

УДК 355.40

І.А. Таран, В.В. Пугач, В.П. Коцюба

*Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків***ІМІТАЦІЙНА СТАТИСТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ОХОРОНИ ПЕРИМЕТРА ОБ'ЄКТА**

*У статті запропонована імітаційна статистична модель процесу охорони периметра об'єкта. З використанням імітаційної статистичної моделі проведено моделювання процесу охорони периметра об'єкта, наведені результати моделювання.*

**Ключові слова:** охорона, моделювання, порушник, виявлення, об'єкт, ймовірність.

**Вступ**

**Актуальність теми.** При організації охорони об'єктів Повітряних Сил Збройних Сил України (ПС ЗС України) необхідно враховувати їх певні особливості, однією з яких є їхня велика (до декількох десятків кілометрів для об'єктів типу аеродром) периметральна протяжність. Ця особливість в значній мірі впливає на склад сил та засобів, які залучаються до охорони та оборони об'єктів. Великі проміжки між опорними пунктами (сторожовими постами), які є елементами бойового порядку при веденні наземної охорони та оборони, як правило, замикаються парними патрулями або рухомими засобами (БМП, БТР), які просуваються за визначеними маршрутами. Спостерігачі на рухомих засобах охорони та оборони ведуть спостереження візуально або за допомогою засобів спостереження: біноклів, приладів нічного бачення тощо (1).

Своєчасність виявлення та ідентифікації порушників, які намагаються проникнути до об'єктів ПС

ЗС України, є одним з важливих завдань при організації їх охорони та оборони.

На процес викриття порушника можуть впливати різні фактори: швидкості пересування рухомих засобів охорони та порушника, характеристики засобів розвідки, довжина ділянки, яка охороняється тощо.

Для прийняття доцільного рішення командиром, який організовує охорону та оборону об'єктів ПС ЗС України, необхідні науково обґрунтовані рекомендації, які дозволять з максимальною ефективністю розподілити наявні сили та засоби та визначити бойові завдання. Тому постає необхідність дослідження процесу викриття порушника засобами охорони об'єктів, яке доцільно провести з використанням імітаційного статистичного моделювання.

**Аналіз літератури.** Як показав аналіз літератури, дослідження у цьому напрямку вкрай обмежені і відповідні моделі у них не пропонуються. Окремі рекомендації щодо організації охорони та оборони об'єктів ПС ЗС України містяться в [1 – 3].

Тому, метою даного дослідження є розробка імітаційної статистичної моделі процесу викриття порушника рухомими засобами охорони об'єктів.

**Основний розділ**

**Опис моделі.** Вхідні дані, допущення та обмеження:

засіб охорони рухається з постійною швидкістю  $V_b$  прямолінійно вздовж ділянки периметру об'єкту довжиною  $L$  (рис. 1); після досягнення межі смуги за час  $T = L / V_b$  засіб охорони продовжує рух у зворотному напрямку; дальність виявлення порушників засобом охорони складає  $D$ ; після виявлення порушників відбувається їх розпізнавання (ідентифікація) протягом часу  $t_{затр}$  та знищення; порушники наближаються до периметру об'єкту перпендикулярно руху засобу охорони зі швидкістю  $V_n$ , час появи порушника на периметрі об'єкту –  $t_n$ ; у випадку, якщо порушники не виявляються засобом охорони, або ж виявляються на відстані від межі об'єкту (вісь  $Ox$ ) меншій ніж  $y_{min} = V_n \cdot t_{затр}$ , вважаємо, що порушник досягає об'єкту; у протилежному випадку порушник вважається знищеним;

потік порушників через периметр об'єкту вважаємо стаціонарним, інтервали часу між появою двох порушників на периметрі об'єкту вважаємо розподіленими за показовим законом; поява порушника рівномірна в будь-якому місці периметру об'єкту, тобто координата  $x_n$  порушника є випадковою величиною, рівномірно розподіленою в інтервалі  $0...L$ .



Рис. 1. Вхідні дані моделі

При прийнятих допущеннях значення відстані між порушником та засобом охорони може бути визначене як

$$R(t) = \sqrt{X^2(t) + Y^2(t)},$$

$$X(t) = x_n - x_b(t),$$

$$Y(t) = y_n(t) - y_b = y_n(t) = D - V_n(t - t_n),$$

де  $x_n, y_n, x_b, y_b$ , – координати, відповідно, порушника та засобу охорони.

Порушник буде виявлятися при його появі в межах зони розвідки засобу охорони, тобто ймовір-

ність виявлення порушника може бути знайдена як ймовірність виконання умови

$$R(t) \leq D \tag{1}$$

при обмеженні

$$y_n \geq y_{min} = V_n \cdot t_{затр} \tag{2}$$

Блок-схема моделювання наведена на рис. 2.

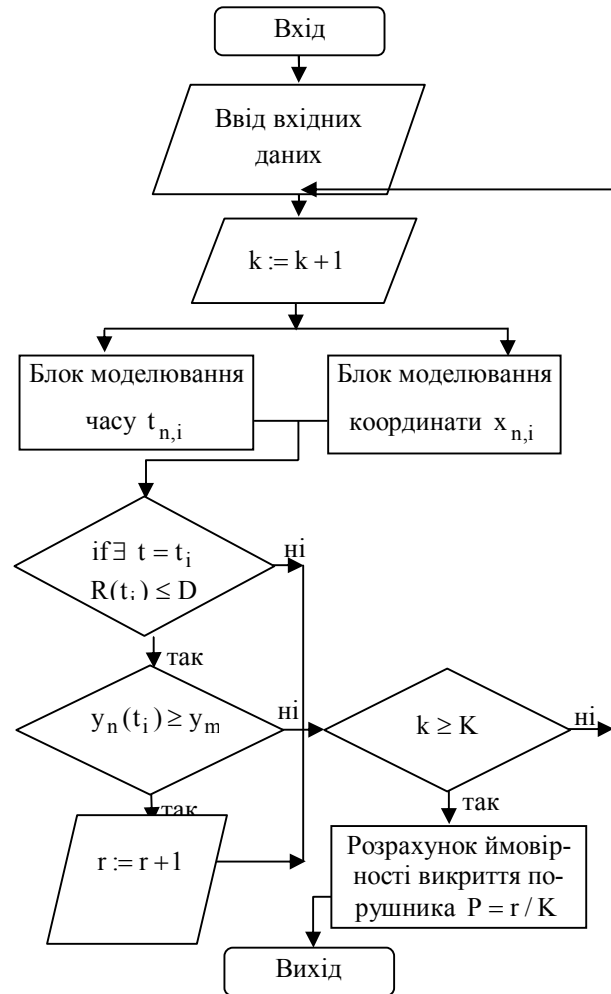


Рис. 2. Блок-схема імітаційного статистичного моделювання процесу охорони периметру об'єкта

Після введення вхідних даних на кожному  $k$ -циклі моделювання проводиться моделювання часу появи порушника на периметрі об'єкту  $t_n$  та його координати  $x_n$ , після чого проводиться перевірка виконання умов (1), (2), при їх виконанні вважається, що порушник викритий, значення кількості викритих порушників  $r$  збільшується на одиницю, після чого процес моделювання повторюється до виконання умови  $k \geq K$ , де  $K$  – кількість циклів моделювання. Після цього здійснюється статистичне визначення ймовірності викриття порушника, як відносної частоти викриття порушників  $P = r / K$ .

Моделювання випадкової величини  $x_{n,i}$  проводиться з використанням стандартної функції Random мови програмування Object Pascal.

Координата  $x_b$  засобу охорони може бути задана як

$$x_b(t) = \begin{cases} V_b t, & 0 \leq t < T \\ L - V_b(t - T), & T \leq t < 2T \\ V_b(t - 2T), & 2T \leq t < 3T \\ \dots & \dots \end{cases}$$

Таке представлення враховує, що після досягнення засобом охорони периметру об'єкту, він повертає назад. Оскільки при проведенні моделювання нас буде цікавити не значення координати  $x_b$ , а різниця  $x_b - x_{n,i}$  представляється зручнішим використовувати інші співвідношення для розрахунку  $x_b$  та  $x_{n,i}$ :

$$\begin{aligned} x_b(t) &= V_b t, \quad t \geq 0; \\ x_{n,i} &= \tilde{x}_{n,i}(-1)^v + L \cdot r; \\ v &= k \bmod 2; \\ k &= \text{Abs}(t_{n,i}) \text{div} T; \\ r &= k + v \end{aligned}$$

(як  $\tilde{x}_{n,i}$  позначене значення координати порушника, отримане за допомогою функції Random, символами div, mod та Abs позначені, прийняті в програмуванні операції, відповідно, цілочисленого ділення, частки від цілочисленого ділення та розрахунку цілої частини числа).

Моделювання випадкової величини  $t_{n,i}$ , розподіленої за показовим законом розподілу проведемо з використанням рекомендацій, наведених в [4].

Перевірку виконання умови (1) проводимо, виходячи з наступних міркувань. Запишемо

$$\begin{aligned} \Delta(t) &= R(t) - D = \sqrt{X^2(t) + Y^2(t)} - D = \\ &= \left( (x_{n,i} - V_b t)^2 + (D - V_n(t - t_{n,i}))^2 \right)^{\frac{1}{2}} - D. \end{aligned}$$

Умова (1) буде виконуватись, якщо  $\Delta(t) = 0$  для хоча б одного моменту часу на інтервалі дослідження. Це означає, що для перевірки виконання умови (1) необхідно знайти рішення рівняння

$$\left( (x_{n,i} - V_b t)^2 + (D - V_n(t - t_{n,i}))^2 \right)^{\frac{1}{2}} - D = 0,$$

або

$$\left( (x_{n,i} - V_b t)^2 + (D - V_n(t - t_{n,i}))^2 \right) = D^2,$$

тобто

$$\begin{aligned} (V_b^2 + V_n^2)t^2 - 2(V_b x_{n,i} + D V_n + V_n^2 t_{n,i})t + \\ + (x_{n,i}^2 + 2D V_n t_{n,i} + V_n^2 t_{n,i}^2) = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

Рівняння (2) може не мати рішення, це буде означати, що умова (1) не виконується; може мати одне ( $t_1$ ) або два ( $t_1, t_2$ ) рішення. У останньому ви-

падку порушник буде спостерігатись засобом охорони протягом часу  $t_2 - t_1$ , але це лише в тому разі, якщо після виявлення порушника засіб охорони буде продовжувати рух, навіть якщо це приведе до невикриття порушника. В реальних умовах після виявлення  $j$ -го порушника при загрозі його втрати внаслідок руху засіб охорони зупиниться, тому в моделі необхідно врахувати затримку засобу охорони при виявленні порушника на час  $t_{затр}$ , для чого, щоб не ускладнювати рівняння (3), зручно зменшити на величину  $t_{затр}$  отримані в процесі моделювання значення часу появи порушників  $t_{n,i}$  для  $i > j$ .  
Перевірку виконання умови  $y_n(t) \geq y_{min}$  доцільно проводити для меншого з отриманих рішень рівняння (3), оскільки при прийнятих допущеннях функція  $y_n(t)$  є монотонно спадаючою.

**Результати розрахунків.** Розрахунки, проведені для різних значень швидкості засобу охорони  $V_b$  та часу ідентифікації порушника  $t_{затр}$ , наведені на рис.3 у вигляді залежностей ймовірності знищення порушника від дальності виявлення  $D$ . Швидкість руху порушника  $V_n = 0,4$  м/с, інтенсивність потоку порушників  $\lambda = 0,01$ , довжина периметру об'єкту  $L = 4000$  м (графіки а, б) та  $L = 10000$  м (графіки в, г). Розрахунки проведені для різних значень швидкості руху засобу охорони  $V_b = 0,2$  м/с,  $0,5$  м/с,  $2,0$  м/с,  $5,0$  м/с.

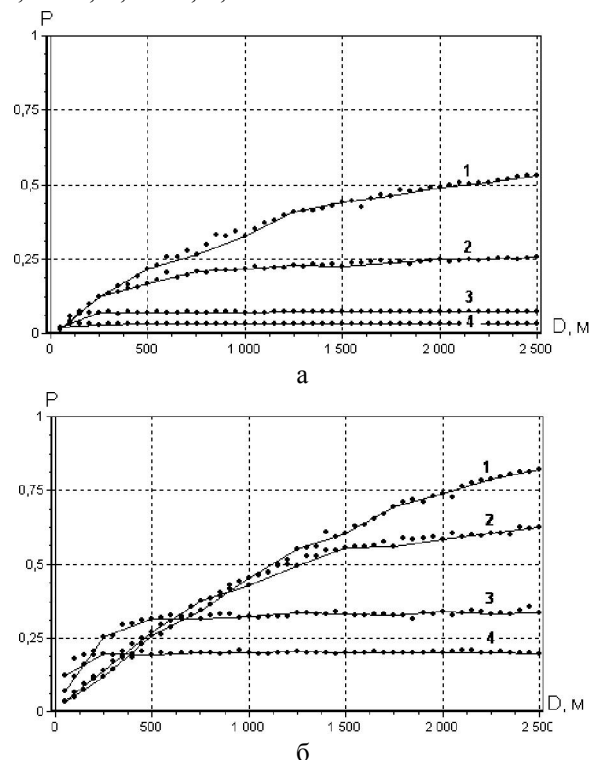


Рис. 3. Залежність ймовірності знищення порушника від дальності виявлення (перша частина рисунку)

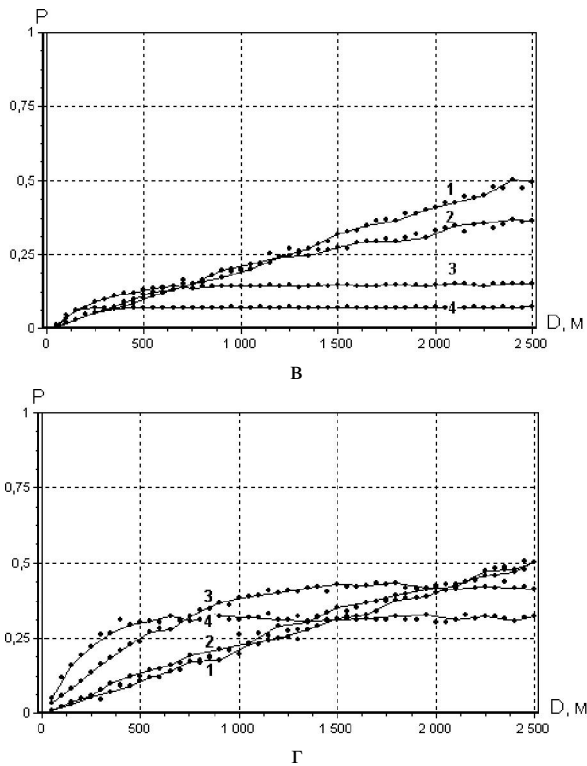


Рис. 3. Залежність ймовірності знищення порушника від дальності виявлення D.

$V_b = 0,2$  м/с (1),  $0,5$  м/с (2),  $2,0$  м/с (3),  $5,0$  м/с (4):

- а –  $t_{затр} = 100$  с,  $L = 4000$  м;
- б –  $t_{затр} = 10$  с,  $L = 4000$  м;
- в –  $t_{затр} = 100$  с,  $L = 10000$  м;
- г –  $t_{затр} = 10$  с,  $L = 10000$  м

### Висновки

Аналіз результатів проведених з використанням розробленої моделі досліджень (рис. 3) дозволяє зробити наступні висновки: такі показники, як швидкість руху засобу охорони, дальність виявлення порушника та час його ідентифікації при різних зна-

ченнях довжини периметру об'єкту суттєво впливають на ймовірність виявлення порушника засобом охорони.

У випадку, якщо довжина периметру об'єкту значно (на порядок і більше) перевищує дальність виявлення, підвищення швидкості руху засобу приводить до зменшення ймовірності викриття порушника, особливо при збільшенні часу його ідентифікації. Тому здається недоцільним здійснювати охорону об'єктів рухомими патрулями, особливо при значній, порівняно з дальністю виявлення, довжині периметру об'єкту (частини периметру об'єкта, що призначається для охорони засобу охорони). Представляється доцільним при охороні важливих об'єктів для викриття порушників широко використовувати нерухомі спостережні пости та технічні засоби охорони.

Подальші дослідження можуть бути направлені на обґрунтування рекомендацій щодо охорони об'єктів певних розмірів та конфігурації, на проведення моделювання при наявності як стаціонарних, так і рухомих засобів охорони об'єктів, на проведення моделювання з урахуванням неоднакового ступеню небезпеки, що становлять для об'єкту різні порушники.

### Список літератури

1. Протидиверсійна боротьба. Безпосереднє прикриття та наземна оборона: навч. посібн. – Х.: ХВУ, 2003. – 220 с.
2. Тактика ВВС: учебн. – М.: ВИ, 1984. – 384 с.
3. Пастушенко Н.С. Моделирование и оценка эффективности космических систем / Н.С. Пастушенко. – Х.: ХВУ, 1997. – 158 с.

Надійшла до редколегії 2.06.2010

**Рецензент:** д-р техн. наук, ст. наук. співробітник Г.В. Худов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

### ИМИТАЦИОННОЕ СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВСКРЫТИЯ НАРУШИТЕЛЯ ПОДВИЖНЫМИ СРЕДСТВАМИ ОХРАНЫ ОБЪЕКТОВ

І.А. Таран, В.В. Пугач, В.П. Коцюба

В статье предложена имитационная статистическая модель процесса охраны периметра объекта. С использованием имитационной статистической модели проведено моделирование процесса охраны периметра объекта, приведены результаты моделирования.

**Ключевые слова:** охрана, моделирование, нарушитель, обнаружение, объект, вероятность.

### THE IMITATING STATISTICAL MODEL OF PROCESS OF DISTURBER EXPLORING WITH USE THE MOBILE FACILITIES OF OBJECT GUARD

I.A. Taran, V.V. Pugach, V.P. Kotsuba

The simulation statistical model of process of guard of perimeter of object is offered in the article. With the use of simulation statistical model the design of process of guard of perimeter of object is conducted, design results are resulted.

**Keywords:** guard, modeling, disturber, finding, object, probability.