 1, побудовані графіки (рис.1, 2), по яким, знаючи орієнтовне віддалення району аварії від аеродрому базування пошукових засобів (радіус польоту до району пошуку R), визначається площа ($S_{обст.}$), яка може бути обстеженою даним типом літака (вертольоту), та час ($T_{обст.}$), необхідний для обстеження. Порядок визначення наступний: А (R) → Б → В ($S_{обст.}$) → Г → Д ($T_{обст.}$).

Таблиця 1– Пошукові характеристики вертольотів і літаків ДСНС України

Тип літаків, вертольотів	Рекомендована висота	Рекомендована дійсна	Варіанти заправки палива	Макс. дальність польоту	Дальність дії (D) АРК-У2 (УД) по Р-	Ширина смуги обстеження	Пошукова продуктивність

	польоту, м (при р/т пошуку)	швидкість (V), км/год	ВОМ (G_T), кг	($2R_{max}$), км	855УМ, км	(ΔL), км	(N), км ² /ч
Мі-8МТ	500	220	1460 2160 2880	465 700 890	15 (25–35)	22,5 (37,7–49)	$4,95 \times 10^3$ ($9,9 \times 10^3$)
Ан-32П	6000	470	5500	1800	– (100)	– (150)	– ($70,5 \times 10^3$)

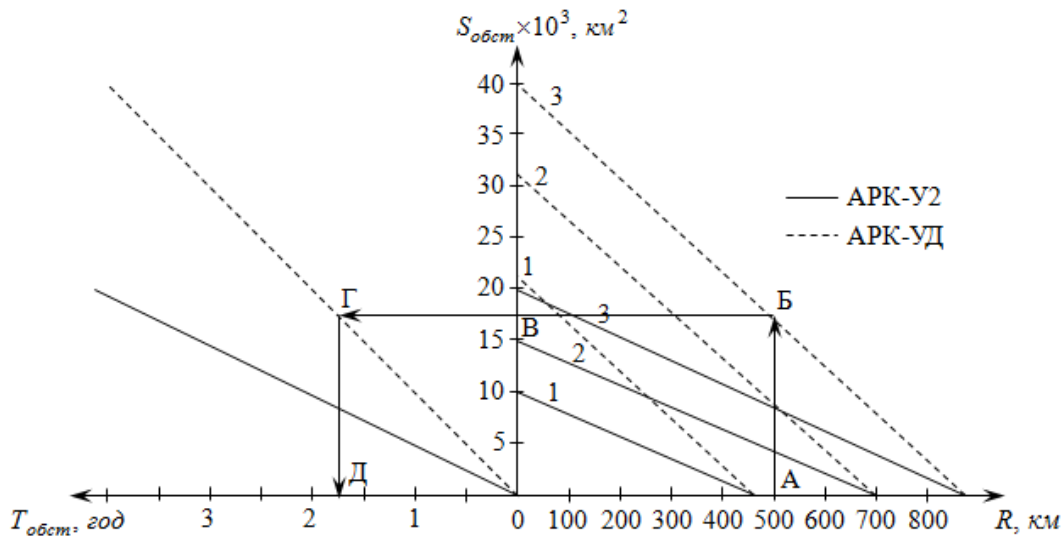


Рисунок 1– Графіки залежності площі обстеження ($S_{обст.}$) від часу обстеження ($T_{обст.}$) та радіуса польоту до району пошуку вертольоту Мі-8МТ, обладнаного пристроєм радіотехнічного пошуку АРК-У2 або АРК-УД при різних варіантах заправки паливом: 1 - $G_T=1460$ кг, 2 - $G_T=2160$ кг, 3 - $G_T=2860$ кг

Однак дані, наведені у таблиці та на графіках, отримані при наступних припущеннях:

1. Характеристики польоту розраховувалися для штильових умов, а також для висот, швидкостей і заправки паливних баків, вказаних в таблиці.

2. Величини D , ΔL і N визначені для середньо пересіченої місцевості в районі пошуку.

Проте реальні погодні умови (вітер, опади) та місцевість (гори, місто, ліс) можуть відрізнятися від ідеальних, для яких проводилися розрахунки, та призводити до зменшення дальності дії апаратури радіотехнічного пошуку (АРК-У2 або АРК-УД) та знижувати ефективність пошуково-рятувальних робіт. Отже виникає науково-практичний інтерес дослідити дальність дії бортової апаратури радіотехнічного пошуку в залежності від різних погодних умов та типів місцевості.

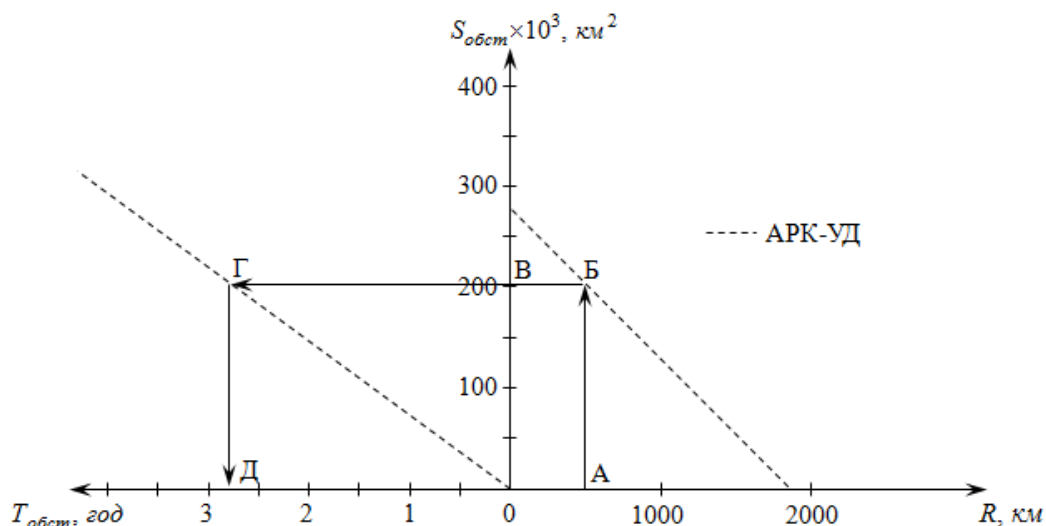


Рисунок 2— Графіки залежності площі обстеження ($S_{обст.}$) від часу обстеження ($T_{обст.}$) та радіусу польоту до району пошуку літака Ан-32П, обладнаного пристроєм радіотехнічного пошуку АРК-УД

Для здійснення розрахунку спочатку наведемо порівняльні характеристики бортового обладнання р/т пошуку АРК-У2 або АРК-УД (табл.2) та обладнання АРМ вітчизняного та закордонного виробництва (табл.3).

При довжині хвилі більше 10 см тропосфера веде себе як ідеальний діелектрик [2], тому атмосферні опади майже не впливатимуть на згасання сигналів метрових радіохвиль, що випромінюють АРМ, а отже не перешкоджатимуть їх детектуванню пошуковими пристроями АРК-У2 та АРК-УД. Погодні умови впливатимуть тільки на льотні характеристики повітряних засобів (точність літаководіння, витрати пального і т.ін.), що може бути врахованим у подальших роботах.

Таблиця 2 – Характеристики обладнання р/т пошуку АРК-У2 або АРК-УД

	АРК-У2	АРК-УД
Робочі частоти, МГц	114,166; 114,333; 114,538; 121,5	114,166; 114,333; 114,538; 121,5; 123,1; 124,1; 243
Гранична чутливість по приводу, мкВ/м	не менше 50 (-197 дБмВт)	10 / 25 / 75 (-211/- 203 /-194 дБмВт)
Тип антени	АШС-УД	АШС-УД

Таблиця 3 – Характеристики обладнання АРМ

	Р-855А1	KANNAD 406 AS
Робочі частоти, МГц	121,5/ 243,0	121,5/ 243,0/ 406,025
Вихідна потужність, Вт	0,1/ 0,4 (20 /26 дБм)	0,1/ 0,4/ 5 (20/ 26 / 37 дБм)
Тип антени	хлистова/ ножова	хлистова/ штирєва/ ножова
Модуляція	АМ	АМ/ BPSK

Дослідження дальності радіозв'язку в залежності від типу місцевості розпочнемо з рівнинної місцевості. У даному випадку сигнал не матиме перешкод для розповсюдження, а отже зазнаватиме лишень втрат у вільному просторі. Для розрахунку втрат у вільному просторі скористуємось наступною формулою [3]:

$$FSL = 32,45 + 20(\lg F + \lg D), \quad (6)$$

де FSL (Free Space Loss) – втрати у вільному просторі, дБ;

F – центральна частота на якій працює система, МГц;

D – відстань між приймачем і передавачем, км.

З іншого боку FSL визначається сумарним підсиленням системи Y (дБ):

$$Y = P_t + G_t + G_r - P_{r\min} - L_t - L_r, \quad (7)$$

де P_t - потужність передавача, дБмВт;

G_t - коефіцієнт підсилення передавальної антени, дБи;

G_r - коефіцієнт підсилення приймальної антени, дБи;

$P_{r\min}$ - чутливість приймача на заданій швидкості передачі, дБмВт;

L_t - втрати у антенно-фідерному тракті (АФТ) передавача, дБ;

L_r - втрати у АФТ приймача, дБ.

Тоді FSL можна визначити так: $FSL = Y - SOM$, де SOM (*System Operating Margin*) – запас енергетики радіолінії (дБ), що враховує можливі негативні фактори, які впливають на дальність зв'язку, такі як:

- температурний дрейф чутливості приймача та вихідної потужності передавача;
- неузгодженість антени приймача (передавача) з АФТ;
- завмирання сигналу через його багатопроміневість (multi pass) тощо.

Зазвичай SOM береться рівним 10-15 дБ [3].

Таким чином дальність зв'язку визначатиметься наступною формулою:

$$D = 10^{\left(\frac{P_t + G_t + G_r - P_{r\min} - L_t - L_r - SOM - 33}{20} - \lg F\right)}. \quad (8)$$

Використовуючи наступні вихідні дані для АРК-У2(УД) та АРМ (табл.2): $P_t = 20$ дБмВт; $P_{r\min} = -197$ (-203) дБмВт; $G_t = G_r = 3$ дБ; $L_t = L_r = 3$ дБ; $SOM = 10$ дБ; $F = 121,5$ МГц, отримаємо похилу дальність зв'язку 4125 км (для АРК-У2) та 8230 км (для АРК-УД).

Однак ці величини будуть обмежені дальністю прямої видимості. При роботі на рівнинній поверхні Землі радіус зони прямої (геометричної) видимості (r , км) визначається висотами розміщення передавальної (H , м) та приймальної (h , м) антени [3]: $r = 3,57(\sqrt{H} + \sqrt{h})$. Тоді, враховуючи, що АРК-У2(Д) знаходиться на висоті $h = 500$ м (для Мі-8МТ) або $h = 6000$ м (для Ан-32П), а АРМ знаходиться на землі ($H=1$ м), r становитиме 83 км або 280 км відповідно. Ці відстані скоротяться принаймні у двічі при наявності рослинності, характерної для місцевості типу «поле».

Ці значення ще зменшаться, якщо траса розповсюдження радіохвилі буде проходити через ліс, будівлі, гори та інші перешкоди.

Згідно [4] лісовий масив у діапазоні хвиль $100 < F < 2000$ МГц можна вважати сильно поглинаючим середовищем, при цьому інтегральний погонний коефіцієнт згасання лежить у межах $10^{-2} < \alpha < 10^{-1}$ дБ/м.

Використовуючи для лісу модель неоднорідного середовища, величина ефективного коефіцієнта згасання становитиме [4]:

$$\alpha_{m1} = \omega \sqrt{\varepsilon_0 \mu_0} \cdot \sqrt{A_1^2 + B_1^2} \cdot \sin\left[\frac{1}{2} \arctg(B_1/A_1)\right], \quad (9)$$

де $A_1 = 1 + (\varepsilon_F' - 1)f_F$; $B_1 = \varepsilon_F'' \cdot f_F$,

ε_F' , ε_F'' - дійсна і уявна частина комплексної діелектричної проникності

ε_F елементів лісу (індекс F - «forest»);

f_F - об'ємна концентрація дерев (густоти лісу);

$\omega = 2\pi F$ - радіальна частота;

ε_0 , μ_0 - електрична, магнітна стала.

Використовуючи наступні вихідні дані $f = 121,5$ МГц; $f_F = 0,02$; $\varepsilon_F' = 7$, $\varepsilon_F'' = 0,7$ (для мокрого лісу), отримаємо $\alpha_{m1} = -0,017$ Нп/м або $-0,148$ дБ/м. Взагалі ця величина буде коливатися в залежності від пори року (наявності листя), атмосферних опадів (визначають діелектричну проникність елементів лісу), швидкості вітру, густоти лісу тощо. Експериментальні дані [5] свідчать, що для густого листяного лісу на частоті $f = 100$ МГц для вертикально поляризованих електромагнітних хвиль α_{m1} становить $-0,06$ дБ/м. Траса розповсюдження радіохвилі через ліс в залежності від його висоти може становити, наприклад, для $h_{\text{лісу}} = 30$ м, від 30м до 4,98км (для Мі-8МТ, що баражує на висоті 500м) або 1,15 км (для Ан-32П, що баражує на висоті 6000м). У такому випадку при $\alpha_{m1} = -0,148$ дБ/м згасання у лісі може сягати -737 дБ або -170 дБ відповідно. Використовуючи ці данні отримаємо максимальну дальність детектування сигналів АРМ об'єктів, що знаходяться у лісі, 8,2 км (для АРК-У2 на Мі-8МТ), 16,4 км (для АРК-УД на Мі-8МТ) та 86,5 км (для АРК-УД на Ан-32П).

При пошукових роботах в у межах міста можна скористатися моделлю Хата [3], згідно якої середні втрати передачі можна виразити з наступною формулою:

$$L = 69,55 + 26,15 \lg F - 13,82 \lg H - \alpha(h) + (44,9 - 6,55 \lg H) \lg D, \quad (10)$$

де в умовах великого міста $\alpha(h) = 3,2(\lg 11,75h)^2 h - 4,97$.

Звідси максимальна дальність радіозв'язку дорівнюватиме:

$$D^* = 10^A, \text{ де } A = \frac{Y - 69,55 - 26,15 \lg F + 13,82 \lg H + 3,2(\lg 11,75h)^2 h - 4,97}{44,9 - 6,55 \lg H}. \quad (11)$$

Використовуючи наступні вихідні дані для АРК-У2(УД) та АРМ (табл.2): $P_t = 20$ дБмВт; $P_{r \min} = -197$ (-203) дБмВт; $G_t = G_r = 3$ дБ; $L_t = L_r = 3$ дБ; $SOM = 15$ дБ; $F = 121,5$ МГц, $H = 500$ м (6000м), $h = 1$ м, отримаємо максимальну дальність детектування сигналів АРМ об'єктів, що знаходяться у місті, 15,3 км (для АРК-У2 на Мі-8МТ), 25,5 км (для АРК-УД на Мі-8МТ) та 103,9 км (для АРК-УД на Ан-32П).

Отримані результати по дальності детектування сигналів АРМ об'єктів, що зазнали лиха, можна звести до наступного графіку (рис.3). Аналізуючи графіки можемо бачити, що дальність дії бортового обладнання р/т пошуку повітряних засобів сильно залежить не тільки від енергетичних характеристик обладнання та висоти баражування літальних апаратів, а й від типу місцевості в районі можливого знаходження об'єкту пошуку. Так найбільші значення дальності відповідають місцевості типу «поле», значно менші значення – місцевості типу «місто» та «ліс». Ці дані не є вичерпними, оскільки типи місцевості в реальності можуть бути змішаними, а отже є необхідним більш розширений аналіз різних типів і комбінацій місцевості, що може бути виконано у

подальших дослідження.

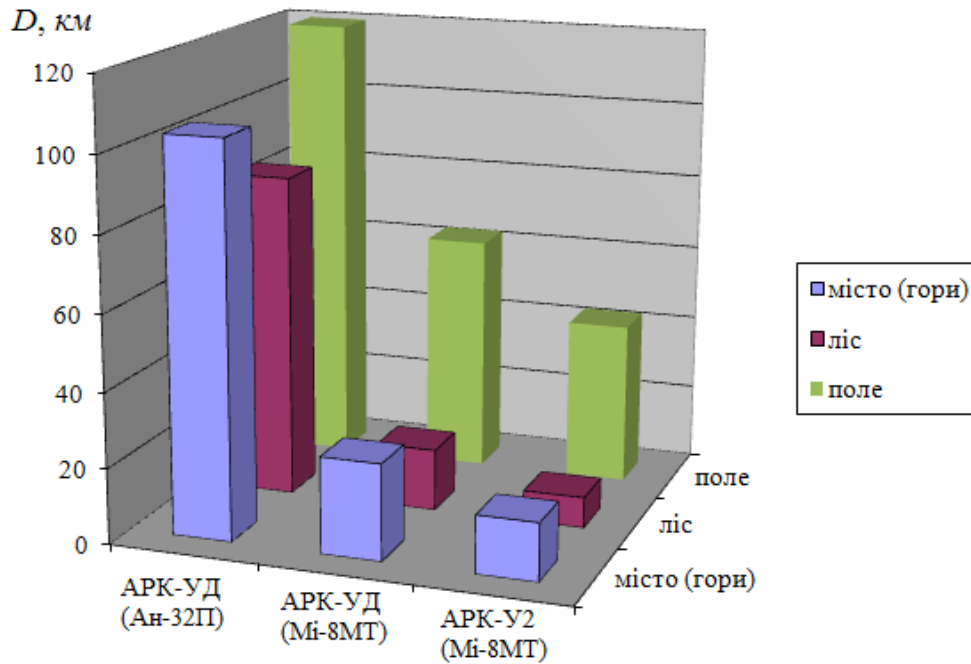


Рисунок 3 – Залежність дальності дії засобів радіотехнічного пошуку від типу обладнання та типу місцевості

Як можемо бачити, отриманні значення дальності у деяких випадках виходять за рамки заявлених в [1] значень, а отже мають бути враховані, наприклад, за допомогою спеціально розробленої системи коефіцієнтів, уточнюючих дальність дії засобів р/т пошуку для певного типу місцевості та погодних умов.

Використовуючи наступні вихідні дані: $R=100$ км; $V=220$ (470) км/год.; $K=0,75$; $T_{\max} = 4,04$ (3,83) год.; D (згідно з отриманими результатами по дальності дії обладнання р/т пошуку) та вираз (5), дослідимо ефективність застосування тих чи інших однотипних повітряних засобів для обстеження площі пошуку заданого розміру.

Згідно з побудованими графіками (рис.4) можемо бачити, що мінімальний наряд однотипних повітряних засобів, необхідний для обстеження площі пошуку заданого розміру, залежить від типу повітряного засобу, бортового обладнання р/т пошуку та АРМ, а також від типу місцевості та погодних умов в районі, де передбачається місцезнаходження об'єкту пошуку. Наприклад, для ефективного обстеження 1,5 млн. кв. км площі пошуку (рис.4а) необхідно 5, 6 або 7 літаків Ан-32П в залежності від типу місцевості. Очевидно, що при однаковій відстані від аеродрому базування пошукових літаків та вертольотів до району пошуку більш ефективним буде застосування саме літаків. Однак в реальних умовах повітряні засоби в різній кількості знаходяться на різних аеродромах, віддалених на різні відстані від району пошуку. Отже виникає оптимізаційна задача пошуку мінімальної кількості різнотипних повітряних засобів, розташованих на різних аеродромах базування пошукової авіації ДСНС та Збройних Сил України. Це так звана «транспортна» задача, що відноситься до класу лінійного програмування і може бути вирішена у подальшій роботі.

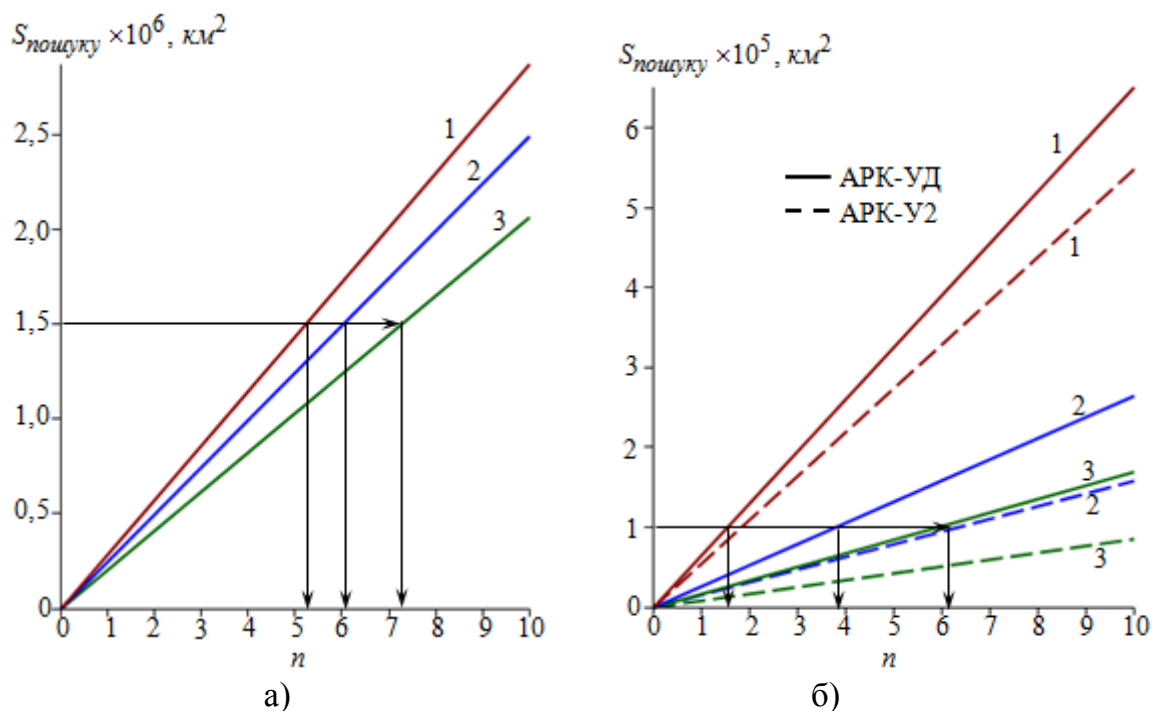


Рисунок 4 – Визначення мінімальної кількості однотипних повітряних засобів Ан-32П (а) або Мі-8МТ (б), необхідної для обстеження заданої площі пошуку при різних типах місцевості: 1 – поле, 2 – місто, 3 – ліс

Висновки. В роботі досліджувалась ефективність авіаційного пошуку повітряних засобів, що зазнали лиха, шляхом застосування бортового радіотехнічного обладнання. Використовуючи пошукові характеристики літаків Ан-32П та вертольотів Мі-8МТ, що обладнанні засобами радіотехнічного пошуку АРК-У2 або АРК-УД, була досліджена дальність детектування сигналів аварійних радіомаяків в залежності від різних типів місцевості та погодних умов. Отриманні значення дальності у деяких випадках виходять за рамки заявлених в [1] значень, а отже мають бути враховані, наприклад, за допомогою спеціально розробленої системи коефіцієнтів, уточнюючих дальність дії засобів р/т пошуку для певного типу місцевості та погодних умов. Отримані результати можуть бути використані для планування мінімального наряду повітряних засобів, що можуть дістатися до району пошуку і дослідити його у найкоротші строки.

Список використаних джерел

1. Наставление по поисково-спасательной службе СССР. Поисково-спасательное обеспечение полетов авиации. – М.: Военное издательство мин. обороны СССР, 1979. – 182 с.
2. Яковлев О.И., Якубов В.П., Урядов В.П., Павельев А.Г. Распространение радиоволн: Учебник / под ред. О.И. Яковлева. – М.: ЛЕНАНД, 2009. – 296с.
3. Гавриленко В.Г., Яшков В.А. Распространение радиоволн в современных системах мобильной связи. – Нижний Новгород: НГУ им. Н.И.Лобачевского, 2003. – 148 с.
4. Попов В.И. Основы сотовой связи стандарта GSM. – М.: Эко-трендз, 2005. – 296 с.
5. Международные стандарты и рекомендации. «Авиационная электросвязь». Приложение 10 к конвенции по Международной гражданской авиации (ICAO), 1963 г.