

УДК 356.13:654.9

**Андрій ДОБРОВОЛЬСЬКИЙ,**  
*кандидат технічних наук,  
Національна академія Державної прикордонної служби  
України імені Богдана Хмельницького,  
м. Хмельницький*

**Олександр ВОЛОХ,**  
*кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,  
Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка,  
м. Кам'янець-Подільський*

**Сергій ТЯГАЙ,**  
*кандидат військових наук,  
Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка,  
м. Кам'янець-Подільський*

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СИГНАЛІЗАЦІЙНИХ ЗАСОБІВ ОХОРОНИ ЛОКАЛЬНИХ ДІЛЯНОК З ПІДВИЩЕНОЮ ІНФОРМАЦІЙНОЮ ЗДАТНІСТЮ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ КОНТРОЛЮ КОРДОНУ**

*Розроблено методика, яка дозволяє оцінити вплив сигналізаційних засобів охорони локальних ділянок з підвищеною інформаційною здатністю на ефективність охорони кордону. Запропонований підхід щодо оцінки ефективності охорони кордону з використанням сигналізаційних засобів охорони локальних ділянок з підвищеною інформаційною*

© Добровольський А., Волох О., Тягай С.

здатністю дозволяє це здійснити шляхом обчислювального експерименту, який є альтернативою до натурного експерименту зі своїми незручностями та обмеженнями.

**Ключові слова:** інформаційна здатність, сигналізаційний засіб охорони локальних ділянок, імовірність виконання завдання з охорони кордону.

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Загрози на державному кордоні України та на лінії розмежування з тимчасово окупованими територіями виявили гостру потребу в забезпеченні надійної охорони окремих локальних ділянок та об'єктів військового призначення. Одним з основних видів технічних засобів охорони, які використовуються на сьогодні, є сигналізаційні засоби охорони локальних ділянок, що призначені для виявлення факту порушення і які не визначають при цьому напрямку руху правопорушника, дальності до нього та його координат. Відповідно, подібні засоби мають недостатню інформаційну здатність. Модернізація діючих сигналізаційних засобів охорони, розширення їх інформаційних можливостей може забезпечити більш ефективний контроль ділянок кордону та локальних об'єктів, а також упередження прихованого нападу.

До прикладу, американські фахівці дійшли висновку, що використання подібних сигналізаційних, а саме розвідувально-сигналізаційних засобів батальйоном забезпечує можливість ведення спостереження за площею вдвічі більшою, ніж район спостереження батальйону, що не має таких засобів, крім цього, використання такої техніки дозволяє в 2–4 рази зменшити втрати. Висока ефективність розвідувально-сигналізаційних засобів дала поштовх до розробки подібних засобів у багатьох промислово розвинутих країнах світу. На даний час у світі існує понад 100 типів розвідувально-сигналізаційних засобів з різними принципами виявлення об'єктів. Перспективним у розвитку подібних засобів є покращення виявлення потенційних цілей, а також визначення їх параметрів руху та місцеположення. На сьогодні вже існують такі сигналізаційні засоби охорони (контролю) локальних ділянок іноземного виробництва з підвищеною інформаційною

здатністю, що забезпечують визначення параметрів руху порушника та його місцеположення [1–3].

Відповідно до вищезазначеного це обумовило розробку теоретичних положень і технічних рішень для забезпечення підвищення інформаційної здатності діючих зразків сигналізаційних засобів охорони локальних ділянок, які використовуються підрозділами охорони кордону [4, 5]. Однак наскільки ефективні такі засоби, можна встановити лише після того, як саме вони впливають на якість охорони державного кордону.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано вирішення даної проблеми та на які опираються автори.** Для подібної перевірки ефективності охорони кордону на ділянці відповідальності прикордонного підрозділу під час застосування нових або модернізованих зразків сигналізаційних засобів охорони локальних ділянок можливим є використання методики, що потребує обов'язкової проведення натурального експерименту [6]. Однак подібна методика може дозволити оцінити ефективність охорони кордону тільки через певний час і тільки тоді, коли прикордонні підрозділи будуть оснащені новими (модернізованими) зразками технічних засобів охорони.

**Метою статті** є розробка методики проведення обчислювального експерименту щодо оцінки ефективності охорони кордону при використанні сигналізаційних засобів охорони локальних ділянок з підвищеною інформаційною здатністю, яка в свою чергу не потребує використання статистичних даних.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Можливим варіантом визначення, чи підвищилась ефективність охорони кордону на ділянці відповідальності прикордонного загону при використанні нових (модернізованих) зразків технічних засобів охорони, зокрема і сигналізаційних засобів охорони локальних ділянок, є обробка статистичної інформації. Вона являє собою дані, що стосуються затриманих правопорушників за допомогою сигналізаційних засобів за певний період ( $x_i$ ) (наприклад календарний рік), а також дані за наступний період про затримання правопорушників після того, як відділи при-

кордонної служби були оснащені новими (модернізованими) зразками технічних засобів охорони кордону ( $y_i$ ). Оцінка ефективності охорони кордону у випадку використання нових (модернізованих) зразків технічних засобів охорони, наприклад на рівні значущості 0,05 зводиться до виконання таких операцій [6]:

1. Відсоток затриманих за допомогою технічних засобів охорони визначається за допомогою таблиці (табл. 1), де  $x_i$  – відсоток затриманих правопорушників за певний період (рік), коли відділи прикордонної служби оснащені старими зразками ТЗОК,  $y_i$  – відсоток затриманих правопорушників за певний період (рік), коли відділи прикордонної служби оснащені новими (модернізованими) зразками технічних засобів охорони кордону.

Таблиця 1

**Відсоток затриманих правопорушників на ділянці прикордонного загону за допомогою сигналізаційного засобу охорони кордону**

| Відділи прикордонної служби | 1   | 2    | 3     | 4    | 5   | 6     | 7    | 8    |
|-----------------------------|-----|------|-------|------|-----|-------|------|------|
| $x_i$                       | 0,3 | 0,46 | 0,73  | 0,51 | 0,2 | 0,44  | 0,6  | 0,65 |
| $y_i$                       | 0,4 | 0,5  | 0,7   | 0,65 | 0,4 | 0,4   | 0,71 | 0,74 |
| $d_i = y_i - x_i$           | 0,1 | 0,04 | -0,03 | 0,14 | 0,2 | -0,04 | 0,11 | 0,09 |

2. Обчислимо різницю:  $d_i = y_i - x_i$ , що зазначена в таблиці 1.

3. Обчислимо суми:  $\sum_{i=1}^8 d_i = 0,61$ ;  $\sum_{i=1}^8 d_i^2 = 0,0939$ .

4. Знаходимо вибіркове середнє:  $\bar{d} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^8 d_i = 0,07625$ .

5. Знаходимо середнє квадратичне відхилення:

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \left( \sum_{i=1}^8 d_i^2 - \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^8 d_i \right)^2 \right)} = 0,0823.$$

6. Перевіряємо гіпотезу  $H_0: a_d = 0$  (нулю дорівнює генеральне середнє) та конкуруючу гіпотезу  $H_1: a_d > 0$ .

$$7. \text{ Знаходимо статистичне значення: } T_{cm} = \frac{\bar{d}\sqrt{8}}{S} = 2,621.$$

8. З таблиці розподілення Стьюдента для односторонньої області за рівнем значущості 0,05 та числом ступенів свободи  $k = n - 1$  знайдемо  $t_{кр}$ .

9. Оскільки  $T_{cm} > t_{кр}$ , необхідно відкинути нульову гіпотезу та визнати, що ефективність охорони кордону підвищилась.

Як вже було вище зазначено подібна методика може дозволити оцінити ефективність охорони кордону тільки через певний час і тільки тоді, коли прикордонні підрозділи будуть оснащені новими (модернізованими) зразками технічних засобів охорони.

Альтернативна методика являє собою виконання обчислювального експерименту, що не потребує використання статистичних даних. Сутність її полягає в тому, що на ефективність охорони кордону (під нею розуміється ймовірність виконання завдання з охорони державного кордону на ділянці відділу прикордонної служби) впливає безпосередньо інформаційна здатність сигналізаційних засобів охорони локальних ділянок кордону, що використовуються (старого парку або з підвищеною інформаційною здатністю). Під інформаційною здатністю розуміється інформація про просторово-часові параметри цілі (напрямок і швидкість руху, її координати та вид), які будуть впливати на виконання завдання з охорони державного кордону. Послідовність дій у даній методиці є такою.

1. Визначається ймовірність виконання завдання з охорони кордону на ділянці відділу залежно від кількості різноманітних елементів побудови охорони кордону:

$$P_{одк} = 1 - \left( 1 - P_{опн}^{вук} \cdot \frac{l_{опн}}{L} \right)^n \cdot \left( 1 - P_{дінс}^{вук} \cdot \frac{l_{дінс}}{L} \right)^n \cdot \left( 1 - P_{мвс}^{вук} \cdot \frac{l_{мвс}}{L} \right), \quad (1)$$

де  $P_{опн}^{вук}$ ,  $P_{дінс}^{вук}$ ,  $P_{мвс}^{вук}$  – ймовірність виконання завдання з охорони кордону елементом побудови охорони кордону;  $l_{опн}$ ,  $l_{дінс}$ ,  $l_{мвс}$  – протяжність ділянок, що охоро-

няються відповідними елементами побудови охорони кордону;  $L$  – протяжність ділянки відповідальності відділу прикордонної служби;  $n$  – кількість відповідних елементів побудови охорони кордону.

2. Визначається ймовірність виконання завдання з охорони кордону відповідним елементом побудови охорони кордону:

$$P_i^{\text{вик}} = P_i^{\text{виявл}} \cdot P_i^{\text{нр}}, \quad (2)$$

де  $P_i^{\text{виявл}}$  – імовірність виявлення правопорушника елементом побудови охорони державного кордону;  $P_i^{\text{нр}}$  – імовірність правильного рішення щодо виконання завдання, на яку впливає інформаційна здатність.

У таблиці 2 зазначені ймовірності виявлення правопорушника відповідним елементом побудови охорони кордону [7].

Таблиця 2

### Імовірнісні характеристики різних елементів побудови охорони кордону

| Елементи побудови охорони кордону   | Ймовірності виявлення правопорушника, $P_i^{\text{виявл}}$ |
|---|--|
| Окремий прикордонний наряд без ТЗОК   | 0,7  |
| Дільничний інспектор прикордонної служби                                    | 0,7  |
| Спільний наряд з МВС  | 0,7  |
| Окремий прикордонний наряд, що використовує сигналізаційний засіб “Хмель-1” | 0,85   |
| Окремий прикордонний наряд, що використовує сигналізаційний засіб РЛД-73    | 0,95   |
| Окремий прикордонний наряд, що використовує бінокль Б-8х30                  | 0,93   |

|   |      |
|---|------|
| Окремий прикордонний наряд, що використовує тепловізор (мобільний тепловізійний комплекс / переносний тепловізор) | 0,99 |
| Окремий прикордонний наряд, що використовує переносну РЛС   | 0,95 |

3. Визначається ймовірність прийняття правильного рішення щодо виконання завдання:

$$P_i^{np} = 1 - \frac{1}{1+I}, \quad (3)$$

де  $I$  – інформаційна здатність технічного засобу охорони кордону ( $I = 1 \dots \infty$ ).

4. Визначається інформаційна здатність сигналізаційних засобів охорони кордону [8]:

$$I = K \cdot \log_2(N_T N_W N_D), \quad (4)$$

де  $K$  – коефіцієнт запам'ятовування ( $K = 1/0$  – інформація про факт порушення запам'ятовується/не запам'ятовується);  $N_T$  – число часових ступенів свободи;  $N_W$  – число просторових ступенів свободи;  $N_D$  – кількість станів відліків (видів інформаційних ступенів свободи).

Число ступенів свободи для часового сигналу визначається числом відліків на певному часовому інтервалі [9]:

$$N_T = \frac{T}{\Delta t} + 1, \quad (5)$$

де  $T$  – часовий інтервал спостереження;  $\Delta t$  – інтервал дискретизації.

Одиниця додається як результат наявності незалежного параметру, що визначає рівень відліку, відносно якого задані всі значення складових часового сигналу.

Однак число часових ступенів свободи необхідно враховувати там, де для формування сигналу тривоги використовуються часові параметри, наприклад час затримки прийнятого сигналу стосовно випроміненого. У сигналізаційних засобах охорони не використовуються часові характеристики сигналу, тим самим в інформаційній здатності число часових ступенів свободи буде  $N_T = 1$ . Найбільше розпо-

всюдження в технічних засобах охорони, зокрема в сигналізаційних, отримало використання просторових параметрів. У цьому випадку число просторових ступенів свободи дорівнює [9]:

$$N_w = \frac{L}{\Delta L}, \quad (6)$$

де  $L$  – довжина ділянки, що охороняється за відповідним ортогональним напрямком;  $\Delta L$  – роздільна здатність або похибка у вимірюванні за відповідним напрямком.

Крім того, враховується число станів відліків  $N_D$ , що характеризують вид виявлення (бінарне, багатоальтернативне).

Беручи до уваги те, що сигналізаційні засоби охорони локальних ділянок старого парку володіють тільки бінарним виявленням, тобто вказують лише на факт порушення ( $N_T = 1$ ,  $N_w = 1$ ,  $N_D = 2$ ), то інформаційна здатність таких засобів дорівнює  $I = 1$  біт. Відповідно до виразу (3) ймовірність прийняття правильного рішення щодо виконання завдання з охорони кордону у даному випадку буде дорівнювати  $P_i^{np} = 0,5$  (не має достатньої інформації про просторово-часові параметри порушника), що відповідно буде впливати на ймовірність виконання завдання відповідним елементом побудови охорони кордону.

У разі використання сигналізаційних засобів охорони локальних ділянок з підвищеною інформаційною здатністю  $P_i^{np} \rightarrow 1$ . Що стосується інших технічних засобів охорони кордону (тепловізори, переносні РЛС, оптичні засоби спостереження), що використовуються окремими прикордонними нарядами, то  $P_i^{np} \approx 1$ , оскільки ці засоби дозволяють визначати не тільки факт порушення, але ще напрямок руху порушника та дальність до нього, координати та здійснювати його класифікацію за типом.

5. Визначити ймовірність виконання завдання з охорони кордону на ділянці підрозділу охорони кордону.

Візьмемо, наприклад, відділ прикордонної служби, який здійснює охорону кордону протяжністю 35 км шляхом несення служби прикордонними нарядами на певних локальних ділянках. При цьому прикордонні наряди обов'язково з метою посилення служби використовують сигналізаційні засоби охорони локальних ділянок, тепловізори, оптичні засоби або інші технічні засоби охорони кордону. Ураховуючи вплив інформаційної здатності сигналізаційних засобів охорони, відповідно до формул (1)–(4), імовірність виконання завдання з охорони кордону буде така, як зазначено в табл. 3.

Таблиця 3

## Імовірності виконання завдання з охорони кордону

| Елементи побудови охорони кордону на ділянці підрозділу |  |            | При використанні сигналізаційних засобів старого парку            |             | При використанні сигналізаційних засобів з підвищеною інформаційною здатністю (визначається напрямком руху та дальністю до порушника з похибкою 2 м) |             |
|---|--|------------|---|-------------|--|-------------|
| Вид елемента  | Технічний засіб охорони, що використовується відповідним елементом охорони кордону | $l_i$ , км | $P_i^{np}$  | $P_i^{вик}$ | $P_i^{np}$   | $P_i^{вик}$ |
|   |  |            | Загальна протяжність ділянки відповідальності відділу $L = 35$ км |             |  |             |
| Окремий прикордонний наряд                              | “Хмель-1”  | 6          | 0,5   | 0,425       | 0,93   | 0,79        |
|   |  | 6          | 0,5   | 0,425       | 0,93   | 0,79        |
|   |  | 6          | 0,5   | 0,425       | 0,93   | 0,79        |
|   | Переносний тепловізор  | 5          | $P_{опт}^{вик} = 0,99$  |             | –  |             |
|   |  | 5          | $P_{опт}^{вик} = 0,99$  |             | –  |             |
|   | Оптичний засіб (бінокль Б-8х30)  | 4          | $P_{опт}^{вик} = 0,93$  |             | –  |             |

|  |  |   |                                      |     |
|--|--|---|--------------------------------------|-----|
| Дільничний інспектор прикордонної служби |  | 3 | $P_{\text{дінк}}^{\text{вик}} = 0,7$ | -   |
| $P_{\text{одк}}$                         |  |   | 0,5                                  | 0,6 |

**Висновки.** У результаті проведеного дослідження розроблено методику, яка дозволяє оцінити вплив інформаційної здатності сигналізаційних засобів охорони локальних ділянок на ефективність охорони кордону. Так за результатом обчислювального експерименту встановлено, що ймовірність виконання завдання з охорони державного кордону на ділянці прикордонного підрозділу у разі використання елементами побудови охорони кордону сигналізаційних засобів з підвищеною інформаційною здатністю може збільшитися, але це в свою чергу також залежить від кількості елементів побудови охорони кордону та технічних засобів охорони, що використовують. Перевага даної методики полягає в тому що вона є альтернативою до натурального експерименту, який є затратним.

**Перспективи подальших досліджень у даному напрямку.** Для перевірки адекватності запропонованої методики необхідно оснащення конкретного відділу прикордонної служби удосконаленими сигналізаційними засобами охорони та зіставлення якості охорони кордону.

### Список використаної літератури

1. Максименков А. Система разведывательно-сигнализационных приборов “Рембасс” / А. Максименков // Зарубежное военное обозрение. – № 5. – С. 32–38.
2. Извещатель охранный радиоволновой линейный “ТОРОС”. Техническое описание и руководство по эксплуатации [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://start-7.ru/dokumentatsiya>.
3. Краб-1, Краб-1М – Проводноволновое средство обнаружения [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.techportal.ru/material/?check=2&id=1383>.

4. Пат. 92365 UA, МПК G08B 13/12 (2006.01). Спосіб визначення дальності сигналізаційним приладом обривного типу / Добровольський А. Б., Катеринчук, І. С., Лисий М. І., Шинкарук О. М. ; власник Лисий М. І. – № u2014 02982 ; заявл. 24.03.14 ; опубл. 11.08.2014, Бюл. №9, 2014 р.

5. Добровольський А. Б. Підвищення інформаційної здатності сигналізаційних засобів охорони державного кордону [Електронний ресурс] / А. Б. Добровольський // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. – Вип. № 2 (2014). – Режим доступу : <http://praci.vntu.edu.ua/issue/archive>.

6. Поляков С. А. Введение в погранометрику / С. А. Поляков, В. И. Борисов, В. В. Шумов. – М. : Пограничная академия ФСБ России, 2012. – 667 с.

7. Кукін І. В. Удосконалення варіантів організації служби прикордонних нарядів у районах розташування місцевих пунктів пропуску / І. В. Кукін, І. П. Мордас // Збірник наукових праць Нац. акад. Держ. прикордон. служби України ім. Б. Хмельницького. – Хмельницький : Вид-во НАДПСУ, 2013. – № 19. – С. 37–49. – Інв. 1311-в, таємно.

8. Добровольський А. Б. Модель оцінки ефективності технічних засобів охорони кордону при врахуванні інформаційних характеристик / А. Б. Добровольський // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету ім. Тараса Шевченка / за ред. С. В. Ленкова. – Вип. № 38 (2012). – С. 25–30.

9. Чернышев М. Н. Исследование и разработка методов преобразования информации при формировании изображения нарушителя в электромагнитных волнах в технических системах охраны : дисс. ... канд. техн. наук : 05.13.17 / Чернышев Максим Николаевич. – Пенза, 2011. – 190 с.

*Рецензент – доктор технічних наук, професор Лисий М. І.*

*Стаття надійшла до редакції 14.05.2016*

**Добровольский А. Б., Волох А., Тягай С. Исследование влияния сигнализационных средств охраны локальных участков с повышенной информационной способностью на эффективность контроля границы**

Разработано методику, которая позволяет оценить влияние сигнализационных средств охраны локальных участков с повышенной информационной способностью на эффективность охраны границы.

Предложенный подход по оценке эффективности охраны границы с использованием сигнализационных средств охраны локальных участков с повышенной информационной способностью позволяет это осуществить с помощью вычислительного эксперимента, который является альтернативой к натурному эксперименту со своими неудобствами и ограничениями.

**Ключевые слова:** *информационная способность, сигнализационное средство охраны локальных участков, вероятность выполнения задачи по охране границы.*

*Dobrovolskyi A. B., Volokh O., Tiahai S. Impact investigation of sensor detectors of local zones guard with enhanced information effectiveness on border control efficiency*

Menaces at the state border of Ukraine and in delimitation line with temporarily occupied territories have revealed a burning need in securing of enhanced guard of particular local zones and military facilities. One of the main technical guard means used nowadays is sensor detector of local zones guard intended for revealing of infringement act and without detecting of the lawbreaker movement axis, distance to him or his co-ordinates. Consequently, similar means have insufficient information effectiveness. Modernization of the existing sensor guard detectors through enhancing of their information effectiveness may secure more efficient control over border zones and local sites as well as prevention of a covert attack. Thus, for instance, American experts arrived at conclusion that using similar sensor detectors, namely intelligence and sensor detectors by a battalion enables to surveil an area twice as large rather than the surveillance area of a battalion that does not have such facilities, besides using such equipment allows 2-4 times to decrease losses. High efficiency of intelligence and sensor detectors gave an impulse to development of similar facilities in many industrialized countries of the world. At the moment there are 100 kinds of intelligence and sensor detectors with different principles of objects determination in the world. Prospective in the development of similar facilities is the improvement of potential targets determination as well as defining of their motion and location parameters.

The abovementioned stipulated the development of theoretical background and technical solutions for securing of enhanced information effectiveness of existing samples of sensor detectors of local zones guard which are used by outfits of border control. However, the performance of these facilities may be indicated only after defining of their impact on quality of state border control. Thus this research paper has developed methods which allow to evaluate impact of sensor detectors of local zones guard with enhanced information effectiveness on border control efficiency. The suggested approach regarding evaluation of border control efficiency with the use of sensor detectors of local zones guard with enhanced information effectiveness allows to do it by means of computational experiment which is the alternative of live experiment with its disadvantages and restrictions.

**Keywords:** *information effectiveness, sensor detector of local zones guard, probability of task performance in border control.*