

## ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ, ЩО ПОТРЕБУЮТЬ УРАХУВАННЯ ПРИ СТВОРЕННІ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ НА РОЗПОДІЛ СИЛ І ЗАСОБІВ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОСТАТНЬОГО РІВНЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОХОРОНИ КОРДОНУ НА ДІЛЯНЦІ ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМИ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОГО СПОСТЕРЕЖЕННЯ

Стаття присвячена обґрунтуванню вибору базової методики оцінки ефективності функціонування системи оптико-електронного спостереження, яка б могла бути прийнята за базову модель цієї системи на розподіл сил і засобів для забезпечення достатнього рівня ефективності охорони кордону на ділянці застосування системи, а також визначення тих положень, які потребують урахування у вказаній базовій методиці оцінки ефективності функціонування системи.

У результаті проведеного дослідження встановлено, що в якості базової методики оцінки ефективності функціонування системи оптико-електронного спостереження доцільно прийняти методику, яка базується на ймовірнісному підході опису процесів, що супроводжують функціонування системи оптико-електронного спостереження. Також обґрунтовано, що основними положеннями, які потребують урахування при створенні системи підтримки прийняття рішень на розподіл сил і засобів для забезпечення достатнього рівня ефективності охорони кордону на ділянці застосування системи оптико-електронного спостереження, є: однорідні відносно особливостей функціонування технічних засобів охорони кордону часові періоди; адекватні інтегральні закони розподілу часових періодів, що визначають ймовірність виявлення цілі до її підходу на задану відстань окремими технічними засобами охорони кордону, які входять до складу досліджуваної системи оптико-електронного спостереження; точки «зшивання» різних інтегральних законів розподілу на кінцях вказаних періодів; вплив зміни погоди протягом проміжку часу, що характеризує період організації служби, на функціонування системи; «мертві» зони, які є динамічно змінними в залежності від природних і техногенних умов, які складаються на ділянці відповідальності.

Ключові слова: система підтримки прийняття рішень, ефективність, система оптико-електронного спостереження, технічні засоби охорони, природні умови, техногенні умови.

BOROVYK O.

The National Academy of the State Border Guard Service of Ukraine named after Bohdan Khmelnytskyi

BOROVYK D., CIMBRIQUE D.

Khmelnytsky National University

## SUMMARY REQUIRING REGARDLESS OF CREATION DECISION SUPPORT SYSTEM FOR THE DISTRIBUTION CAPABILITIES TO PROVIDE SUFFICIENT EFFICIENCY OF BORDER REGION OF SYSTEMS FOR OPTO-ELECTRONIC SURVEILLANCE

The article is devoted to the substantiation of the choice of the basic methodology for assessing the effectiveness of the optoelectronic surveillance system, which could be taken as the basic model of this system for the distribution of forces and means to ensure a sufficient level of border protection efficiency. taking into account in the specified basic methodology for assessing the effectiveness of the system.

As a result of the study it was found that as a basic method of assessing the effectiveness of the optoelectronic surveillance system, it is advisable to adopt a method based on a probabilistic approach to describe the processes that accompany the functioning of the optoelectronic surveillance system. It is also substantiated that the main provisions that need to be taken into account when creating a decision support system for the distribution of forces and means to ensure a sufficient level of border protection in the field of optoelectronic surveillance are: homogeneous in terms of features of technical means of border protection time periods; adequate integrated laws of distribution of time periods, which determine the probability of non-detection of the target to its approach to a given distance by certain technical means of border protection, which are part of the studied system of optoelectronic surveillance; points of "stitching" of various integral laws of distribution at the ends of the specified periods; the impact of weather changes over a period of time, which characterizes the period of service organization, on the functioning of the system; "Dead" zones, which are dynamically variable depending on the natural and man-made conditions that arise in the area of responsibility.

Key words: decision support system, efficiency, system of optoelectronic observation, technical means of protection, natural conditions, technogenic conditions.

**Постановка проблеми.** На даний час захист кордонів України, збереження її територіальної цілісності, політичної та економічної незалежності є одним із найважливіших завдань національної безпеки. Можливість його вирішення значною мірою залежить від широкого застосування різноманітних технічних засобів виявлення правопорушників законодавства про державний кордон (ДК). Серед цих засобів особлива роль відводиться технічним засобам охорони кордону (ТЗОК), які використовуються для охорони протяжних ділянок ДК. Номенклатура останніх достатньо широка, на що впливають наступні фактори:

- необхідність забезпечення неперервного функціонування системи інженерно-технічного контролю (СІТК), елементами якої є ТЗОК, в часі та просторі на всій протяжності ДК;
- наявність значної кількості об'єктів, які підлягають виявленню, розпізнаванню та ідентифікації;
- різноманітність і складність умов застосування елементів СІТК через багатofакторні впливи навколишнього (природного і техногенного) середовища.

Різномасштабність наведених факторів призводить до необхідності використання при охороні ДК різних за типом і принципом дії ТЗОК, а також комплексування їх можливостей. Яскравим прикладом такого підходу є застосування в охороні кордону системи оптико-електронного спостереження (СОЕС). Основою цієї системи є інтегровані вежі, на яких встановлені: радіолокаційні станції EL/M-2129 ELTA, електронно-оптичні камери, обладнання передачі даних. Однак ефективність використання цього сучасного обладнання значною мірою залежить від багатьох факторів: місць розташування веж спостереження, їх висоти, рельєфу місцевості, погодних умов, виду цілей. Попередній аналіз результатів оперативно-службової діяльності з застосуванням СОЕС свідчить про недостатню реалізованість потенціалу цієї системи. Для вдосконалення функціонування існуючої СОЕС, оптимізації побудови нових таких систем, а також оптимізації застосування існуючої системи необхідним є формування методики оцінки ефективності СОЕС.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Відсутність аналогів таких систем в Україні, а також відсутність відповідної науково-методичної бази, що стосується такої системи, обумовлює доцільність дослідження питань, пов'язаних не лише з оцінкою ефективності функціонування СОЕС, а й створення системи підтримки прийняття рішень (СППР) на розподіл сил і засобів для забезпечення достатнього рівня ефективності охорони кордону на ділянці застосування СОЕС.

Зважаючи на те, що СОЕС являє собою комплексну систему, яка складається з сукупності веж, елементами яких є різні ТЗОК, оцінка її ефективності залежить від можливості оцінки її складових. Дослідженню питань оцінки ефективності окремих ТЗОК приділена увага в роботі [1]. Однак у цій праці наведені підходи щодо оцінки ефективності ТЗОК, які мають певні обмеження щодо оцінки ефективності функціонування СОЕС. Саме тому у роботах [2–4] досліджено питання оцінки ефективності ТЗОК, загалом, і ТЗОК, які застосовуються в складі СОЕС, зокрема, які адаптовані до комплексних систем спостереження. Однак, як випливає з цих праць, і ці методи та методики мають недоліки, які не дозволяють їх використовувати в повній мірі в СППР на розподіл сил і засобів для забезпечення достатнього рівня ефективності охорони кордону на ділянці застосування СОЕС. Тому актуальним є завдання вибору базової методики оцінки ефективності функціонування СОЕС, яка б могла бути прийнята за базову модель СППР на розподіл сил і засобів для забезпечення достатнього рівня ефективності охорони кордону на ділянці застосування СОЕС, а також визначення тих положень, які потребують урахування у вказаній базовій методиці.

**Метою статті** є вирішення сформульованого вище актуального наукового завдання.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Для досягнення мети дослідження вбачається за доцільне: провести аналіз існуючих підходів до оцінки ефективності ТЗОК, які застосовуються в складі СОЕС; провести аналіз існуючих підходів до оцінки ефективності функціонування СОЕС; порівняти існуючі підходи та виявити переваги та недоліки кожного з них; обґрунтувати вибір базової методики для оцінки ефективності функціонування СОЕС; встановити аспекти, які потребують додаткового відображення в базовій методиці, з позиції подальшого інтегрування методики в якості моделі системи управління базовими моделями СППР на розподіл сил і засобів для забезпечення достатнього рівня ефективності охорони кордону на ділянці застосування СОЕС.

**Аналіз існуючих підходів до оцінки ефективності ТЗОК, які застосовуються в складі СОЕС**

Перший підхід, який заслуговує на увагу, наведений у роботі [2]. Його основні положення наступні.

У якості показника  $W$ , який характеризує ефективність функціонування ТЗОК, застосовується параметр, що враховує просторово-часову модель експлуатації зразка. Такий підхід забезпечує можливість відстеження зміни результативності (корисності) експлуатації зразка в будь-який момент терміну його служби в конкретних умовах навколишнього середовища. Це забезпечується шляхом урахування впливу циклічних процесів зміни його значення протягом доби, року та періоду експлуатації, а також поточного технічного стану.

Ефективність функціонування ТЗОК за досліджуваній період  $t_E$  визначається інтегральним показником корисного ефекту  $W$ , що синтезує в собі миттєвий  $W_M$  (у момент часу  $t_M$ ), добовий  $W_D$  (за час  $t_D$ ) і річний  $W_P$  (за час  $t_P$ ) корисний ефекти.

За миттєвий корисний ефект приймається величина  $W_M$ , що являє собою відношення протяжності  $l$  ділянки ДК заданої ширини до загальної протяжності  $L$  ділянки ДК, що охороняється прикордонним підрозділом, за умови, що зразок забезпечує ймовірність виявлення правопорушення ДК на рівні, не нижче заданої (мінімально допустимої) величини  $P_{дон}$ . Тобто

$$W_M = W_M^{t_M} = \frac{l}{L}. \quad (1)$$

Добовий корисний ефект експлуатації ТЗОК представляється так:

$$W_D = W_D^{t_D} = \int_0^{24} W_M^{t_M} dt_M. \quad (2)$$

На рис. 1 наведена його графічна інтерпретація для ТЗОК, що функціонує цілодобово (сигналізаційний прилад, система, комплекс, тепловізор, радіолокаційна станція) та періодично (камера відеостеження, бінокль, оптико-електронний прилад).

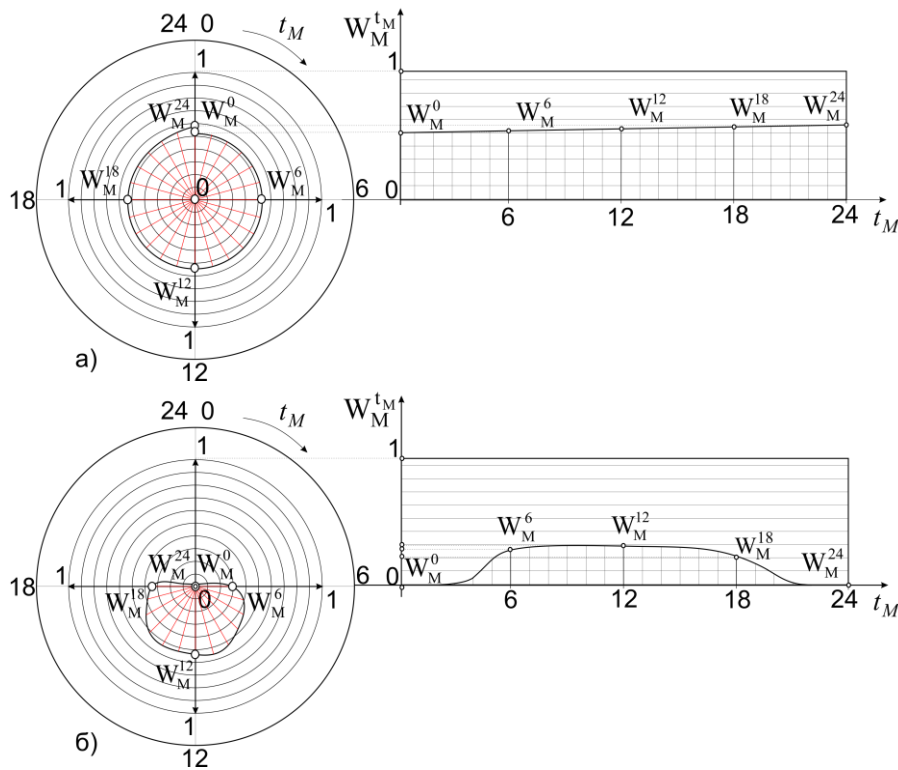


Рис. 1. Графічна інтерпретація добового корисного ефекту  $W_D$  експлуатації зразка ТЗОК:  
 а – ТЗОК, що функціонує цілодобово;  
 б – ТЗОК, функціонування котрого залежить від інтенсивності освітлення;

$W_M^0, W_M^6, W_M^{12}, W_M^{18}, W_M^{24}$  – значення показника  $W_M$  станом на 0, 6, 12, 18, 24 год, відповідно

З урахуванням (1)–(2), річний корисний ефект експлуатації зразка  $W_p$  визначається за допомогою формули

$$W_p = W_p^{t_p} = \int_0^{365} W_D^{t_D} dt_D. \quad (3)$$

На рис. 2 наведена графічна інтерпретація величини  $W_p$  для ТЗОК, що функціонує цілодобово.

На основі наведеного вище, показник ефективності функціонування ТЗОК за досліджуваний період його експлуатації  $t_{cl}$  представляється у вигляді

$$W = \int_0^{t_{cl}} W_p(t_{cl}) dt_E. \quad (4)$$

Графічна інтерпретація величини  $W$  наведена на рис. 3.

Наведений перший підхід щодо визначення інтегрального показника ефективності функціонування ТЗОК  $W$  забезпечує можливість врахування просторово-часової моделі експлуатації зразка ТЗОК і його технічного стану. Другий підхід, який також заслуговує на увагу в контексті досягнення мети даного дослідження, наведений у роботі [3]. Його основні положення наступні.

Для оцінки ефективності ТЗОК процес виявлення цілі розглядається як випадковий процес, а дальність дії засобів спостереження – як випадкова величина, закономірності зміни якої вивчаються за допомогою методів теорії ймовірностей і математичної статистики.

Довільна випадкова величина, в тому числі і дальність дії засобів спостереження, буде цілком описана з ймовірнісної точки зору, якщо буде встановлено закон розподілу, який, наприклад у випадку нормального закону розподілу, характеризується математичним сподіванням  $m_R$  (обумовленим впливом

контрольованих факторів) і середнім квадратичним відхиленням  $\sigma_R$  (обумовленим впливом неконтрольованих факторів).

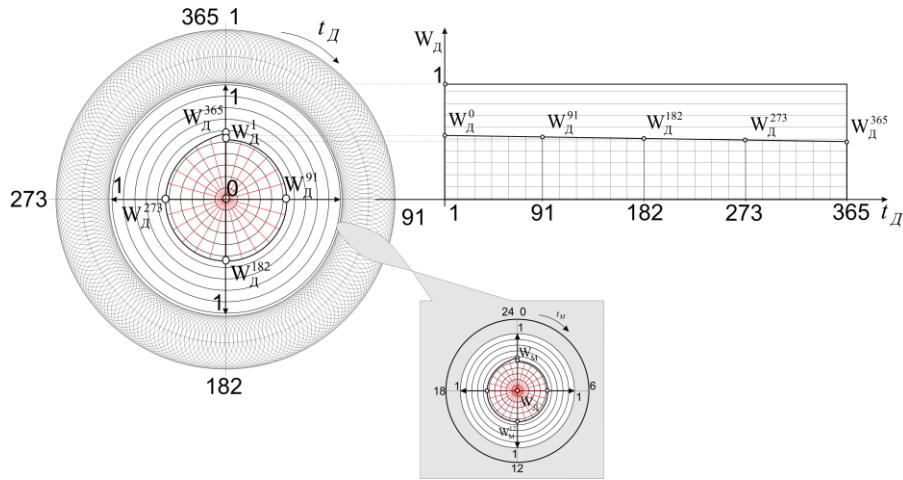


Рис. 2. Графічна інтерпретація річного корисного ефекту  $W_P$  експлуатації зразка ТЗОК, що функціонує цілодобово:  $W_D^1, W_D^{91}, W_D^{182}, W_D^{273}, W_D^{365}$  – значення показника  $W_D$  станом на 1, 91, 182, 273, 365 день року, відповідно.

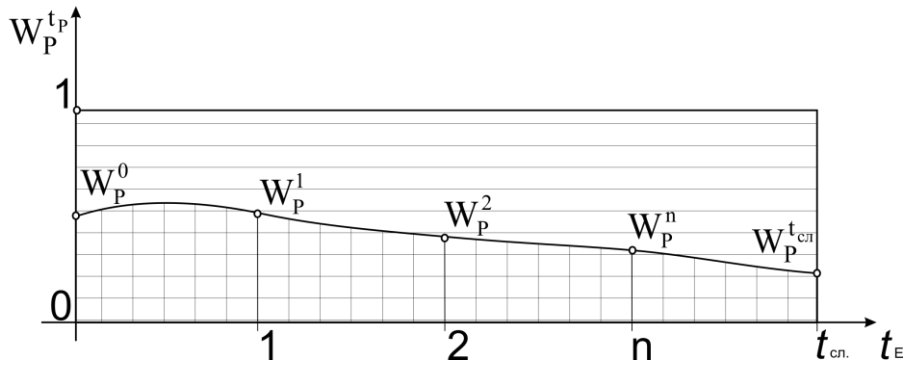


Рис. 3. Графічна інтерпретація інтегрального показника  $W$  за період експлуатації зразка ТЗОК:

$W_P^0, W_P^1, W_P^2, W_P^n, W_P^{t_{сп}}$  – значення показника  $W_P$  за 0, 1, 2, n -й,  $t_{сп}$ -й (останній) рік експлуатації, відповідно;  
 $t_E$  – роки експлуатації ТЗОК,  $0 \leq t_E \leq t_{сп}$ .

Для відшукування величин  $m_R$  і  $\sigma_R$  кожного типу ТЗОК, які є елементами веж СОЕС, можна застосовувати наступний підхід. Доцільно провести масові однорідні випробування, в яких ціль наближається до засобу спостереження, або засіб спостереження наближається до цілі і щоразу фіксувати дальність першого виявлення. Кількість випробувань рівна n. Дальність першого виявлення при i-му випробуванні позначимо через  $R_i$ .

Тоді

$$m_R = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n}, \quad (5)$$

$$\sigma_R = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_i - m_R)^2}{n}}. \quad (6)$$

Слід зазначити, що для достатньо точного визначення закону розподілу дальності дії засобу спостереження зазвичай необхідно 400–500 випробувань.

Встановлено [1], що якщо розглядати виявлення цілі як випадковий процес, який відбувається в достатньо однорідних типових умовах, то розподіл дальності виявлення підпорядковується нормальному закону. Типізація умов передбачає обмеження впливу деяких домінуючих факторів на процес виявлення.

При цьому вважається, що протягом певного проміжку часу деякі фактори, які впливають на процес виявлення, залишаються практично незмінними (наприклад, метеорологічні умови, характер цілі, тип засобу спостереження тощо).

У цьому випадку інтегральний закон розподілу, що характеризує ймовірність невиявлення цілі до її підходу на відстань  $R$ , буде мати вигляд:

$$F(R) = \frac{1}{\sigma_R \sqrt{2\pi}} \int_{R_{\min}}^R e^{-\frac{(R-m_R)^2}{2\sigma_R^2}} dR. \quad (7)$$

У виразі (7)  $R_{\min} = m_R - 3\sigma_R$ .

Тоді ймовірність виявлення цілі на дальності  $R$  буде знаходитись за формулою:

$$P(R) = 1 - \frac{1}{\sigma_R \sqrt{2\pi}} \int_{R_{\min}}^R e^{-\frac{(R-m_R)^2}{2\sigma_R^2}} dR. \quad (8)$$

Якщо ж умови, в яких відбувається виявлення цілі, є нетиповими і такими, що характеризуються значною невизначеністю, то розподіл дальності виявлення підпорядковується закону Релея [1].

У цьому випадку інтегральний закон розподілу, що характеризує ймовірність невиявлення цілі до її підходу на відстань  $R$ , буде мати вигляд:

$$F(R) = \int_0^R \frac{R}{\sigma_R^2} e^{-\frac{R^2}{2\sigma_R^2}} dR. \quad (9)$$

Ймовірність виявлення цілі на дальності  $R$  буде знаходитись за формулою:

$$P(R) = 1 - \int_0^R \frac{R}{\sigma_R^2} e^{-\frac{R^2}{2\sigma_R^2}} dR. \quad (10)$$

Розподіл (10) характеризується одним параметром  $\sigma_R$ . При цьому

$$m_R \approx 1,25\sigma_R. \quad (11)$$

Виявлення цілі значною мірою залежить від її типу, умов, в яких здійснюється спостереження, а також стану засобу спостереження.

Прийнято застосовувати наступну класифікацію цілей (див. табл. 1).

Таблиця 1

#### Класифікація цілей

Позначення цілі	Тип цілі	Типовий варіант цілі
МЦ	Мала ціль	Людина
СЦ	Середня ціль	Група людей
ВЦ	Велика ціль	Транспортний засіб (мотоцикл, автомобіль, танк,...)

Умови, в яких здійснюється спостереження, класифікують так (див. табл. 2).

Слід зауважити, що одні і ті ж погодні, техногенні умови чи період доби є різними за типом для різних ТЗОК, що є елементами веж СОЕС. У цьому можна переконатися з табл. 3, яка сформована на основі досвіду застосування різних засобів спостереження.

Таблиця 2

#### Класифікація умов, в яких здійснюється спостереження

Позначення умов	Тип умов
П	Погані
Н	Нормальні
Д	Добрі

**Залежність умов, в яких здійснюється спостереження конкретним типом ТЗОК, від погодних, техногенних умов чи періоду доби**

Час доби	Погодні та техногенні умови	Тип засобу спостереження		
		РЛС	Тепловізійна камера	Телевізійна камера
Світлий період доби	Ясно	Д	Д	Д
	Серпанок	Д	Д	Н
	Дощ	Н	П	П
	Туман	Н	П	П
	Сніг	Н	П	П
	Задимлення	Д	Н	П
Темний період доби	Ясно	Д	Д	П
	Серпанок	Д	Д	П
	Дощ	Н	П	П
	Туман	Н	П	П
	Сніг	Н	П	П
	Задимлення	Д	Н	П

Стан засобу спостереження може бути поганим, нормальним чи добрим. У подальшому в дослідженнях прийматиметься стан засобу нормальним.

Застосування підходу, описаного вище, що базується на використанні формул (5)–(6), дозволило встановити параметри, що визначають ймовірнісні характеристики ТЗОК, які є елементами веж СОЕС. Останні можуть бути оцінені з табл. 4.

Таким чином, застосування формул (8), (10) і даних табл. 4 дозволяє відшукати ймовірність виявлення будь-якої цілі з числа розглядуваних у будь-яких умовах з числа аналізованих, кожним ТЗОК, що є елементом вежі СОЕС, у будь-якій точці місцевості.

#### *Аналіз існуючих підходів до оцінки ефективності функціонування СОЕС*

Існуючий підхід до оцінки ефективності функціонування СОЕС полягає в наступному.

Оскільки СОЕС складається з кількох веж, на кожній з яких знаходяться різнотипні ТЗОК, то насамперед знаходиться ефективність функціонування однієї вежі СОЕС. Для цього вводяться позначення:

$P_1(t, R)$  – ймовірність виявлення цілі за допомогою РЛС,

$P_2(t, R)$  – ймовірність виявлення цілі за допомогою тепловізійної камери,

$P_3(t, R)$  – ймовірність виявлення цілі за допомогою телевізійної камери.

Тоді, з урахуванням формули для визначення ймовірності появи принаймні однієї події [5], ймовірність виявлення цілі за допомогою засобів вежі СОЕС може бути знайдена так:

$$P(t, R) = 1 - \bar{P}_1(t, R) \cdot \bar{P}_2(t, R) \cdot \bar{P}_3(t, R) \quad (12)$$

Формула (12) визначає підхід до оцінки ефективності однієї вежі СОЕС, як сукупності ТЗОК, що реалізують функції виявлення цілей.

На основі цього далі знаходиться ефективність функціонування СОЕС, як сукупності окремих веж [4]. Для цього визначається підхід щодо визначення ефективності спостереження за кожним елементом ділянки місцевості, який буде загальним для всіх засобів спостереження (див. рис. 4).

У лівій частині рис. 4 показана смуга прикриття, яку необхідно реалізувати. В межах цієї смуги має забезпечуватись граничний рівень ефективності прикриття (ймовірність виявлення цілі)  $p_0$ . Наступний елемент рис. 4 – «мертві» для спостереження зони, які утворюються внаслідок перешкоджаючого впливу рельєфу місцевості. Зони ефективності на рис. 4 утворюються на основі обчислення для кожної вежі СОЕС показника (12).

У правій частині рис. 4 демонструється підхід до отримання результуючої ефективності з урахуванням «мертвих» для спостереження зон. Для цих ділянок приймається  $P(R)=0$ .

Остаточно, ефективність спостереження за певною ділянкою місцевості усіма ТЗОК усіх веж СОЕС визначається наступним чином:

$$P(R) = 1 - \prod_k (1 - P_k'(R)) \quad (13)$$

Слід відмітити, що  $P_k'$  у (13) обчислюється за (12) у випадку, якщо досліджувана ділянка не належить множині «мертвих» зон. У протилежному випадку  $P_k'=0$ .

Необхідний рівень ефективності СОЕС приймемо:

$$E_0 = S_0 \cdot p_0 \quad (14)$$

Параметри, що визначають ймовірнісні характеристики ТЗОК, які є елементами веж СОЕС

Засіб спостереження – РЛС ELTA EL/M-2129			
Ціль	Умова		
	П	Н	Д
МЦ	$m_R = 4000 \text{ м}$ $\sigma_R = 3200 \text{ м}$	$m_R = 5000 \text{ м}$ $\sigma_R = 250 \text{ м}$	$m_R = 6000 \text{ м}$ $\sigma_R = 300 \text{ м}$
СЦ	$m_R = 5000 \text{ м}$ $\sigma_R = 4000 \text{ м}$	$m_R = 6000 \text{ м}$ $\sigma_R = 300 \text{ м}$	$m_R = 7000 \text{ м}$ $\sigma_R = 350 \text{ м}$
ВЦ	$m_R = 15000 \text{ м}$ $\sigma_R = 12000 \text{ м}$	$m_R = 18000 \text{ м}$ $\sigma_R = 800 \text{ м}$	$m_R = 21000 \text{ м}$ $\sigma_R = 1000 \text{ м}$
Засіб спостереження – тепловізійна камера			
Ціль	Умови		
	П	Н	Д
МЦ	$m_R = 1000 \text{ м}$ $\sigma_R = 800 \text{ м}$	$m_R = 1800 \text{ м}$ $\sigma_R = 90 \text{ м}$	$m_R = 2000 \text{ м}$ $\sigma_R = 100 \text{ м}$
СЦ	$m_R = 1200 \text{ м}$ $\sigma_R = 960 \text{ м}$	$m_R = 2000 \text{ м}$ $\sigma_R = 100 \text{ м}$	$m_R = 2300 \text{ м}$ $\sigma_R = 120 \text{ м}$
ВЦ	$m_R = 2000 \text{ м}$ $\sigma_R = 1600 \text{ м}$	$m_R = 2500 \text{ м}$ $\sigma_R = 120 \text{ м}$	$m_R = 3000 \text{ м}$ $\sigma_R = 150 \text{ м}$
Засіб спостереження – телевізійна камера			
Ціль	Умови		
	П	Н	Д
МЦ	$m_R = 700 \text{ м}$ $\sigma_R = 560 \text{ м}$	$m_R = 1700 \text{ м}$ $\sigma_R = 90 \text{ м}$	$m_R = 2000 \text{ м}$ $\sigma_R = 100 \text{ м}$
СЦ	$m_R = 800 \text{ м}$ $\sigma_R = 640 \text{ м}$	$m_R = 2100 \text{ м}$ $\sigma_R = 100 \text{ м}$	$m_R = 2300 \text{ м}$ $\sigma_R = 110 \text{ м}$
ВЦ	$m_R = 1000 \text{ м}$ $\sigma_R = 800 \text{ м}$	$m_R = 2300 \text{ м}$ $\sigma_R = 110 \text{ м}$	$m_R = 2700 \text{ м}$ $\sigma_R = 120 \text{ м}$

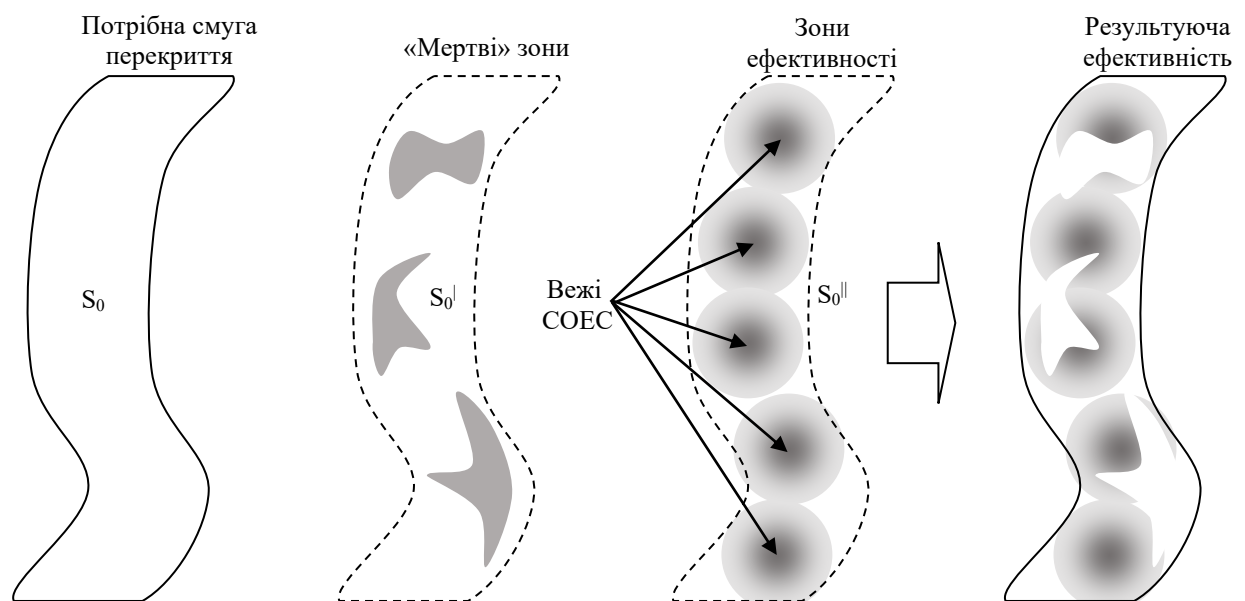


Рис. 4. Схема визначення ефективності виявлення цілі з використанням СОЕС

Слід відмітити, що такий рівень забезпечуватиметься у випадку, коли відсутні «мертві» зони і по всій площі смуги перекриття забезпечується висока ймовірність виявлення цілей  $p_0$  (звичайно  $p_0=0.95$ ). На жаль, наявність недоступних для спостереження зон та зниження ймовірності виявлення цілі зі збільшенням відстані суттєво знижує фактичний рівень ефективності СОЕС:

$$E_{\phi} = \sum_i S_i \cdot p_i. \quad (15)$$

Слід відмітити, що  $p_i$  у (15) обчислюється на основі (13) відповідно до координат  $i$ -тої ділянки. Коли відомий фактичний рівень ефективності СОЕС (15) та необхідний рівень ефективності СОЕС (14) можна остаточно оцінити ефективність прикриття необхідної смуги перекриття наступним чином:

$$W = \frac{E_{\phi}}{E_0} \cdot 100\%. \quad (16)$$

### ***Порівняльний аналіз підходів щодо оцінки ефективності ТЗОК, які застосовуються в складі СОЕС, та оцінки ефективності функціонування СОЕС***

Наведений вище аналіз дозволяє встановити перелік значущих факторів для вирішення задачі оцінки ефективності ТЗОК, які застосовуються в складі СОЕС, та оцінити їх урахування в існуючих підходах. Вказані положення наведені в таблиці 5.

**Обґрунтування вибору базової методики** для оцінки ефективності функціонування СОЕС з позиції подальшого інтегрування методики в якості моделі системи управління базовими моделями СППР на розподіл сил і засобів для забезпечення достатнього рівня ефективності охорони кордону на ділянці застосування СОЕС.

Аналіз існуючих підходів щодо оцінки ефективності ТЗОК, які застосовуються в складі СОЕС, з позиції відображення та форми урахування в підходах значущих факторів, які важливі для вирішення задачі оцінки ефективності ТЗОК, дозволяє зробити висновок про те, що другий підхід має ряд переваг у порівнянні з першим. До числа таких можна віднести:

- можливість визначення показника ефективності ТЗОК для майбутнього періоду часу;
- можливість визначення ймовірнісних характеристик виявлення різномісних цілей у залежності від можливих умов, в яких здійснюється спостереження;
- можливість адаптації підходу до оцінювання ефективності функціонування однієї вежі СОЕС;
- можливість адаптації підходу до оцінювання ефективності функціонування СОЕС;
- можливість застосування підходу до оцінювання ефективності функціонування СОЕС у просторово-часовому вимірі;
- можливість урахування в підході особливостей цілей спостереження;
- можливість урахування в підході впливу умов, в яких здійснюється спостереження;
- можливість урахування в підході впливу погодних, техногенних умов чи періоду доби.

Можливість безпосереднього врахування у другому підході вказаних особливостей у порівнянні з опосередкованістю такого врахування для першого підходу спонукає до вибору його в якості базової методики для оцінки ефективності функціонування СОЕС з позиції подальшого інтегрування методики в якості моделі системи управління базовими моделями СППР на розподіл сил і засобів для забезпечення достатнього рівня ефективності охорони кордону на ділянці застосування СОЕС.

**Аспекти, які потребують додаткового відображення в базовій методиці**, з позиції подальшого інтегрування методики в якості моделі системи управління базовими моделями СППР на розподіл сил і засобів для забезпечення достатнього рівня ефективності охорони кордону на ділянці застосування СОЕС.

Разом з тим, другий підхід також не є ідеальним для інтегрування в якості моделі системи управління базовими моделями СППР на розподіл сил і засобів для забезпечення достатнього рівня ефективності охорони кордону на ділянці застосування СОЕС. Адже, незважаючи на його основну перевагу, яка полягає в можливості застосування для майбутнього періоду часу, існує ряд моментів, які обмежують його безпосереднє використання.

Аналіз даних таблиці 5 дозволяє зробити висновок про те, що основними аспектами, які визначають напрями удосконалення другого підходу, є:

- розробка процедури встановлення часових періодів, які характеризуються тим чи іншим інтегральним законом розподілу, що визначає ймовірність виявлення цілі до її підходу на відстань  $R$  окремими ТЗОК, та «зшивання» різних законів розподілу на кінцях цих періодів;
- розробка модуля «підключення» до методики оцінки ефективності функціонування СОЕС прогнозу погоди для оцінювання ефективності у довільний момент часу;
- розробка процедури встановлення «мертвих» зон, які є динамічно змінними в залежності від ряду умов.



**Перелік значущих факторів для вирішення задачі оцінки ефективності ТЗОК, які застосовуються в складі СОЕС, та їх урахування в існуючих підходах**

№ з/п	Найменування значущих положень підходу	Підхід	
		перший	другий
1	Можливість визначення показника ефективності ТЗОК для минулого періоду часу	+	+
2	Можливість визначення показника ефективності ТЗОК для теперішнього періоду часу	+	+
3	Можливість визначення показника ефективності ТЗОК для майбутнього періоду часу	-	+
4	Можливість визначення ймовірнісних характеристик виявлення різнотипних цілей у залежності від можливих умов, в яких здійснюється спостереження	+	+
5	Можливість адаптації підходу до оцінювання ефективності функціонування однієї вежі СОЕС	+	+
6	Можливість адаптації підходу до оцінювання ефективності функціонування СОЕС	+	+
7	Можливість застосування підходу до оцінювання ефективності функціонування СОЕС у просторово-часовому вимірі	+	+
8	Можливість урахування в підході особливостей цілей спостереження	+	+
9	Можливість урахування в підході впливу умов, в яких здійснюється спостереження	+	+
10	Можливість урахування в підході впливу погодних, техногенних умов чи періоду доби	+	+
11	Інструментальні особливості реалізації підходу	+	+

**Висновки.** Таким чином, проведений аналіз існуючих підходів до оцінки ефективності ТЗОК, які застосовуються в складі СОЕС, та функціонування СОЕС, а також порівняння існуючих підходів дозволяють здійснити вибір в якості базового другого підходу для оцінки ефективності функціонування СОЕС з позиції подальшого інтегрування відповідної методики в якості моделі системи управління базовими моделями СППР на розподіл сил і засобів для забезпечення достатнього рівня ефективності охорони кордону на ділянці застосування СОЕС.

При цьому, основними аспектами, які визначають необхідні напрями удосконалення базового підходу, є аспекти, що пов'язані із застосуванням адекватних формальних процедур, адаптацією підходу на реалізацію прогнозних функцій та вироблення механізмів коректного формування рекомендацій щодо додаткового застосування сил і засобів. Реалізація вказаних аспектів в обраному базовому підході і визначає напрямки подальших досліджень.

### Література

1. Горбунов В. А. Эффективность обнаружения целей. – М.: Воениздат, 1979. – 160 с.
2. Боровик О. В., Купрієнко Д. А. Інформаційна основа методики оцінки ефективності експлуатації технічних засобів охорони державного кордону // Збірник наукових праць – К.: ВІКНУ, 2007. – № 8. – С. 16-23.
3. Боровик О. В., Рачок Р. В., Дармороз М. М. Методика оцінки ефективності функціонування однієї вежі системи оптико-електронного спостереження // Збірник наукових праць № 4 (70). Серія: Військові та технічні науки. – Хмельницький: Вид. НАДПСУ, 2016. – С. 208-226.
4. Боровик О. В., Рачок Р. В., Дармороз М. М. Оцінка ефективності функціонування системи оптико-електронного

спостереження // Радіоелектроніка, інформатика, управління (RIU) Вип. № 2(41). – Запоріжжя: ЗНТУ, 2017. – С. 93-99.  
5. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: Высшая школа, 1972. – 368 с.

### References

1. Gorbunov V.A. The effectiveness of target detection. - М.: Voenizdat, 1979. - 160 p.
2. Borovyk O.V., Kuprienko D.A. Information basis of methods for assessing the effectiveness of the operation of technical means of state border protection // Collection of scientific works - К.: VIKNU, 2007. - № 8. - P. 16-23.
3. Borovyk O.V., Rachok R.V., Darmoroz M.M. Methods for assessing the effectiveness of one tower of the system of optoelectronic surveillance // Collection of scientific works № 4 (70). Series: Military and technical sciences. - Khmelnytsky: Ed. NADPSU, 2016. - P. 208-226.
4. Borovyk O.V., Rachok R.V., Darmoroz M.M. Estimation of efficiency of functioning of system of optoelectronic supervision // Radioelektronika, informatics, management (RIU) Vol. № 2 (41). - Zaporozhye: ZNTU, 2017. - P. 93-99.
5. Gmurman V.E. Probability theory and mathematical statistics. - М.: Higher school, 1972. -- 368 p.

Надійшла / Paper received: 03.08.2020  
Надрукована / Paper Printed : 02.09.2020