

## **МЕТОДИКА ВИПРОБУВАНЬ ІНФРАЧЕРВОНИХ СИСТЕМ ПОВІТРЯНОЇ РОЗВІДКИ**

Б.М. Іващук, С.В. Чорний, В.В. Михалко  
(Харківський університет Повітряних Сил)

*У статті розглядається методика випробувань інфрачервоних систем повітряної розвідки. Вирішується задача оптимізації висоти польоту літаків спостереження з врахуванням кінематичних умов і сертифікаційних обмежень на засоби інфрачервоної розвідки.*

*інфрачервона система повітряної розвідки, міжнародний договір „Відкрите небо”, інфрачервоний вимірювальний полігон, інфрачервоний тест-об’єкт (міра)*

**Постановка проблеми.** На даний час для визначення характеристик ІЧ (інфрачервоних) систем під час військових випробувань, стоїть завдання створення інфрачервоного вимірювального полігону до складу якого входять тест-об’єкти (міри) та вимірювальне обладнання. Згідно [1] були проведені дослідницькі польоти з використанням інфрачервоної (ІЧ) апаратури спостереження ААD-5, яка буде застосовуватись на другому етапі дії договору з “Відкритого Неба” (ДВН).

Основні проблеми, що виникли в ході підготовки до сертифікації ІЧ-систем спостереження:

- створення вимірювального полігону з ІЧ-мірами із стабільними характеристиками;
- методика обробки результатів випробувань ІЧ-систем спостереження для визначення мінімальної висоти спостереження в рамках ДВН.

**Аналіз літератури.** В літературі [1] описуються вимоги ДВН до ІЧ апаратури. В [2] проводиться аналіз пасивних інфрачервоних мір. В [3] описуються основні поняття теорії ймовірності. У [4] описуються характеристики розвідувального обладнання.

**Метою статті** є створення методики військових випробувань ІЧ систем спостереження та обґрунтування пропозицій щодо створення ІЧ вимірювального полігону.

**Розділ основного матеріалу.** В літературі [2] аналіз ІЧ мір показує, що проблемою є створення вимірювального полігону з мінімальними затратами на визначення характеристик системи, при достатній достовір-

рності отриманих результатів. З цією метою було запропоновано обробку результатів польоту, використовуючи статистичний підхід.

1. Дані дешифрування записуємо в матрицю А, а висоти – в матрицю Н таким чином:

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 101 & 100 & 99 & 98 & 93 & 90 & 78 & 69 & 37 & 23 & 3 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 103 & 100 & 101 & 94 & 97 & 99 & 91 & 74 & 73 & 53 & 51 & 32 & 16 & 15 & 5 \\ 103 & 103 & 103 & 90 & 101 & 97 & 78 & 70 & 67 & 80 & 73 & 74 & 57 & 0 & 1 \end{pmatrix}; \quad (1)$$

$$H = |365 \ 411 \ 457 \ 503 \ 548 \ 594 \ 640 \ 686 \ 731 \ 777 \ 822 \ 868 \ 914 \ 960 \ 1005|,$$

де цифри в ряді – це кількість раз, коли було видно розрізнені смуги різної ширини на даній висоті: 1 ряд – 30 см, 2 ряд – 40 см, 3 ряд – 50 см, 4 ряд – 60 см. Наприклад, всього 5 разів було видно смугу шириною 50 см на висоті 1005 метрів. В даному випадку наведені дані дешифрування активної міри.

2. Визначаємо ймовірність розпізнавання мір по формулах:

$$P_{1,k} = \frac{A_{1,k}}{103} \text{ – для 30 см; } P_{2,k} = \frac{A_{2,k}}{103} \text{ – для 40 см;}$$

$$P_{3,k} = \frac{A_{3,k}}{103} \text{ – для 50 см; } P_{4,k} = \frac{A_{4,k}}{103} \text{ – для 60 см,} \quad (2)$$

де  $k = 0, 1 \dots 15$ .

3. Визначаємо похибку апроксимації методом найменших квадратів описуючи дані гама-функцією

$$f(x) = \sum_{k=1}^{15} (P_{1,k} - 1 + \Gamma(H_k))^2, \quad (3)$$

де  $P_{1,k}$  – експериментальні значення (вірогідність визначення  $i$ -ої смуги);

$\Gamma(H_k)^2 = \int_a^S e^{-t} t^{x-1} dt$  – гама-функція [3].

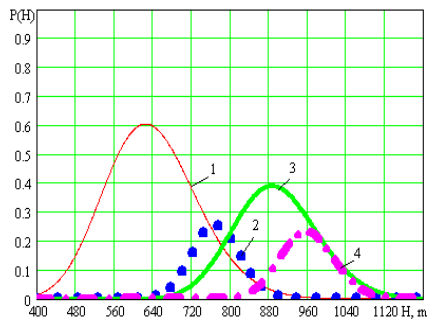
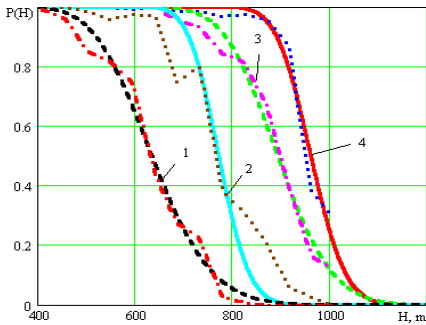
На рис. 1 показано залежності апроксимації статистичних характеристик ймовірності визначення міри на заданій висоті та щільність ймовірності статистичних характеристик визначення міри на заданій висоті.

4. Визначаємо кутову розрізнену здатність всіх смуг різних мір, за формулою [4]:

$$\gamma = 2L_i / H_{\min}, \quad (4)$$

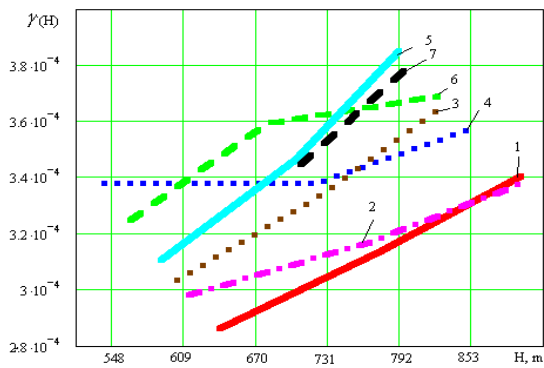
де  $L_i$  – ширина смуги.

Дослідження кутового розрізнення ІЧ-системи наведено на рис. 2.



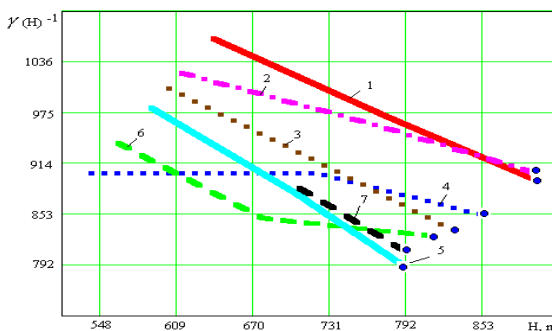
Смуги міри чорного кольору шириною 1–30 см, 2 – 40 см, 3 – 50 см, 4 – 60 см

Рис. 1. Аналіз  $P(H)$



Смуги 1 – чорна, 2 – зелена, 3 – синя, 4 – сіра, 5 – світло-сіра, 6 – темно-сіра та 7 – активної міри

Рис. 2. Аналіз  $\gamma(H)$



Смуги 1 – чорна, 2 – зелена, 3 – синя, 4 – середньо-сіра, 5 – світло-сіра, 6 – темно-сіра та 7 – активної міри

Рис. 3. Аналіз  $\gamma(H_{min})$

5. Розрахуємо мінімальну висоту за умови:

$$a = 2; S = 853; a > 0; \min - S > 0; \max - S < 914;$$

$$\text{Minimize } f(x); \min_{x \in [a, S]} f(x); \alpha = 0,114; S = 91,213; H_{\min} = S/\alpha. \quad (5)$$

Розрахунок мінімальної висоти різних смуг різних мір представлено на рис. 3.

6. Визначимо коефіцієнти лінійної апроксимації функції  $H_{\min}(\Delta T)$  методом найменших квадратів [5]:

$$f(a, b) = \sum_{j=0}^5 (H_{\min j} - a \cdot t_{j,0} - b)^2, \quad (6)$$

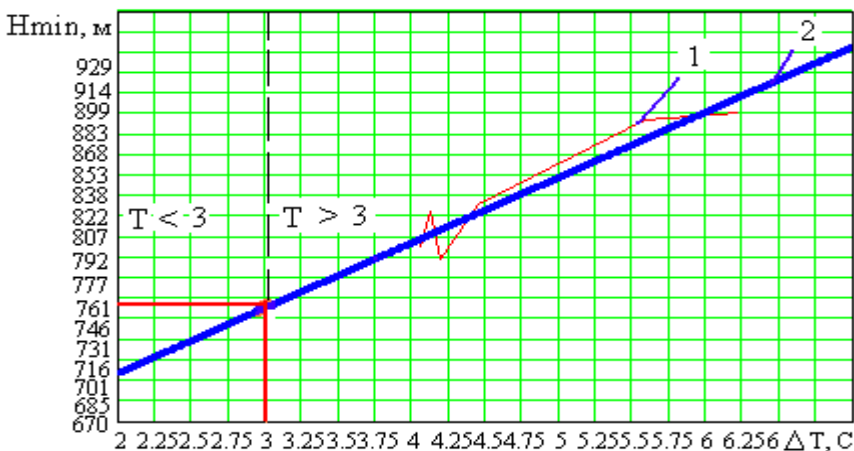
де  $H_{\min}$  – мінімальні визначені висоти;  $t_{j,0}$  – виміряна температура, яка відповідає висоті. За умови  $a = 1, b = 609$ , якщо  $a > 0, b > 0, \min f(x)$ , де  $x \in [a, b]$

$$f(x) = \sum_{j=0}^5 (H_{\min j} - a \cdot t_{j,0} - b)^2, \quad \alpha = 73,116; b = 1765, \text{ залежність } H_{\min}(\Delta T)$$

підпорядковується лінійному закону

$$Y(x) = a \cdot x + b \quad (7)$$

7. Побудуємо залежність  $H_{\min}(\Delta T)$  по мінімальних висотах розрізнення смуг 50 см та виміряного перепаду температур (рис. 4).



1 – залежність висоти до різниці температури смуги 50 см активної міри,  
2 – вирахована залежність висоти від перепаду температури міри

Рис. 4. Графік залежності  $H_{\min}(\Delta T)$

8. Шляхом екстраполяції визначаємо мінімальну висоту при перепаді температур 3 градуси. Як видно на рисунку 6 запропоновані міри не показують перепад, який треба дотримувати, що вказує на недосконалість запропонованих мір. Дані розрахунки показують про необхідність створення міри зі смуг 2 груп. Перша група має мати перепад температур менше 3 градусів, а друга більше 3 градусів.

**Висновки.** Проведені розрахунки результатів польоту дозволяють зробити наступні висновки.

1. Запропонована методика дозволяє визначити  $N_{min}$  спостереження ІЧ систем лінійного сканування для сертифікації літаків та проводити перевірку ІЧ обладнання повітряної розвідки при демонстративних польотах.

2. В результаті визначення  $N_{min}$  тест – об'єкт (міра) може являти собою смуги шириною 50 см. двох груп. Перепад температури смуг одної групи має становити менше, а перепад температур смуг з фоном другої групи більше 3 градусів. І шляхом інтерполяції за допомогою даної методики визначити  $N_{min}$ .

3. Слід зробити оцінку ефективності запропонованої методики.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Кирк У. Клар, Стивен Е. Блок. Договор «Открытое небо». – Агентство по уменьшению угрозы. Отдел истории 45045 Aviation Drive Dulles International Airport Dulles, VA 20166 – 7517, 1999. – 70 с.
2. Іващук Б.М., Чорний С.В. Дослідження пасивних інфрачервоних мір // Моделювання та інформаційні технології. – К.: НАНУ, ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова. – 2004. – Вип. № 25. – С. 56 – 61.
3. Солодовников А.С. Теория вероятностей. – М.: Просвещение, 1983. – 206 с.
4. Ребрин Ю.К. Оптикоэлектронное разведывательное оборудование летательных аппаратов. – К.: КВВАИУ, 1988. – 449 с.
5. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике. – М.: Главная редакция физико-математической литературы, 1981. – 720 с.

Надійшла 5.04.2005

**Рецензент:** доктор технічних наук, професор Д.В. Голкін,  
Харківський університет Повітряних Сил.