

УДК 504.05.662

М.Ю. Яковлев<sup>1</sup>, І.Б. Некрасов<sup>2</sup><sup>1</sup> Академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів<sup>2</sup> Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського "ХАІ", Харків

## ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТІВ НА ОСНОВІ ОЦІНЮВАННЯ МЕТРОЛОГІЧНОЇ НАДІЙНОСТІ СИСТЕМ СПОСТЕРЕЖЕННЯ І СПОВІЩЕННЯ

В статті запропоновано підхід щодо забезпечення своєчасного виявлення початку екологічно небезпечного впливу аварійної ситуації на довкілля, який базується на оцінюванні метрологічної надійності систем спостереження і сповіщення.

**Ключові слова:** аварійна ситуація, потенційно небезпечні об'єкти, екологічна безпека, метрологічна надійність, системи спостереження і сповіщення.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Проблема екологічної безпеки аварій на потенційно небезпечних об'єктах в сучасних умовах є однією з актуальних наукових проблем [1]. Особлива увага у вирішенні цієї проблеми приділяється питанням забезпечення своєчасного виявлення початку екологічно небезпечного впливу аварійної ситуації на довкілля [2].

**Аналіз літератури.** Останніми роками проведена серйозна робота за окремими питаннями забезпечення своєчасного виявлення початку екологічно небезпечного впливу аварійної ситуації на довкілля, запропоновані достатньо ефективні методи рішення [1-4]. Проте попередні дослідження не мали системного характеру, а вирішували часткові завдання. Як показує аналіз робіт присвячених методам запобігання надзвичайних ситуацій на потенційно небезпечних об'єктах, далеко не всі вони знаходять широке застосування на практиці, запропоновані методи не завжди є оптимальними, оскільки не враховують метрологічної надійності (МН) систем спостереження і сповіщення (ССС).

**Мета статті.** Розробити підхід щодо забезпечення своєчасного виявлення початку екологічно небезпечного впливу аварійної ситуації на довкілля, який базується на оцінюванні МН СССР.

### Основний матеріал

Системи спостереження та сповіщення належать до класу інформаційно-вимірювальних систем, від них, і зокрема, від їх стабільності та метрологічної надійності значною мірою залежать оперативність, необхідні точність і вірогідність отриманої з їх допомогою інформації про технічний стан потенційно небезпечних об'єктів. Тому однією з найважливіших задач щодо профілактики аварій, які впливають на екологічну ситуацію, є визначення та по-

дальший контроль МН СССР потенційно небезпечних об'єктів.

Більш докладніше розглянемо сутність запропонованого підходу. Оцінювання МН СССР здійснюється з використанням середнього наробітку до метрологічної відмови. Відомо, що середнім наробітком до метрологічної відмови СССР  $T_{\text{сер}}$  називається математичне очікування наробітку або календарного часу експлуатації СССР до появи метрологічної відмови [5]. Відповідно до цього визначення запишемо:

$$T_{\text{сер}} = \int_0^{\infty} t f(t) dt, \quad (1)$$

де  $f(t)$  – густина розподілу наробітку СССР до першої метрологічної відмови. Інтегруючи вираз (1) частинами, легко одержати відоме співвідношення:

$$T_{\text{сер}} = \int_0^{\infty} P(t) dt, \quad (2)$$

де  $P(t)$  – імовірність роботи без метрологічних відмов СССР.

Ця формула є в загальному випадку остаточним результатом, придатним для визначення  $T_{\text{сер}}$  за допомогою ЕОМ. У деяких окремих випадках простих виглядів дрейфу метрологічних характеристик (МХ) СССР можна одержати й вираз безпосереднього зв'язку  $T_{\text{сер}}$  з показниками нестабільності СССР. Для цього перетворимо формулу (2) та одержимо [5]:

$$\lambda(t) = \frac{1}{P(t)} \left[ \begin{array}{c} \mu(t, \Delta) \varphi_0(\Psi(t, \Delta)) \frac{\partial \Psi(t, \xi)}{\partial \xi} \Big|_{\xi=\Delta} - \\ - \mu(t, -\Delta) \varphi_0(\Psi(t, -\Delta)) \frac{\partial \Psi(t, \xi)}{\partial \xi} \Big|_{\xi=-\Delta} \end{array} \right]. \quad (3)$$

З іншого боку, з виразу:

$$P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(\tau) d\tau}, \quad (4)$$

впливає, що:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)}. \tag{5}$$

Тому справедливим буде записати [6]:

$$f(t) = \mu(t, \Delta)\varphi_0(\Psi(t, \Delta)) \frac{\partial \Psi(t, \xi)}{\partial \xi} \Big|_{\xi=\Delta} - \mu(t, -\Delta)\varphi_0(\Psi(t, -\Delta)) \frac{\partial \Psi(t, \xi)}{\partial \xi} \Big|_{\xi=-\Delta}. \tag{6}$$

З огляду на співвідношення, отримані в [5], одержимо наступну формулу:

$$f(t) = -\varphi_0(\Psi(t, \Delta)) \frac{\partial \Psi(t, \Delta)}{\partial t} + \varphi_0(\Psi(t, -\Delta)) \frac{\partial \Psi(t, -\Delta)}{\partial t} = \varphi[G(t, \Delta)] \frac{\partial G(t, \Delta)}{\partial t} + \varphi[G(t, -\Delta)] \frac{\partial G(t, -\Delta)}{\partial t}. \tag{7}$$

Підставимо вираз (7) у співвідношення (1):

$$T_{\text{сер}} = - \int_0^{\infty} t \varphi[G(t, \Delta)] \frac{\partial G(t, \Delta)}{\partial t} dt + \int_0^{\infty} t \varphi[G(t, -\Delta)] \frac{\partial G(t, -\Delta)}{\partial t} dt. \tag{8}$$

У цьому виразі зробимо заміну змінних:  $\eta(t) = G(t, x)$ , де  $x$  дорівнює  $\Delta$  або  $-\Delta$ . При цьому

$$\eta(0) = G(0, x) = \frac{x - m(0)}{\sigma(0)}; \tag{9}$$

$$\eta(\infty) = G(\infty, x) = \lim_{t \rightarrow \infty} G(t, x), \tag{10}$$

де  $t = G^{-1}(\eta, x)$  – функція, обернена  $G(t, x)$ . Таким чином, маємо:

$$T_{\text{сер}} = \int_{G(0, -\Delta)}^{G(\infty, -\Delta)} G^{-1}(\eta, -\Delta) \varphi(\eta) d\eta + \int_{G(\infty, \Delta)}^{G(0, \Delta)} G^{-1}(\eta, \Delta) \varphi(\eta) d\eta. \tag{11}$$

Оскільки  $\lim_{t \rightarrow \infty} G(t, x)$  не залежить від  $x$ , то у виразі (11)  $G(\infty, -\Delta) = G(\infty, \Delta) = G(\infty)$ .

Розглянемо окремі випадки дрейфу МХ ССС [5].

1. Монотонний лінійний дрейф МХ ССС:

$$m_s(t) = m_s(0) + m_v t, \quad \sigma_s(t) = \sigma(0), \quad \frac{\partial \gamma(t)}{\partial t} = 0.$$

У цьому випадку запишемо:

$$\eta(t) = \frac{x - m_v t - m_s(0)}{\sigma_s(0)}; \tag{12}$$

$$G^{-1}(\eta, x) = \frac{x - \eta \sigma(0) - m(0)}{m_v}; \quad G(\infty) = -\infty; \tag{13}$$

і при  $m_v > 0$  маємо:

$$T_{\text{сер}} = \frac{\Delta - m_s(0)}{m_v} \Phi \left( \frac{\Delta - m_s(0)}{\sigma_s(0)} \right) + \frac{\Delta + m_s(0)}{m_v} \Phi \left( -\frac{\Delta + m_s(0)}{\sigma_s(0)} \right) + \frac{\sigma_s(0)}{m_v} \left[ \Phi \left( \frac{\Delta - m_s(0)}{\sigma_s(0)} \right) - \Phi \left( \frac{\Delta + m_s(0)}{\sigma_s(0)} \right) \right]. \tag{14}$$

Так як в початковий момент часу функція визначається:

$$P(0) = \Phi \left( \frac{\Delta - m_s(0)}{\sigma_s(0)} \right) - \Phi \left( -\frac{\Delta + m_s(0)}{\sigma_s(0)} \right) = 1, \tag{15}$$

то виконується умова:

$$\frac{\Delta \pm m_s(0)}{\sigma_s(0)} > 3. \tag{16}$$

Тому має місце нерівність:

$$\Phi \left( \frac{\Delta \pm m_s(0)}{\sigma_s(0)} \right) < 0,004, \tag{17}$$

і другим доданком (14) через малість можна знехтувати. Аналогічно при  $m_v < 0$  одержимо:

$$T_{\text{сер}} = -\frac{\Delta + m_s(0)}{m_v}. \tag{18}$$

Остаточно для розглянутого випадку запишемо:

$$T_{\text{сер}} = \begin{cases} \frac{\Delta - m_s(0)}{m_v}, & m_v > 0, \\ -\frac{\Delta + m_s(0)}{m_v}, & m_v < 0. \end{cases} \tag{19}$$

2. Дрейф середнього значення відсутній, середнє квадратичне відхилення розкиду значень МХ ССС зростає лінійно (віяловий випадковий процес):

$$m_s(t) = m_s(0), \quad \sigma_s(t) = \sigma_s(0) e^{rt}, \quad \frac{\partial \gamma(t)}{\partial t} = 0.$$

У цьому випадку запишемо:

$$\eta = \frac{x - m_s(0)}{\sigma_s(0)} e^{-rt}; \tag{20}$$

$$G^{-1}(\eta, x) = \frac{1}{r} \left[ \frac{x - m(0)}{\eta \sigma(0)} \right]; \quad G(\infty) = 0, \tag{21}$$

де  $r$  – швидкість змінювання логарифму середнього квадратичного відхилення розподілу значень МХ ССС.

І відповідно маємо:

$$T_{\text{сер}} = \frac{1}{r} \ln \left( \frac{\Delta + m_s(0)}{\sigma_s(0)} \right) \left[ 0,5 - \Phi \left( -\frac{\Delta + m_s(0)}{\sigma_s(0)} \right) \right] + \frac{1}{r} \ln \left( \frac{\Delta - m_s(0)}{\sigma_s(0)} \right) \left[ \Phi \left( -\frac{\Delta + m_s(0)}{\sigma_s(0)} \right) - 0,5 \right] - \frac{1}{r} \int_{-\frac{\Delta + m_s(0)}{\sigma_s(0)}}^0 \ln(-\eta) \varphi(\eta) d\eta - \int_0^{\frac{\Delta - m_s(0)}{\sigma_s(0)}} \ln \eta \varphi(\eta) d\eta. \tag{22}$$

Урахуємо, що  $\Phi\left(-\frac{\Delta + m_s(0)}{\sigma_s(0)}\right) \cong 0$  й

$\Phi\left(\frac{\Delta - m_s(0)}{\sigma_s(0)}\right) \cong 1$ . Крім того:

$$\int_{\frac{\Delta + m_s(0)}{\sigma_s(0)}}^0 \ln(-\eta)\varphi(\eta)d\eta = - \int_{\frac{\Delta - m_s(0)}{\sigma_s(0)}}^0 \ln \eta\varphi(\eta)d\eta, \quad (23)$$

і

$$\begin{aligned} \int_{\frac{\Delta + m_s(0)}{\sigma_s(0)}}^0 \ln \eta\varphi(\eta)d\eta - \int_0^{\frac{\Delta - m_s(0)}{\sigma_s(0)}} \ln \eta\varphi(\eta)d\eta \cong \\ \cong -2 \int_0^{\infty} \ln \eta\varphi(\eta)d\eta, \end{aligned} \quad (24)$$

тому що  $\frac{\Delta \pm m_s(0)}{\sigma_s(0)} > 3$ , а даний інтеграл збігається

дуже швидко. Відповідно до [7] одержимо:

$$\begin{aligned} \int_0^{\infty} \ln \eta\varphi(\eta)d\eta &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\infty} \ln \eta e^{-\frac{\eta^2}{2}} d\eta = \\ &= -\frac{1}{4}(C + \ln 2) = -\frac{1,27}{4}, \end{aligned} \quad (25)$$

де  $C = 0,577215\dots$  – стала Ейлера. Тому запишемо [6]:

$$T_{\text{сер}} = \frac{1}{2\tau} \left[ \ln \frac{\Delta^2 - m_s^2(0)}{\sigma_s^2(0)} + 1,27 \right]. \quad (26)$$

Отже, отримані формули (19) і (26) використовуються для оцінювання та подальшого контролю МН ССС з метою своєчасного виявлення початку

екологічно небезпечного впливу аварійної ситуації на довкілля.

## Висновки

В статті розроблено підхід щодо забезпечення своєчасного виявлення початку екологічно небезпечного впливу аварійної ситуації на довкілля, який базується на оцінюванні метрологічної надійності систем спостереження і сповіщення, з урахуванням специфіки їх експлуатації.

## Список літератури

1. Биченок М.М. Проблеми інформатизації в сфері екологічної безпеки / М.М. Биченок // *Стохастические задачи теории оптимизации и надежности*. – 1994. – № 4. – С. 29-34.
2. Пригожин И.Р. Порядок и хаос. Новый диалог человека с природой (пер. с англ.) / И. Пригожин, И. Стенгерс. – М.: Издательство Едиториал, 2003. – 312 с.
3. Brust I. *Urban Ecology* / I. Brust, H. Feldmann, O. Uhlmann. – Spring-Verlag Ed. Berlin: Heidelberg, 1998. – 714 p.
4. Моисеев Н.Н. Судьба цивилизации. Путь разума / Н.Н. Моисеев. – М.: Изд. МНЭПУ, 1998. – 226 с.
5. Яковлев М.Ю. Выбор и обоснование комплекса показателей метрологической надёжности средств измерительной техники авиационных радиотехнических систем / М.Ю. Яковлев // *Будівництво, матеріалознавство, машинобудування*. – 2007. – Вып. 42. – С. 45-49.
6. Фридман А.Э. Теория метрологической надёжности средств измерений / А.Э. Фридман // *Измерительная техника*. – 1991. – № 11 – С. 3-10.
7. Градштейн И.С. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений / И.С. Градштейн, И.М. Рыжик. – М.: Наука, 1971. – 108 с.

Надійшла до редколегії 17.08.2011

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Є.В. Походило. Національний університет "Львівська політехніка", Львів.

## ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ ОЦЕНКИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ НАБЛЮДЕНИЯ И ОПОВЕЩЕНИЯ

М.Ю. Яковлев, И.Б. Некрасов

*В статье предложен подход к обеспечению своевременного обнаружения начала экологически опасного влияния аварийной ситуации на окружающую среду, основанный на оценке метрологической надежности систем наблюдения и оповещения.*

**Ключевые слова:** аварийная ситуация, потенциально опасные объекты, экологическая опасность, метрологическая надежность, системы наблюдения и оповещения.

## THE INCREASE OF ECOLOGICAL SAFETY IS POTENTIAL DANGEROUS OBJECTS BY A WAY ON THE BASIS OF ESTIMATION OF METROLOGY RELIABILITY OF THE SYSTEMS SUPERVISION AND NOTIFICATIONS

M.Ju. Jakovlev, I.B. Nekrasov

*In the article offered approach to providing of timely discovery began ecologically harmful effect of emergency situation on an environment, based on the estimation of metrology reliability of the systems of supervision and notification.*

**Keywords:** emergency situation, potentially dangerous objects, ecological danger, metrology reliability, systems of supervision and notification.