

ЕНТРОПІЙНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОМПЛЕКСНИХ СИСТЕМ РАДІОМОНІТОРИНГУ

Стаття присвячена вирішенню завдання апріорного оцінювання ефективності систем радіомоніторингу. Запропоновано математичний апарат для кількісної оцінки значення ефективності комплексних систем радіомоніторингу, що дозволяє врахувати особливості ведення спостереження та склад технічних засобів. Критерієм даного оцінювання рекомендовано вибрати кількість розвідувальної інформації, яку можна охарактеризувати рівнем ентропії, що його здатна досягти система при визначенні параметрів джерел розвідувальних відомостей. Наведено приклад оцінювання ефективності системи радіомоніторингу щодо визначення таких параметрів джерела випромінювання, як: висота, напрямок та швидкість руху. Запропонований інформаційний підхід дозволяє заздалегідь оцінити можливості систем радіомоніторингу щодо виконання ними тих чи інших завдань і за потреби провести певні зміни в їх складі для підвищення ефективності до необхідного рівня.

Ключові слова: ефективність, інформація, об'єкт, розвідка, ентропія.

Постановка проблеми в загальному вигляді. Оборона України, захист її суверенітету, територіальної цілісності й недоторканності покладаються на Збройні Сили України [1]. У комплексі проблем, які при цьому необхідно вирішувати, перше місце займають проблеми своєчасного виявлення сил та засобів можливого військового впливу, визначення їх характеру, місцеположення і параметрів руху в інтересах забезпечення ефективного використання сил та засобів боротьби з ними. Особливої актуальності дане питання набуває в ході ведення бойових дій, зокрема під час виконання завдань у зоні проведення операції Об'єднаних сил на сході нашої країни. Вказані проблеми повинні вирішуватися засобами розвідки шляхом створення локальних і глобальних систем нагляду за обстановкою, які здійснюють виявлення, розпізнавання та визначення параметрів цілей, контролюють їх місцеположення та дії.

Раціональна побудова й ефективне функціонування подібних систем радіомоніторингу (систем технічної розвідки), що повинні забезпечити якісне знання обстановки в просторі та часі, а також своєчасне розгортання і застосування в разі необхідності сил та засобів протидії, неможливі без оцінювання ефективності їх застосування. При цьому його бажано проводити як до застосування, так і в процесі та після функціонування систем радіомоніторингу. Отже, розробка підходів до оцінювання ефективності застосування систем радіомоніторингу є важливим і актуальним науково-практичним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомо багато підходів до оцінювання ефективності розвідувальних технічних систем [2–5].

У роботах [3, 4] зазначено, що основним методичним підходом до оцінювання ефективності систем розвідки повинен бути системний, але його використання для кількісного оцінювання значення ефективності безпосередньо неможливе.

© Р. М. Жовноватюк, Г. Д. Носова, В. В. Лобода, 2018

У [3] вказано, що під ефективністю ведення розвідки слід розуміти виконання оперативно-тактичних вимог, передбачених змістом бойових завдань, що вирішуються військами. У публікації [4] уточнено, що в ситуації, коли можливості системи комплексної розвідки далекі від вимог до неї, що має місце в даний час, під її ефективністю слід розуміти ступінь реалізації потенційних можливостей під час виконання розвідувальних завдань.

У [5] показано, що ефективність системи розвідки є ступенем реалізації можливостей об'єкта, системи згідно з їх призначенням. Запропоновано оцінювати ефективність розвідувальних систем, виходячи з вирішення основних розвідувальних завдань.

У [6] вказано, що під ефективністю системи розвідки та її елементів слід розуміти здатність складових і системи в цілому виконати розвідувальні завдання та досягти мети у визначений час із заданою достовірністю.

У [2] показано, що оцінити ефективність системи розвідки за ступенем виконання поставлених перед нею завдань кількісною мірою досить важко через складність формалізації сукупності розвідувальних ознак, які забезпечують вирішення цих завдань, та складність їх викриття. Виходячи з цього, запропоновано визначати ефективність розвідувальної системи, зокрема системи радіоелектронної розвідки, через поняття відображення об'єктів розвідки та відповідний коефіцієнт його повноти, який є відношенням кількості відображених об'єктів до загальної їх кількості у смузі розвідки.

Формулювання завдання дослідження. Системи показників і критеріїв, а також підходи, запропоновані для оцінювання ефективності ведення розвідки, як правило, відображають її якість у цілому через показники вирішення розвідувальних завдань, без наведення математичного апарату для кількісної оцінки значення ефективності. Існуючі методики оцінювання ефективності ведення розвідки за змістом характеризують тільки якість здійснення пошуку, без урахування завдань, особливостей ведення спостереження та складу технічних засобів. Числові значення загальних та узагальнених показників ефективності, які використовуються при формуванні критеріїв ефективності ведення розвідки, не відображають її якості.

Отже, традиційні підходи не забезпечують розв'язку задачі оцінювання ефективності комплексних систем радіомоніторингу з урахуванням якості їх комплексування. Тому **метою** статті є розроблення підходу та отримання математичного апарату для кількісної оцінки значення ефективності систем радіомоніторингу.

Виклад основного матеріалу. З огляду на зазначене, критерієм оцінювання ефективності системи радіомоніторингу пропонуємо вибрати кількість розвідувальної інформації, яку можна оцінити рівнем ентропії $H_{зд}$, що його здатна досягти система при визначенні параметрів джерел розвідувальних відомостей. У такому разі систему можна вважати ефективною, коли цей рівень не вищий за необхідний $H_{необх}$. За необхідний рівень приймаємо той, якого досягають системи радіомоніторингу під час визначення параметрів джерел розвідувальних відомостей.

Відомо [7], що ентропію системи $H(X)$ із безперервною множиною станів можна розрахувати за такою формулою:

$$H(X) = - \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) \cdot \log_k f(x) dx - \log_k \Delta x, \quad (1)$$

де $f(x)$ – щільність розподілу випадкової величини X ;

Δx – ступінь точності визначення стану системи [9].

Формулу (1) можна подати в іншому вигляді, як математичне сподівання функції $-\log\{f(X)\Delta x\}$ від випадкової величини X і щільністю $f(x)$:

$$H(X) = M[-\log_k \{f(X)\Delta x\}]. \quad (2)$$

Знайдемо ентропію системи X , усі стани якої на ділянці (α, β) рівномірні [9]:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\beta - \alpha} & \text{при } \alpha < x < \beta, \\ 0 & \text{при } x < \alpha \text{ або } x > \beta. \end{cases}$$

Використавши (2), маємо

$$H(X) = -\int_{\alpha}^{\beta} \frac{1}{\beta - \alpha} \log_k \frac{1}{\beta - \alpha} dx - \log \Delta x = \log_k \frac{\beta - \alpha}{\Delta x}. \quad (3)$$

Найбільш важливими параметрами джерела випромінювання є його координати, а якщо воно рухається, то координати і параметри руху [10]. Для оцінки висоти джерела випромінювання h та параметрів його вектора швидкості (V – модуль вектора швидкості, θ – напрям вектора швидкості) початковий рівень ентропії, що відповідає повній невизначеності h, V, θ може бути розрахований відповідно до (3) за такою формулою:

$$H_{\text{поч}}(h, V, \theta) = \log_2 \frac{h_2 - h_1}{\Delta h} + \log_2 \frac{V_2 - V_1}{\Delta V} + \log_2 \frac{\theta_2 - \theta_1}{\Delta \theta}, \quad (4)$$

де h_2, h_1 – максимально і мінімально можливі значення висоти польоту аеродинамічних об'єктів відповідно;

V_2, V_1 – максимально і мінімально можливе значення швидкості аеродинамічних об'єктів відповідно ;

θ_1, θ_2 – кути, які визначають діапазон можливого напрямку руху аеродинамічного об'єкта;

$\Delta h, \Delta V, \Delta \theta$ – „зона нечутливості” в ході визначення відповідних параметрів джерела розвідувальних відомостей.

Діапазон можливих значень параметрів джерел розвідувальних відомостей, що оцінюються, можна визначити, проаналізувавши тактико-технічні параметри сучасних бойових літаків. Такі дані наведено в таблиці 1 [8].

Згідно з наведеними даними (табл. 1) за формулою (4) початковий рівень ентропії становить $H_{\text{почат}}(h, V, \theta) = 17,7$. Для розрахунку необхідного рівня ентропії приймемо, що стани системи радіомоніторингу щодо визначення зазначених параметрів джерел випромінювання розподілені за нормальним законом [6]:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}. \quad (5)$$

Тактико-технічні характеристики бойових літаків

Тип літака	Максимальна швидкість польоту, км/год	Практична стеля, м	Дальність польоту, км
СТРАТЕГІЧНА АВІАЦІЯ			
Ту-160	2200	15000	12300
Ту-95 МС6	910	9000	11000
Ту-22-М3	2300	14000	7000
“Міраж-ІV”	2300	20000	3500
В-52	1050	15000	20000
ВВ-111	2330	20000	6600
В-1В	2330	15000	15000
В-2А	1010	15240	18530
ТАКТИЧНА АВІАЦІЯ			
МиГ-29М	2450	18000	3200
Су-25	1000	7000	1950
Су-37	2500	18000	6500
Як-141	1800	15000	2100
“Міраж-2000С”	2350	19000	3500
“Альфа-Джет”	1000	14600	2700
“Ягуар”	1700	14000	3650
“Торнадо”	2100	17700	1950
F-4	2350	19000	2800
F-5А	1050	15800	2750
F-14D	2500	21000	3300
F-16	2100	16000	3890
F-117А	1040	13600	3500
F/A-18	1900	15200	2000
ЛІТАКИ РОЗВІДКИ ТА РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ БОРОТЬБИ			
RC-135В	1000	15000	12000
RF-4Е	2240	18500	3800
EF-111А	2350	16500	4200
EA-6В	940	11360	3100

У такому разі, використавши формулу (5), маємо

$$\begin{aligned}
 H(X) &= M \left[-\log_k \left\{ \frac{1}{\sigma\sqrt{2\cdot\pi}} e^{-\frac{X^2}{2\sigma^2}} \right\} \right] - \log_k \Delta x = \\
 &= M \left[\log_k (\sigma\sqrt{2\cdot\pi}) + \frac{X^2}{2\sigma^2} \log_k e \right] - \log_k \Delta x = \\
 &= \log_k (\sigma\sqrt{2\cdot\pi}) + \frac{M[X^2]}{2\sigma^2} \log_k e - \log_k \Delta x = \\
 &= \log_k (\sigma\sqrt{2\cdot\pi\cdot e}) - \log_k \Delta x = \log_k \left[\frac{\sigma\sqrt{2\cdot\pi\cdot e}}{\Delta x} \right].
 \end{aligned} \tag{6}$$

Тоді необхідний рівень ентропії відповідно до (6) визначимо за таким виразом:

$$H_{необх}(h, V, \theta) = \log_2 \left(\frac{(2 \cdot \pi \cdot e)^{\frac{3}{2}} \cdot \sigma_V \cdot \sigma_h \cdot \sigma_\theta}{\Delta h \cdot \Delta V \cdot \Delta \theta} \right), \quad (7)$$

де $\sigma_{h(V, \theta)}$ – середньоквадратичне відхилення визначення висоти, швидкості та напрямку руху джерела розвідувальних відомостей відповідно.

Розраховане за виразом (7) значення необхідного рівня ентропії становить $H_{необх}(h, V, \theta) = 11,18$.

Оскільки $H_{поч} > H_{необх}$, то необхідно вжити заходи щодо забезпечення переходу системи технічної розвідки від початкового рівня ентропії (4) до необхідного (7).

Висновки. Таким чином, у статті розроблено підхід та отримано математичний апарат для оцінювання ефективності систем радіомоніторингу, що ґрунтується на апріорному визначенні кількості розвідувальної інформації, яку здатна отримати система технічної розвідки. Такий ентропійний підхід дозволяє заздалегідь оцінювати можливості систем радіомоніторингу щодо виконання ними тих чи інших завдань і за потреби проводити певні зміни в їх складі, підвищуючи тим самим ефективність до необхідного рівня.

Слід зазначити, що існуючі методики визначення місцеположення джерел випромінювання не дозволяють гіперболічними системами в заданих умовах досягти необхідного рівня ентропії, що зумовлено відсутністю методики визначення ними просторових координат та параметрів руху повітряних об'єктів за одноразового вимірювання параметрів прийнятого сигналу.

Усунення вказаного недоліку можливе завдяки використанню безпошукових за напрямом систем радіомоніторингу та розробки відповідної методики визначення параметрів рухомих джерел випромінювання за одноразового приймання корисного сигналу. Тому подальшим напрямком проведення наукових досліджень є розробка даної методики. Вирішення такого завдання дасть можливість підвищити ефективність використання систем радіомоніторингу в разі визначення координат короткочасно функціонуючих повітряних джерел випромінювання.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Конституція України : Закон України від 28.06.1996 № 254к/96 – ВР. Ст. № 17 // База даних «Законодавство України» / ВР України. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/254%D0%BA/96-%D0%B2%D1%80> (дата звернення: 13.08.2018).
2. Смирнов Ю. А. Радиотехническая разведка. Москва : Воениздат, 2001. 456 с.
3. Барабаш Ю. Л. Основи теорії оцінювання ефективності складних систем (методологія військово-наукових досліджень). Київ : МО України, НАОУ, 1999. 38 с.
4. Кудрявцев А. М. Обработка разведывательной информации / Ленинград : ВАС, 1989. 332 с.
5. Морозов Л. М., Петухов Г. Б., Сидоров В. М. Методологические основы теории эффективности. Ленинград : ВИКИ им. Можайского, 1982. 236 с.

6. Вентцель Е. С. Теория вероятностей : учеб. для вузов. Изд. 6-е, стер. Москва : Высшая школа, 1999. 576 с.
7. Совершенствование алгоритма измерения разности расстояний в системе пассивной локации / В. Н. Манжос, В. Б. Бзот, Ю. А. Полонин, Э. Э. Асанов // Радиотехника. Харьков : ХНУРЭ, 2005. №143. С.129–132.
8. Довідник з протиповітряної оборони / А. Я. Торопчин, І. О. Романенко, Ю. Г. Даник та ін. Київ : МО України; Харків : ХВУ, 2003. С. 368.

Подано 13.08.2018

Р. М. Жовноватюк, А. Д. Носова, В. В. Лобода

ЭНТРОПИЙНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНИВАНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПЛЕКСНЫХ СИСТЕМ РАДИОМОНИТОРИНГА

Статья посвящена решению задачи априорного оценивания эффективности систем радиомониторинга. Предложен математический аппарат для количественной оценки значения эффективности комплексных систем радиомониторинга, что позволяет учитывать особенности ведения наблюдения и состав технических средств. Как критерий оценивания эффективности системы радиомониторинга рекомендовано выбрать количество разведывательной информации, которое можно охарактеризовать уровнем энтропии, который способна достичь система при определении параметров источников разведывательных сведений. Приведен пример оценивания эффективности системы радиомониторинга по определению таких параметров источника излучения, как: высота, направление и скорость движения. Предложенный информационный подход позволяет предварительно оценить возможности систем радиомониторинга по выполнению тех или иных задач и при необходимости провести определенные изменения в их составе для повышения эффективности до необходимого уровня.

Ключевые слова: эффективность, информация, объект, разведка, энтропия.

R. M. Zhovnovatiuk, A. D. Nosova, V. V. Loboda.

ENTROPY APPROACH TO EVALUATION OF EFFICIENCY OF INTEGRATED SYSTEMS OF RADIOMONITORING

The article is devoted to the solution problem of a priori evaluation the effectiveness of the radiomonitoring system. The mathematical device for quantitative estimation cost efficiency of complex systems of the radiomonitoring is offered, which allows to take into account features conducting observation and composition of technical means. The criterion for assessing the effectiveness of a radio monitoring system is to select the amount of intelligence information that can be characterized by the level of entropy that it can achieve by the system in determining the parameters of sources of intelligence information. An example of an estimation of efficiency of a system of radiomonitoring on determination of such parameters of a source of radiation as: height, direction and speed of movement is given. The proposed informational approach allows preliminary estimation of the possibilities of radiomonitoring systems for the fulfillment of certain tasks and, if necessary, to make certain changes in their composition in order to increase efficiency to the required level.

Keywords: efficiency, information, object, intelligence, entropy.