

Розроблені програми є адаптивними і можуть бути використані на базі перерахованих рішень АСУ МО ЗВТ для інженерних розрахунків і наукових досліджень надійності ЗВТ в процесі експлуатації.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Литвиненко В.А. Аналіз показників надійності сукупності засобів вимірювальної техніки в умовах широкого промислового застосування: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.01.02. Київ, 2013. 20с.
2. Ігнаткін В.У., Віткін Л.М., Литвиненко В.А. Комп'ютерний синтез та дослідження імітаційних моделей експлуатації ЗВТ, пристосованих до реальних умов застосування. *Системи обробки інформації*, 2008. Вип. 7(74). С.33-39.
3. Литвиненко В.А. Деякі питання моделювання процесу експлуатації і метрологічного обслуговування засобів вимірювальної техніки при оптимізації метрологічного контролю. *Математичне моделювання*, 2012. Вип 1 (26). С.70-75.
4. Ігнаткін В.У., Литвиненко В.А., Олійник Л.В. Моделі процесів метрологічного обслуговування засобів вимірювальної техніки. *Радіоелектроніка, інформатика, управління*, 2014. № 1(30). С.21-27.
5. Строгаганов А., Жаднов В., Полесский С. Обзор программных комплексов по расчету надежности сложных технических систем. *Компоненты и технологии*, 2007. № 5. С.183-190.
6. Компания MySQLAB. MySQL справочник по языку: пер. с англ. М.: Издательский дом «Вильямс», 2005. 432с. Парал. тит. англ.
7. Коннолли Т. Базы данных: проектирование, реализация и сопровождение. Теория и практика. 2-е изд.: пер. с англ. М.: Издательский дом «Вильямс», 2001. 1120с.: ил. Парал. тит. англ.
8. Фаулер М., Скотт К. UML. Основы.: пер. с англ. СПб.: Символ-Плюс, 2002. 192с.
9. Гутманс Э., Бакен С., Ретанс Д. PHP 5. Профессиональное программирование: пер. с англ. СПб.: Символ-Плюс, 2006. 704с.

Надійшла до редколегії 18.03.2019.

УДК 681.2:006.91.004.15

DOI 10.31319/2519-2884.34.2019.18

ІГНАТКІН В.У., д.т.н., професор  
ЛИТВИНЕНКО В.А., к.т.н., доцент

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

### ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ОПТИМІЗАЦІЇ МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

**Вступ.** Вихід підприємств України на закордонні ринки вимагає виконання умов європейських стандартів серії ISO, потребує розробки методів автоматизованого управління метрологічним обслуговуванням засобів вимірювальної техніки (МО ЗВТ). Оцінка економічного ефекту метрологічних робіт повинна враховувати вплив метрологічної діяльності на результат виробництва. Розробка і впровадження методів оптимізації надійності засобів вимірювальної техніки пов'язана з економічним аналізом надійності метрологічного забезпечення підприємства, що включає оцінку економічної ефективності підвищення надійності засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) і розрахунок

ефекту від впровадження систем автоматизованого управління МО ЗВТ на підприємстві [1-4, 8].

**Постановка задачі.** Мета роботи полягає у розробці методики економічного аналізу ефективності оптимізації метрологічної надійності сукупності груп однотипних ЗВТ в автоматизованих системах управління метрологічним забезпеченням промислових підприємств.

**Результати роботи.** Економічний ефект розроблених процедур оцінки і аналізу рівня надійності для сукупностей ЗВТ, вибору міжперевірочного інтервалу (МПІ), багатопараметричної оптимізації параметрів системи МО ЗВТ повинен включати наступні складові: економічна ефективність від забезпечення заданого рівня метрологічної надійності сукупності вимірювань на підприємстві; ефект від впровадження і термін окупності автоматизованого робочого місця (АРМ), оцінки і аналізу надійності ЗВТ.

В першому випадку необхідно провести дослідження впливу метрологічної складової надійності ЗВТ на якість продукції. Для розрахунку використаємо дані статистичних досліджень груп однотипних ЗВТ, наведені в роботах [5-7] для промислових підприємств.

Нехай парк ЗВТ підприємства нараховує  $N=3500$  одиниць електровимірювальних приладів, які складають п'ять груп однотипних приладів  $M_T = 5$ . Для виготовлення продукції існує  $P_{pm} = 8$  типів робочих місць, на яких встановлено ЗВТ, а в кожному типі  $P_k$  ( $k = 1, \dots, P_{pm}$ ) робочих місць  $k$ -го типу (вектор  $P = [800 \ 500 \ 260 \ 200 \ 450 \ 590 \ 400 \ 300]$ ). Кількість одиниць ЗВТ в кожній групі  $n_j$  ( $j = 1, \dots, M_T$ ) представимо у вигляді вектора  $n = [1100; 600; 300; 700; 800]$  (табл.1-3).

Сумарні втрати від браку по причині метрологічних відмов в ЗВТ [7]

$$C^{\text{бп}} = \sum_{j=1}^{M_T} (1 - K_{Д_j}) \sum_{k=1}^{P_{pm}} q_{jk} \cdot P_k \cdot C_{jk}^{\text{бп}}, \quad (1)$$

де  $K_{Д_j}$  – коефіцієнт достовірності  $j$ -ї групи однотипних приладів,  $q_{jk}$  – величина, яка вказує тип і кількість ЗВТ кожного типу на робочому місці деякого типу,  $C_{jk}^{\text{бп}}$  – штрафні коефіцієнти застосування даного типу ЗВТ з метрологічною відмовою на визначеному типі робочого місця (втрати від браку, визначаються типом конкретного виробництва). Всі величини вартості для зручності обчислень будемо виражати в умовних одиницях (у.о.), що при необхідності дозволить перевести дані величини в необхідні грошові одиниці.

Таблиця 1 – Загальні характеристики надійності груп ЗВТ

$j$	Середнє значення напрацювання на метрологічну відмову $T_m$ , год.	$\frac{\sigma_m}{T_m}$	Середнє значення напрацювання на явну відмову $T_y$ , год.
1	112320	0,94	112320
2	23414	0,72	100000
3	31968	1,35	100000
4	34905	1,08	150000
5	37670	1,37	150000

Тип і кількість ЗВТ на робочому місці  $q_{jk}$  напишемо для даного прикладу у вигляді матриці  $Q$  розміром  $(5 \times 8)$ , штрафні коефіцієнти зведемо в масив  $C$  відповідно. Для зручності розрахунків прийнемо  $C_{jk}^{bp} = 1$ .

$$Q = \begin{bmatrix} 500 & 350 & 0 & 0 & 100 & 150 & 0 & 0 \\ 200 & 150 & 200 & 50 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 100 & 0 & 0 & 0 & 0 & 200 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 60 & 100 & 300 & 240 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 50 & 50 & 0 & 400 & 300 \end{bmatrix}, \quad C = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}.$$

Таблиця 2 – Оцінка фактичного рівня метрологічної надійності однотипних груп ЗВТ

Групи однотипних ЗВТ	МПП, $\tau$ , год.	Значення коефіцієнта достовірності $K_{Dj}$		Цільова функція вартості	
		$p_m(t) = \exp(t, T_m)$	$p_m(t) = DN(t, T_m)$	$CF_{exp}$	$CF_{DN}$
1	8640	0,9597	0,9996	0,0663	0,0262
2	8640	0,8301	0,9699	0,1967	0,0563
3	8640	0,8706	0,9019	0,1560	0,1248
4	8640	0,8795	0,9569	0,1470	0,0692
5	8640	0,8874	0,9228	0,1389	0,1036

Таблиця 3 – Оцінка експлуатаційного рівня метрологічної надійності однотипних груп ЗВТ

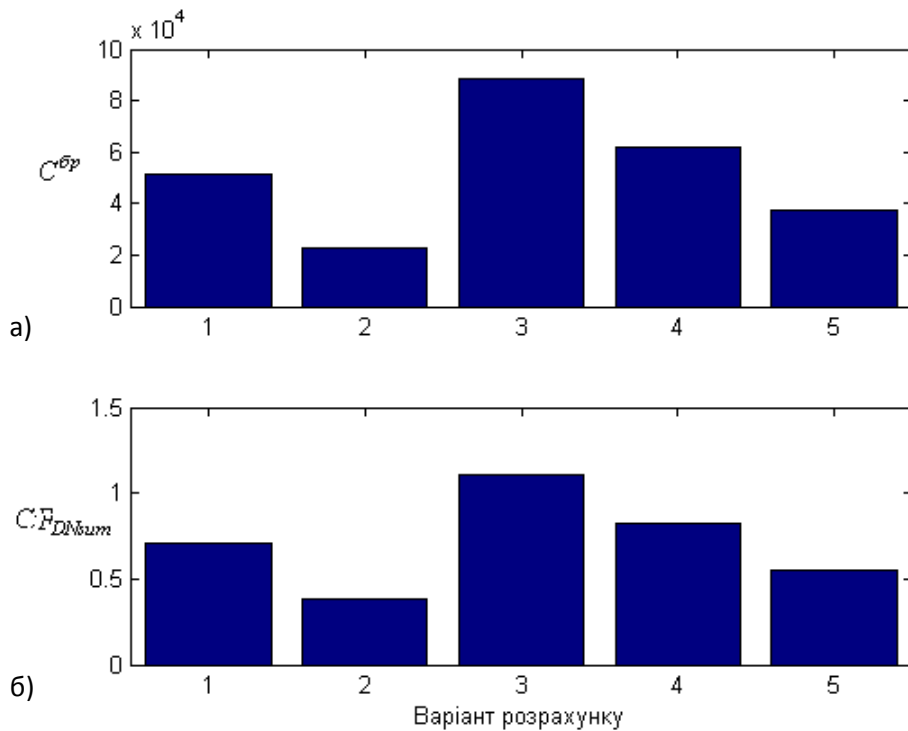
Групи однотипних ЗВТ	$\tau_{opt}$ , год.	Значення коефіцієнта достовірності $K_{Dj}$		Цільова функція вартості	
		$p_m(t) = \exp(t, T_m)$	$p_m(t) = DN(t, T_m)$	$CF_{exp}$	$CF_{DN}$
1	57600	0,7946	0,8851	0,2309	0,1404
2	8640	0,8301	0,9699	0,1967	0,0563
3	18000	0,7634	0,7488	0,2628	0,2775
4	17280	0,7840	0,8414	0,2421	0,1847
5	12240	0,8476	0,8646	0,1786	0,1617

Із табл.2-3 випливає, що підвищення рівня метрологічної надійності сукупності ЗВТ по парку приладів на основі удосконаленої методики аналізу надійності дозволяє вдвічі знизити сумарні витрати на МО і втрати від відмов в ЗВТ (цільова функція  $CF_{DN}$ ), а також втрати від браку для конкретної виробничої системи (критерій  $C^{bp}$ ) (табл.4).

Таблиця 4 – Результати розрахунку оптимального МПП

$j$	1	2	3	4	5
$\tau_{opt2}$	48960	10080	8640	12240	9800
$K_D$	0,9131	0,9522	0,9019	0,9096	0,9038
$CF_{DN}$	0,1124	0,0740	0,1248	0,1166	0,1226

Діаграма на рис.1. ілюструє однакову динаміку впливу метрологічної надійності на якість продукції для обох критеріїв при різних варіантах розрахунку і оптимізації надійності ЗВТ.



а) –  $C^{bp} = [51543; 22401; 88227; 62118; 37646]$ ;

б) –  $CF_{DNsum} = [0.7049; 0.3801; 1.1111; 0.8206; 0.5504]$ , де  $CF_{DNsum} = \sum_{j=1}^{M_T} CF_{DNj}$

Рисунок 1 – Аналіз економічних критеріїв оптимізації метрологічної надійності ЗВТ

Економічний ефект при переході від існуючого МПІ (табл.3) до оптимального (табл.4) в середньому по 5-ти групах ЗВТ для даного приладного парку, якщо відома вартість метрологічного обслуговування ЗВТ  $C_{ef}$ , можна виразити як

$$E_1 = \frac{(CF_{DNsum})_{\tau_{optm1}}}{(CF_{DNsum})_{\tau_{optm2}}} C_{ef} \cdot 12. \text{ Якщо, наприклад, прийняти } C_{ef} = 1500 \text{ у.о., то отримаємо}$$

$$E_1 = 26836 \text{ у.о. або } E'_1 = C_{\tau_{optm1}}^{bp} - C_{\tau_{optm2}}^{bp} = 24472 \text{ у.о.}$$

Для оцінки ефективності впровадження АРМ аналізу надійності і оптимізації параметрів системи МО ЗВТ скористаємось спрощеною методикою розрахунку [1, 2]. Задамо спочатку початкові дані:  $N = 3500$  шт. – кількість одиниць ЗВТ;  $Z_n = 185$  у.о. – середня заробітна плата в місяць одного робітника;  $T_z = 174$  год. – середня кількість робочих годин в місяць;  $HP = 190\%$  – накладні витрати;  $OC = 14\%$  – процент відрахування на соціальне страхування;  $E_n = 0,15$  – нормативний коефіцієнт капітальних вкладень;  $n = 3$  – кількість задач (збір і обробка статистики відмов, оцінка і аналіз експлуатаційної надійності ЗВТ, оптимізація параметрів МО ЗВТ);  $T_{y0} = 0,21$  норм.-год. – трудомісткість на один прилад по всіх задачах;  $T_{ez} = 0,05$  год. – час на розв’язок окремої

задачі;  $C_{z, EOM} = 60$  у.о. – вартість однієї години роботи на ЕОМ (враховує вартість обладнання і програмно-алгоритмічного забезпечення);  $T_{но} = 9$  год. – час на підготовку даних для ЕОМ (годин на рік). Підстановка цих даних в алгоритм розрахунку економічної ефективності  $E_2 = Z_1 - Z_2$  [1, 2], де  $Z_1$  – експлуатаційні витрати при ручній обробці даних, а  $Z_2$  – загальні річні витрати при впровадженні АРМ, дає наступні результати:  $E_2 = 13252$  у.о., при цьому термін окупності впровадження складає  $T_{ок} = 0,35$  року.

У результаті для розглянутого прикладу організації парку ЗВТ сумарна економічна ефективність запропонованих процедур  $E$  повинна включати економію від підвищення метрологічної надійності сукупності ЗВТ і ефект від автоматизації задач аналізу рівня надійності і вибору оптимального МПІ:

$$E = E'_1 + E_2 = 24472 + 13252 = 37724 \text{ у.о.}$$

**Висновки.** Проведене дослідження впливу метрологічної складової надійності на якість продукції, що випускається, доводить економічну ефективність запропонованих засобів оцінки і аналізу експлуатаційної надійності сукупності ЗВТ. Показано, що застосування розроблених процедур дозволяє на 50% знизити втрати від браку на робочих місцях. Доведено, що використання удосконаленої методики аналізу надійності ЗВТ дозволяє підвищити достовірність діагностики і контролю рівня надійності парку ЗВТ.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Литвиненко В.А. Аналіз показників надійності сукупності засобів вимірювальної техніки в умовах широкого промислового застосування: автореф. дис. ... канд. техн. наук: стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення: 05.01.02. Київ, 2013. 20с.
2. Ігнаткін В.У., Віткін Л.М., Литвиненко В.А. Обґрунтування концепції оптимізації метрологічного обслуговування засобів вимірювальної техніки, оцінки його параметрів і показників функціонування. *Системи озброєння і військова техніка*. Харків: ХУПС, 2008. Вип. 3(15). С.94-103.
3. Ігнаткін В.У., Віткін Л.М., Литвиненко В.А. Комп'ютерний синтез та дослідження імітаційних моделей експлуатації ЗВТ, пристосованих до реальних умов застосування. *Системи обробки інформації*, 2008. Вип. 7(74). С.33-39.
4. Деякі питання оптимізації параметрів системи метрологічного обслуговування засобів вимірювальної техніки / Ігнаткін В.У., Віткін Л.М., Литвиненко В.А., Білий О.І. *Український метрологічний журнал*. Х.: ННЦ «Інститут метрології», 2011. №1. С.11-15.
5. Литвиненко В.А. Деякі питання моделювання процесу експлуатації і метрологічного обслуговування засобів вимірювальної техніки при оптимізації метрологічного контролю. *Математичне моделювання*, 2012. Вип 1 (26). С.70-75.
6. Ігнаткін В.У., Литвиненко В.А., Білий О.І. Розв'язок задачі вибору оптимальних параметрів метрологічного обслуговування засобів вимірювальної техніки методом Монте-Карло. *Збірник наукових праць Дніпродзержинського державного технічного університету (технічні науки)*, 2012. Вип. 1 (18). С.72-79.
7. Ігнаткін В.У., Литвиненко В.А., Олійник Л.В. Моделі процесів метрологічного обслуговування засобів вимірювальної техніки. *Радіоелектроніка, інформатика, управління*, 2014. № 1(30). С.21-27.
8. Ігнаткін В.У., Литвиненко В.А. Оцінка і аналіз залежностей показників надійності радіоелектронних систем в процесі експлуатації. *Збірник наукових праць Дніпродзержинського державного технічного університету (технічні науки)*, 2015. Вип 2 (27). С.113-117.

Надійшла до редколегії 18.03.2019.