

15. V.D. Boev. Simulation modeling of systems: textbook. manual for applied bachelor's degree - Moscow: Yurayt Publishing House, 2017.— 253 s.
16. D.I. Bilyi, T.K. Skrypnyk. System of automated design of CAD / CAE applications. Khmelnytskyi. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Technical sciences. Khmelnytsky. 2015. Volume 267. Issue 6. Part 2. pp. 141–145.
17. V.B. Rudnytskyi, N.O. Yaretska, V.O. Venher. Application of IT technologies in the mechanics of a deformed solid, Problems of Tribology. Vol 84 No 2 (2017), 22-30.
18. A.M. Dudka, I.M. Kuziaiev, I.I. Nachovnyi, O.I. Buria, E.V. Tkachenko, Yu.V. Tolstenko. Application of computer programs for obtaining equations of approximation of researches of tribotechnical properties of composites. Problems of Tribology. Vol 86 No 4 (2017), 28–32.
19. V.O. Petrov, V.A. Podoliak, S.O. Hunderchuk. Application of application programs for calculation of durability of details of machine tools. Khmelnytskyi. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Technical sciences. Khmelnytsky. 2015. Volume 247. Issue 2. pp. 12–14.
20. V.H. Rezanova, N.M. Rezanova. Development of software for determining the rheological characteristics of polymer melts. Khmelnytskyi. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Technical sciences. Khmelnytsky. 2015. Volume 265. Issue 5. pp. 21–25.
21. R.V. Sorokatyi, S.F. Posonskyi, K.O. Dykha. Сорокатий Р.В. Modeling of wear-contact parameters for cylindrical sliding guides. Problems of Tribology. Vol 75 No 1 (2015), 37-43.
22. R. Sorokatyi, A. Dykha, O. Pasichnyk, T. Skrypnyk. Computer information technology modeling tribological systems // Problems of Tribology. Vol 25 No 2/96 (2020), 59–66.
23. O.O. Petrova, Ye.S. Lysenko, Yu.V. Kachanov Петрова О.О. Use of software to determine the architectural styles of buildings. Khmelnytskyi. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Technical sciences. Khmelnytsky. 2018. Volume 261. Issue 3. pp. 180–185.
24. V.M. Sokurenko, M.M. Vakulenko. Automated calculation of glasses with diffractive optical elements. Khmelnytskyi. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Technical sciences. Khmelnytsky. 2018. Volume 257. Issue 1. pp. 107-112.
25. V.M. Sokurenko, I.O. Smazhko. Automated calculation of the optical system of a SWIR lens. Khmelnytskyi. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Technical sciences. Khmelnytsky. 2019. Volume 279. Issue 6. pp. 202–205.
26. O.B. Holeyvych, O.S. Pyvovar. Modeling of radiation of boards with built-in components for transmission of broadband chaotic signals. Khmelnytskyi. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Technical sciences. Khmelnytsky. 2015. Volume 221. Issue 1. pp. 213–216.
27. O.S. Pyvovar, V.D. Bydiuk, Ya.V. Verzhbitskyi. Modeling of the nonlinear reaction method in segmented cable lines. Khmelnytskyi. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Technical sciences. Khmelnytsky. 2019. Volume 277. Issue 5. pp. 147–151.
28. R.V. Sorokatyi, M.O. Dykha, S.F. Posonskyi. The stress surface state of secretly hardened surfaces. Problems of Tribology. Vol 76 No 2 (2015), 57-60.
29. L.V. Khvostivska. Simulation model of human pulse signal. Khmelnytskyi. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Technical sciences. Khmelnytsky. 2016. Volume 235. Issue 2. pp. 94–100.
30. S.V. Yakubovskaia, D.Kh. Shtofel, Y.A. Kryvoruchko, T.A. Chernyshova. Якубовская С.В. Information technology for predicting the outcome of myocardial infarction. Khmelnytskyi. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Technical sciences. Khmelnytsky. 2018. Volume 259. Issue 2. pp. 237–244.
31. A.V. Liashenko. System of automated syndromic diagnostics for laparoscopic diseases. Khmelnytskyi. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Technical sciences. Khmelnytsky. 2019. Volume 273. Issue 3. pp. 151–157.
32. A.V. Dudatiev, O.P. Voitovych, V.V. Myroniuk. Information and analytical centers in the management of information security of the state. Khmelnytskyi. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Technical sciences. Khmelnytsky. 2020. Volume 281. Issue 1. pp. 105–109.
33. O.A. Pasichnyk. Methodology for assessing the characteristics of a measuring system implemented using information technology. Khmelnytskyi. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Technical sciences. Khmelnytsky. 2017. Volume 245. Issue 1. pp. 174–177.
34. S.S. Petrovskyi. Construction of the information environment of the university. Khmelnytskyi. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Technical sciences. Khmelnytsky. 2019. Volume 271. Issue 2. pp. 199–201.
35. O.V. Barmak, O.V. Mazurets, A.V. Zhyvilik. Information technology of automated annotation and abstracting of digital texts. Khmelnytskyi. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Technical sciences. Khmelnytsky. 2017. Volume 251. Issue 4. pp. 147–158.
36. O.V. Barmak, O.V. Mazurets, V.I. Klimenko. Information technology of automated formation of test tasks. Khmelnytskyi. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Technical sciences. Khmelnytsky. 2017. Volume 253. Issue 5. pp. 93–103.
37. O.V. Barmak, O.V. Mazurets. Methods of automation of definition of semantic terms in educational materials. Khmelnytskyi. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Technical sciences. Khmelnytsky. 2015. Volume 223. Issue 2. pp. 209–213.
38. O.V. Barmak, O.V. Mazurets. Information model of the semantic structure of the course. Khmelnytskyi. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Technical sciences. Khmelnytsky. 2018. Volume 267. Issue 6. Part 1. pp. 92–97.
39. Casselman B. It Just Keeps Piling Up! [[Electronic resource] / B. Casselman – Access mode: <http://www.ams.org/publicoutreach/feature-column/fc-2016-02>.
40. Wooseop Kwak Random deposition model with surface relaxation in higher dimensions [[Electronic resource c] / Wooseop Kwak, Jin Min Kim . – Access mode: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378437119300160>.
41. Hyun Suk Song. Random Walk Deposition with Relaxation [[Electronic resource] / Hyun Suk Song, Jin Min Kim. – Access mode: https://www.researchgate.net/publication/259662367_Random_Walk_Deposition_with_Relaxation.
42. Kasturi Banerjee. Surface morphology of a modified ballistic deposition model [Електронний ресурс] / Kasturi Banerjee, J. Shamanna, Subhankar Ray. – Режим доступу: <https://arxiv.org/pdf/1311.2182.pdf>.

Надійшла / Paper received: 27.07.2020
Надрукована / Paper Printed : 02.09.2020

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 невиявлення 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.
Khmelnitsky 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 різномірних 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 впливає 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 досліджуваний 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).

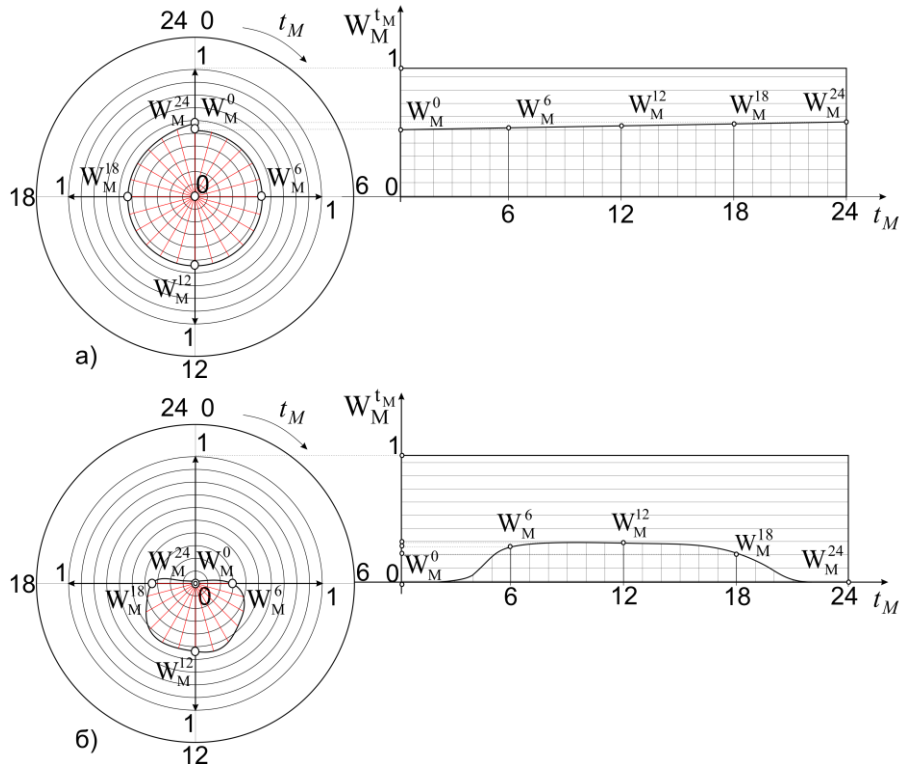


Рис. 1. Графічна інтерпретація добового корисного ефекту W_D експлуатації зразка ТЗОК:
 а – ТЗОК, що функціонує цілодобово;
 б – ТЗОК, функціонування котрого залежить від інтенсивності освітлення;

$W_M^0, W_M^6, W_M^{12}, W_M^{18}, W_M^{24}$ – 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.

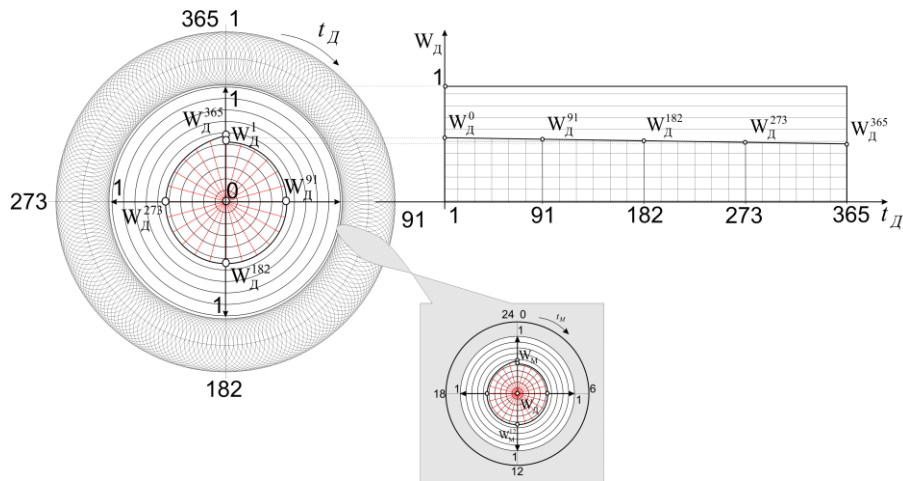


Рис. 2. Графічна інтерпретація річного корисного ефекту W_P експлуатації зразка ТЗОК, що функціонує цілодобово:
 $W_D^1, W_D^{91}, W_D^{182}, W_D^{273}, W_D^{365}$ – значення показника W_D станом на 1, 91, 182, 273, 365 день року, відповідно.

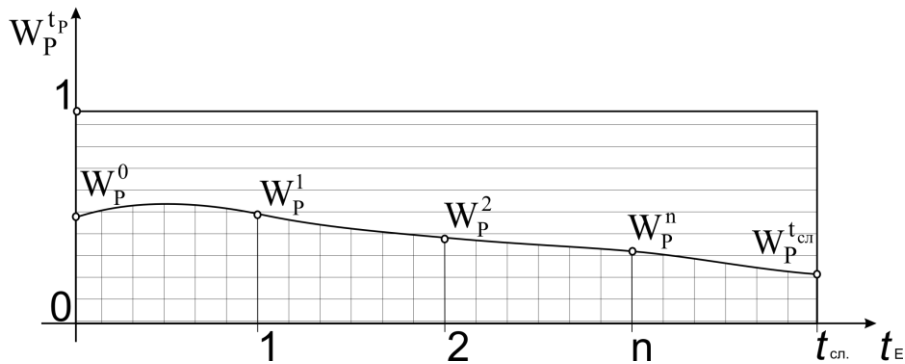


Рис. 3. Графічна інтерпретація інтегрального показника W за період експлуатації зразка ТЗОК:
 $W_P^0, W_P^1, W_P^2, W_P^n, W_P^{t_{cl}}$ – значення показника W_P за 0, 1, 2, n -й, t_{cl} -й (останній) рік експлуатації, відповідно; t_E – роки експлуатації ТЗОК, $0 \leq t_E \leq t_{cl}$.

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 σ_R (обумовленим впливом неконтрольованих факторів).

Для відшукування величин m_R і σ_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

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

А 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 σ_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

Таблиця 3

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
	Дош	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
	Дош	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 різні типи 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 (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

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

Таблиця 4

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

Засіб спостереження – РЛС ELTA EL\М-2129			
Ціль	Умови		
	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	$m_R = 1000 \text{ м}$ $\sigma_R = 800 \text{ м}$	$m_R = 2300 \text{ м}$ $\sigma_R = 110 \text{ м}$	$m_R = 2700 \text{ м}$ $\sigma_R = 120 \text{ м}$

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:

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

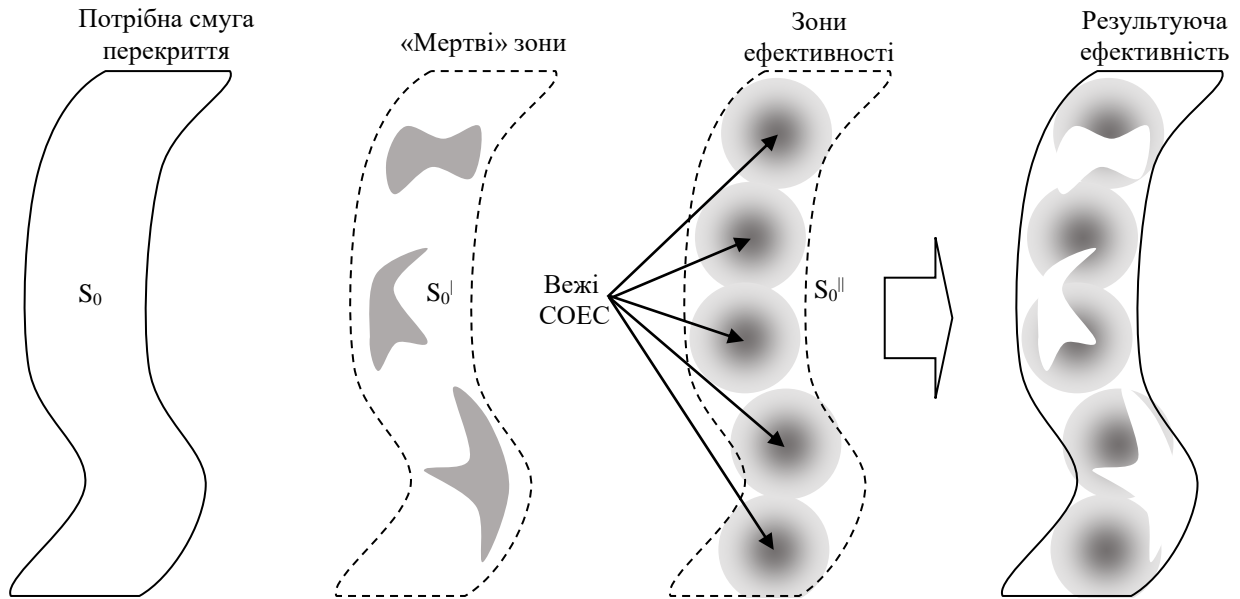


Рис. 4. Схема визначення ефективності виявлення цілі з використанням COEC

Порівняльний аналіз підходів щодо оцінки ефективності ТЗОК, які застосовуються в складі COEC, та оцінки ефективності функціонування COEC.

Наведений вище аналіз дозволяє встановити перелік значущих факторів для вирішення задачі оцінки ефективності ТЗОК, які застосовуються в складі COEC, та оцінити їх урахування в існуючих підходах.

Вказані положення наведені в табл. 5.

Обґрунтування вибору базової методики для оцінки ефективності функціонування COEC 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 COEC.

Аналіз існуючих підходів щодо оцінки ефективності ТЗОК, які застосовуються в складі COEC, 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 COEC;
- можливість адаптації підходу до оцінювання ефективності функціонування COEC;
- можливість застосування підходу до оцінювання ефективності функціонування COEC 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 COEC 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 COEC.

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 COEC.

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 COEC. 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 табл. 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 невиявлення 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.

Таблиця 5

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	При додатковому доопрацюванні підходу	+
5	Можливість адаптації підходу до оцінювання ефективності функціонування однієї вежі СОЕС	При додатковому доопрацюванні підходу	+
6	Можливість адаптації підходу до оцінювання ефективності функціонування СОЕС	При додатковому доопрацюванні підходу	+
7	Можливість застосування підходу до оцінювання ефективності функціонування СОЕС у просторово-часовому вимірі	При додатковому доопрацюванні підходу	+
8	Можливість урахування в підході особливостей цілей спостереження	Опосередковано	У вигляді безпосередньої причинно-наслідкової залежності
9	Можливість урахування в підході впливу умов, в яких здійснюється спостереження	Опосередковано	У вигляді безпосередньої причинно-наслідкової залежності
10	Можливість урахування в підході впливу погодних, техногенних умов чи періоду доби	Опосередковано	У вигляді безпосередньої причинно-наслідкової залежності
11	Інструментальні особливості реалізації підходу	+ Пов'язані з труднощами встановлення: геометричних характеристик ділянки, що охороняється у кожен фіксований момент часу; неперервних закономірностей миттєвого W_M , добового W_D , річного W_p корисних ефектів.	+ Пов'язані з труднощами: встановлення часових періодів, які характеризуються тим чи іншим інтегральним законом розподілу, що визначає ймовірність невиявлення цілі до її підходу на відстань R окремими ТЗОК, та «зшивання» різних законів розподілу на кінцях цих періодів; «підключення» до методики оцінки ефективності функціонування СОЕС прогнозу погоди для оцінювання ефективності у довільний момент часу; встановлення «мертвих», недоступних для спостереження зон, які залежать від місць розташування веж СОЕС, висоти веж, рельєфу місцевості, погодних, техногенних умов чи періоду доби.

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 (РИУ) 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. - M.: 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 - K.: 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. - M.: Higher school, 1972. -- 368 p.

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