

УДК 355.351

В.О. Євсєєв

Національна академія Національної гвардії України, Харків

## УДОСКОНАЛЕНА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВИЯВЛЕННЯ ДИВЕРСІЙНО-РОЗВІДУВАЛЬНИХ СИЛ ПРОТИВНИКА ПРИ ОХОРОНІ ВАЖЛИВИХ ДЕРЖАВНИХ ОБ'ЄКТІВ

*Проаналізовані відомі математичні моделі виявлення диверсійно-розвідувальних сил противника при охороні важливих державних об'єктів. Визначені складові підсистеми виявлення системи охорони важливих державних об'єктів. Наведені способи розрахунку ефективності кожної складової підсистеми виявлення системи охорони важливих державних об'єктів. Запропонована вдосконалена математична модель виявлення диверсійно-розвідувальних сил противника при охороні важливих державних об'єктів.*

**Ключові слова:** важливий державний об'єкт, диверсійно-розвідувальні сили противника.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Наразі ризик здійснення диверсій на важливих державних об'єктах (ВДО) значно зріс. Розуміючи це, військово-політичне керівництво нашої держави приділяє значну увагу питанню підвищення рівня захищеності важливих державних об'єктів.

Досвід проведення антитерористичної операції на території Донецької та Луганської областей показав, що основну загрозу ВДО становлять диверсійно-розвідувальні сили противника (ДРСП), метою яких є знищення життєво важливих центрів об'єктів.

Зрозуміло, що не можливо успішно вести боротьбу з ДРСП при охороні ВДО без добре налагодженої підсистеми виявлення (ПВ). Отже, дослідження ПВ системи охорони (СО) ВДО є актуальним.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідженнями в області виявлення противника при охороні об'єктів займалися такі науковці, як Боровський А.С., Волхонський В.В., Бистров С.Ю., Петров І.Н. та інші [1 – 4].

Математичні моделі виявлення противника, що наведені в їх роботах, дають можливість оцінити ефективність ПВ системи охорони об'єкта лише за одним із її складових, а саме технічними засобами охорони (ТЗО).

Відомо, що функцію виявлення противника, крім ТЗО, виконують і сили охорони об'єктів – чатові та військові наряди (патрулі, пости спостереження), які можуть додатково виставлятися на підступах до об'єкта, що охороняється. Зрозуміло, що для отримання достовірніших результатів оцінки ефективності ПВ необхідно врахувати всі її складові. Від так, існуючі математичні моделі потребують удосконалення.

**Мета статті** – удосконалити існуючу математичну модель виявлення ДРСП при охороні ВДО.

### Виклад основного матеріалу

Для проведення дослідження оберемо найпростішу та найбільш адаптовану під умови, що досліджуються, відому математичну модель виявлення противника ТЗО, яка детально описана в [5].

Дана математична модель розроблена для оцінки ефективності виявлення противника одним рубезем ТЗО, який встановлений по периметру об'єкта, що охороняється, або в середині режимного приміщення.

В якості показника ефективності виявлення противника обрана ймовірність його виявлення  $P_{ТЗОj}$ .

Загалом, ймовірність  $P_{ТЗОj}$  є паспортними даними на ТЗО.

На ВДО можуть встановлюватися декілька рубезів виявлення ТЗО.

Якщо припустити, що ймовірність виявлення противника одним рубезем ТЗО  $P_{ТЗОj}$  не впливає на ймовірність виявлення противника іншим рубезем, то при встановленні на об'єкті  $n$  рубезів ТЗО ймовірність виявлення противника ТЗО  $P_{ТЗО}$  буде дорівнювати добутку ймовірностей виявлення на кожному рубезі:

$$P_{ТЗО} = \prod_{j=1}^n P_{ТЗОj} \quad (1)$$

Для визначення ефективності виявлення противника силами охорони ВДО застосуємо математичну модель спостереження, що наведена в [6].

В якості показника ефективності в моделі виступає ймовірність виявлення противника. Ця модель дозволяє оцінити ймовірність виявлення рухомого об'єкта противника в залежності від кутової швидкості огляду простору, періоду огляду та лінійної швидкості руху об'єкта, ширини променя засобу спостереження, часу, який потрібен спо-

стерігачеві для огляду і вивчення місцевості у межах променя з метою прийняття рішення щодо наявності (відсутності) ознак рухомого об'єкта у даному напрямку у всьому діапазоні дальності – від межі дальньої зони спостереження до найближчої точки.

В якості рухомого об'єкта противника можуть виступати особовий склад, наземні засоби пересування. Виявлення противника силами охорони здійснюється способом візуального спостереження як з використанням технічних засобів спостереження, так і без них.

Нехай для виявлення рухомого об'єкта противника застосовується засіб спостереження з ефективною дальністю виявлення  $R$  і кутовою швидкістю огляду простору  $\omega$ .

Спостереження ведеться способом кругового сканування простору променем засобу спостереження з кутовим розміром  $\Delta\beta$ .

Визначимо ймовірність перетину променем точки у якій знаходиться рухомий об'єкт противника за один період огляду зони спостереження.

Розглянемо два випадки:

1) рухомий об'єкт противника виходить на межу зони спостереження на азимуті  $\beta_{\text{вх}}$ , рухаючись назустріч напрямку огляду;

2) рухомий об'єкт противника виходить на межу зони спостереження на азимуті  $\beta_1$  у напрямку, що співпадає із напрямком огляду.

Прийmemo такі позначення:

$\omega = 2\pi / T_0$  – кутова швидкість огляду простору, де  $T_0$  – період огляду;

$V$  – лінійна швидкість рухомого об'єкта противника;

$\beta_{\text{вх}}$  – азимут виходу рухомого об'єкта противника на межу спостереження ( $0 \leq \beta_{\text{вх}} \leq 2\pi$ );

$\alpha$  – кут входу рухомого об'єкта противника в зону спостереження, кут між напрямком руху рухомого об'єкта противника та дотичною у точці входу рухомого об'єкта противника у зону спостереження ( $0 \leq \alpha \leq \pi$ );

$\beta_{\text{вих1}} = \beta_{\text{вх}} - 2\alpha$  – азимут виходу противника із зони спостереження у випадку, коли рухомий об'єкт противника рухається назустріч напрямку огляду (випадок 1);

$\beta_{\text{вих2}} = \beta_{\text{вх}} + 2\alpha$  – азимут виходу противника із зони спостереження, коли рухомий об'єкт противника рухається у напрямку, що співпадає із напрямком огляду (випадок 2).

Параметри  $\beta_{\text{вх}}$  і  $\alpha$  є незалежними випадковими величинами, що розподілені за рівномірними законами  $f(\beta_{\text{вх}})$  і  $\varphi(\alpha)$ :

$$f(\beta_{\text{вх}}) = \begin{cases} \frac{1}{2\pi}, & \beta_{\text{вх}} \in [0, 2\pi], \\ 0, & \beta_{\text{вх}} \notin [0, 2\pi]; \end{cases} \quad (2)$$

$$\varphi(\alpha) = \begin{cases} \frac{1}{\pi}, & \alpha \in [0, \pi], \\ 0, & \alpha \notin [0, \pi]. \end{cases} \quad (3)$$

Необхідно визначити ймовірність перетину точки знаходження рухомого об'єкта противника променем засобу спостереження за один період огляду зони спостереження в залежності від кутової швидкості огляду простору  $\omega$ , періоду огляду  $T_0$  та швидкості руху рухомого об'єкта противника  $V$ .

Час знаходження рухомого об'єкта противника у зоні спостереження дорівнює

$$T(\alpha) = \frac{2R \sin \alpha}{V}. \quad (4)$$

У випадку 1, коли рухомий об'єкт противника виходить на межу зони спостереження на азимуті  $\beta_{\text{вх}}$  і рухається назустріч напрямку огляду час досягнення променем точки виходу рухомого об'єкта противника із зони спостереження визначається за формулою:

$$T_1(\alpha) = \frac{\beta_{\text{вих1}}(\alpha)}{\omega} = \frac{\beta_{\text{вх}} - 2\alpha}{\omega}. \quad (5)$$

Якщо за цей час рухомий об'єкт противника встигає вийти із зони спостереження, тобто  $T_1(\beta_{\text{вх}}, \alpha) > T(\alpha)$ , то виявлення цілі неможливе. У протилежному випадку, а саме

$$T_1(\beta, \alpha) = \frac{\beta_{\text{вих1}}(\alpha)}{\omega} = \frac{\beta_{\text{вх}} - 2\alpha}{\omega} \leq \frac{2R \sin \alpha}{V} = T(\alpha), \quad (6)$$

виявлення рухомого об'єкта противника можливе. При досить малих азимутах входу виявлення можливе, однак, із збільшенням величини  $\beta_{\text{вх}}$  при деякому значенні  $\beta_{\text{вх}} = \beta_{\text{max1}}$  виявлення стає неможливим.

У випадку 2, коли рухомий об'єкт противника виходить на межу зони спостереження на азимуті  $\beta_{\text{вх}}$  і рухається у напрямку, що співпадає із напрямком огляду, час досягнення променем точки виходу рухомого об'єкта противника із зони спостереження дорівнює

$$T_2(\alpha) = \frac{\beta_{\text{вих2}}(\alpha)}{\omega} = \frac{\beta_{\text{вх}} + 2\alpha}{\omega}. \quad (7)$$

Якщо за цей час рухомий об'єкт противника встигає вийти із зони спостереження, тобто

$$T_2(\beta_{\text{вх}}, \alpha) > T(\alpha),$$

то виявлення цілі неможливе.

У протилежному випадку виявлення рухомого об'єкта противника можливе:

$$T_2(\beta, \alpha) = \frac{\beta_{\text{вих}2}(\alpha)}{\omega} = \frac{\beta_{\text{вх}} + 2\alpha}{\omega} \leq \frac{2R \sin \alpha}{V} = T(\alpha). \quad (8)$$

При досить малих азимутах входу, починаючи з  $\beta_{\text{вх}} = 0$ , виявлення можливе, однак, із збільшенням величини  $\beta_{\text{вх}}$  при деякому значенні  $\beta_{\text{вх}} = \beta_{\text{макс}2}$  виявлення стає неможливим. Приведемо нерівності (6) та (8) до такого вигляду:

для випадку 1:

$$\beta_{\text{вх}} \leq \frac{2\omega R \sin \alpha}{V} + 2\alpha = \omega k \sin \alpha + 2\alpha,$$

для випадку 2:

$$\beta_{\text{вх}} \leq \frac{2\omega R \sin \alpha}{V} - 2\alpha = \omega k \sin \alpha - 2\alpha,$$

де  $k = \frac{2R}{V}$ .

Можливі значення азимута виходу рухомого об'єкта противника на межу спостереження  $\beta_{\text{вх}}$  та кута входу рухомого об'єкта противника в зону спостереження  $\alpha$  обмежені співвідношеннями:

$$0 \leq \beta_{\text{вх}} \leq 2\pi,$$

$$0 \leq \alpha \leq \pi.$$

При цьому промінь перетинає точку знаходження рухомого об'єкта противника, якщо виконуються умови:

у випадку 1:

$$0 \leq \beta_{\text{вх}} \leq \omega k \sin \alpha + 2\alpha = f_1(\omega k, \alpha);$$

у випадку 2:

$$0 \leq \beta_{\text{вх}} \leq \omega k \sin \alpha - 2\alpha = f_2(\omega k, \alpha).$$

Нехай  $\alpha_{\text{кр}1}$ ,  $\alpha_{\text{кр}2}$ ,  $\alpha_{\text{кр}3}$  є коренями рівнянь

$$f_1(\omega, \alpha) = \omega k \sin \alpha + 2\alpha = 2\pi; \quad (9)$$

$$f_2(\omega, \alpha) = \omega k \sin \alpha - 2\alpha = 2\pi; \quad (10)$$

$$f_2(\omega, \alpha) = \omega k \sin \alpha - 2\alpha = 0. \quad (11)$$

Значимо, що при  $\omega k = \pi$   $\alpha_{\text{кр}1} = \pi / 2$ , при  $\omega k > \pi$   $\alpha_{\text{кр}1} < \pi / 2$ .

У випадку, коли  $\omega k < \pi$  рівняння (9) не має рішення.

При  $\omega k = 3\pi$   $\alpha_{\text{кр}2} = \pi / 2$ , а при  $k > 3\pi$   $\alpha_{\text{кр}2} < \pi / 2$ .

У випадку, коли  $k < 3\pi$ , рівняння (10) не має рішення.

При  $\omega k = \pi$   $\alpha_{\text{кр}3} = \pi / 2$ .

Якщо ж  $\omega k > \pi$ , то рівняння (11) не має рішення.

Тепер ймовірність перетину променем засобу спостереження рухомого об'єкта противника за один період огляду зони спостереження в залежності від кутової швидкості огляду простору  $\omega$ , періоду огляду  $T_0$ , лінійної швидкості руху рухомого об'єкта противника  $V$  та значення коефіцієнта  $k$  можна визначити за формулами:

$$P(\omega) = \begin{cases} P_1(\omega), & \omega k < \pi; \\ P_2(\omega), & \pi \leq \omega k < 3\pi; \\ P_3(\omega), & \omega k \geq 3\pi, \end{cases}$$

$$P_1(\omega) = \frac{I_1(\omega)}{2\pi^2}, \quad \omega k < \pi; \quad (12)$$

$$P_2(\omega) = \frac{I_1(\omega)}{2\pi^2} + \frac{\pi / 2 - \alpha_{\text{кр}1}}{\pi} + \frac{I_2(\omega)}{2\pi^2}, \quad \pi \leq \omega k < 3\pi;$$

$$P_3(\omega) = \frac{I_1(\omega)}{2\pi^2} + \frac{\alpha_{\text{кр}2} - \alpha_{\text{кр}1}}{\pi} + \frac{I_2(\omega)}{2\pi^2}, \quad \omega k \geq 3\pi;$$

$$I_1(\omega) = \omega k (1 - \cos(\alpha_{\text{кр}1}(\omega))) + \alpha_{\text{кр}1}^2(\omega);$$

$$I_2(\omega) = \omega k (\cos(\alpha_{\text{кр}2}(\omega)) - \cos(\alpha_{\text{кр}3}(\omega))) - \alpha_{\text{кр}3}^2(\omega) + \alpha_{\text{кр}2}^2(\omega).$$

Умовна ймовірність виявлення рухомого об'єкта противника спостерігачем (чатовим, постом спостереження, патрулем) при умові, що між ними у плинні одного періоду огляду є один тактичний контакт тривалістю  $\Delta t$  може бути визначена за формулою:

$$P_0 = 1 - e^{-\gamma \Delta t}, \quad (13)$$

де  $\gamma$  – миттєва ймовірність виявлення рухомого об'єкта противника,

$\Delta t = \Delta\beta / \omega$  – тривалість візуального контакту спостерігача із рухомим об'єктом противника у одному періоді огляду,

$\omega$  – кутова швидкість огляду зони спостереження.

Значення миттєвої ймовірності виявлення рухомого об'єкта противника  $\gamma$  може бути оцінено величиною, оберненою до часу  $\Delta T$ , який потрібен спостерігачеві для огляду і вивчення місцевості у межах променя, що має ширину  $\Delta\beta$ , з метою прийняття достовірного рішення про наявність чи відсутність ознак рухомого об'єкта противника у даному напрямку у всьому діапазоні дальності – від межі дальньої зони спостереження до найближчої точки, тобто  $\gamma = 1 / \Delta T$ .

Тоді безумовна ймовірність виявлення рухомого об'єкта противника спостерігачем за один період огляду зони спостереження може бути обчислена за формулою:

$$P_B(\omega) = (1 - \exp(-\gamma\Delta\beta / \omega))P(\omega). \quad (14)$$

Припустимо, що ймовірність виявлення противника одним спостерігачем  $P_B(\omega)$  не залежить від ймовірності виявлення противника іншим спостерігачем, тоді ймовірність виявлення противника силами охорони  $P_{CO}$  дорівнює добутку ймовірностей виявлення противника кожним спостерігачем (чатовим, постом спостереження, патрулем):

$$P_{CO} = \prod_{j=1}^n P_B(\omega). \quad (15)$$

Ймовірність виявлення противника  $P_B$  являє собою добуток ймовірностей  $P_{TZO}$  та  $P_{CO}$ :

$$P_B = P_{TZO} \cdot P_{CO}. \quad (16)$$

### Висновок

Таким чином, удосконалена відома математична модель виявлення диверсійно-розвідувальних сил противника при охороні важливих державних об'єктів, яка враховує вплив на ефективність підсистеми виявлення всіх її складових елементів.

### Список літератури

1. Боровский А.С. Приближенная оценка защищенности потенциально опасных объектов. Структурные параметры защищенности объектов [Текст] /

А.С. Боровский, А. Д. Тарасов // Программные продукты и системы. – Тверь: НИИ «Центрпрограммсистем», 2013. – № 3 (103). – С. 235-243.

2. Волхонский В.В. К вопросу повышения вероятности обнаружения несанкционированного проникновения на охраняемый объект [Текст] / В. В. Волхонский // Вестник Воронежского института МВД России. – Воронеж: ВИМВДР, 2011. – № 4. – С. 35-44.

3. Быстров С.Ю. Анализ и оптимизация систем физической защиты особо важных объектов [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01 / С.Ю. Быстров. – Пенза, 2004. – 21 с.

4. Петров И.Н. Вероятностная модель системы физической защиты объекта транспортной инфраструктуры [Текст] / И.Н. Петров, А.Д. Самсонов // Научный вестник. – М.: ГосНИИГА, 2012. – № 2. – С. 131-141.

5. Мелик-Адамова М.Л. Технические средства охраны [Текст]: Учебник / М.Л. Мелик-Адамова, Н.В. Андрианова. – М.: ВИПТШ МВД СССР, 1978. – С. 11-18.

6. Довбня В.В. Комплекс математических моделей для назначения району блокирования незаконных збройних формувань та параметрів системи спостереження рубежем блокування [Текст] / В.В. Довбня, І.О. Кириченко // Системи озброєння і військова техніка. – 2007. – № 3(11). – С. 34-41.

Надійшла до редколегії 25.12.2014

Рецензент: д-р військ. наук, проф. Г.А. Дробаха, Національна академія Національної гвардії України, Харків.

### УСОВЕРШЕНСТВОВАНАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЫЯВЛЕНИЯ ДИВЕРСИОННО-РАЗВЕДЫВАТЕЛЬНЫХ СИЛ ПРОТИВНИКА ПРИ ОХРАНЕ ВАЖНЫХ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

В.А. Евсеев

Проанализированы известные математические модели обнаружения диверсионно-разведывательных сил противника при охране важных государственных объектов. Определены составляющие подсистемы обнаружения системы охраны важных государственных объектов. Приведены способы расчета эффективности каждой составляющей подсистемы обнаружения системы охраны важных государственных объектов. Предложена усовершенствованная математическая модель выявления диверсионно-разведывательных сил противника при охране важных государственных объектов.

**Ключевые слова:** важный государственный объект, диверсионно-разведывательные силы противника.

### IMPROVED MATH MODEL OF SABOTAGE AND RECONNAISSANCE ENEMY'S FORCES DETECTING DURING THE PROTECTION OF KEY INFRASTRUCTURE

V.A. Evseev

Analyzed known math models of sabotage and reconnaissance enemy's forces detecting during the protection of key infrastructure. Defined components of the detection's subsystem of the key infrastructure's security system. Added ways of calculating the efficiency of each component of the detection's subsystem of the key infrastructure's security system. Offered the improved math model of sabotage and reconnaissance enemy's forces detecting during the protection of key infrastructure.

**Keywords:** key infrastructure, sabotage and reconnaissance enemy's forces.