

Запропоновано у якості елемента узгоджуючої структури ФАР застосовувати шар пінопласту, розташованого між апертурою антени та шаром діелектрика. Дослідження застосування такого варіанту УС дозволило покращити механічні властивості ФАР при збереженні основних експлуатаційних параметрів.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Амитей Н., Галиндо В., Ву Ч. Теория и анализ фазированных антенных решеток. М.: Мир, 1974. 455с.
2. Мануилов Б.Ю., Шабловский В.М. Возбуждение решетки плоских волноводов, покрытой слоем диэлектрика конечной длины. *Изв. вузов. Радиоэлектроника*, 1985. № 2. С.96-98.
3. Бодров В.В., Войнов С.А. Применение вертикальных проводящих штырей и диэлектрических вставок для согласования волноводных ФАР. *Изв. вузов. Радиофизика*, 1986. №7. С.825-832.
4. Антенны и устройства СВЧ. Проектирование фазированных антенных решеток / под ред. Д.И.Воскресенского. М.: Радио и связь, 1994. 592с.
5. Van Schaik H.J. The performance of an iris-loaded planar phased-array antenna of rectangular waveguides with an external dielectric sheet. *IEEE Trans. Antennas Propag.* May 1978. Vol. 26, No. 3. P.413-419.
6. User's guide High Frequency Structure Simulator / Ansoft Corporation. 801p.

Надійшла до редколегії 01.04.2019.

УДК 681.2:006.91.004.15

DOI 10.31319/2519-2884.34.2019.17

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

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

### АВТОМАТИЗОВАНИЙ РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЙ ПРОГРАМУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ МЕРЕЖ

**Вступ.** Для ефективної роботи спеціалістів метрологічної служби підприємства, на якому експлуатується або впроваджується автоматизована система управління метрологічним обслуговуванням засобів вимірювальної техніки (АСУ МО ЗВТ), найбільш важливими вимогами до програмних засобів реалізації методів оцінки і аналізу надійності засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) є: основою обчислювальних алгоритмів повинні бути науково обґрунтовані методи розрахунку надійності; забезпечення необхідної точності і достовірності отриманих результатів розрахунку; програми повинні бути уніфікованими і мати зручний інтерфейс користувача; створення і динамічне коригування бази даних ЗВТ підприємства; зручний графічний інтерфейс для візуалізації результатів розрахунку; відкритий програмний код алгоритмів аналізу надійності для доповнення і внесення змін спеціалістами метрологічних служб [1].

**Постановка задачі.** Метою роботи є розробка методу і програмних засобів автоматизованої оцінки показників надійності ЗВТ на основі технології програмування інформаційних мереж.

**Результати роботи.** Програмні засоби, які реалізують роботу модуля «Оцінка і аналіз експлуатаційної надійності ЗВТ», виконано в операційній системі Windows 7 і

використовують мову програмування система управління базою даних (СУБД) PHP 5. В основу покладено методику і алгоритми, запропоновані в роботах [1-4]. Серед аналогів слід відмітити інтегровану систему ISANT, основу якої складають класичні математичні методи розрахунку надійності технічних систем. Дане програмно-алгоритмічне забезпечення дозволяє автоматизувати розв'язок задач аналізу показників надійності системи при різних законах розподілення напрацювання на відмову (експоненціальний, рівномірний, гамма, усічений нормальний, Релея, Вейбулла, нормальний), а також вплив профілактики на надійність. Програмні комплекси RELEX (Relex software Corporation, США), ISOGRAF (Великобританія), програми Weibull<sup>++</sup> і RCM<sup>++</sup> корпорації Relia Soft та інш. базуються на застосуванні логіко-ймовірнісного моделювання, вимагають високої підготовки в області статистики і не розраховані на роботу в складі АСУ підприємства [1, 5]. Розроблений програмний модуль «Оцінка і аналіз експлуатаційної надійності ЗВТ» включає три самостійних алгоритми для обчислення залежностей показників надійності від параметрів МО ЗВТ для заданих вхідних розподілів ймовірності виникнення відмов: 1 – експоненціальна модель метрологічних і явних відмов; 2 – дифузійно-монотонна модель метрологічної відмови і експоненціальна модель явної відмови; 3 – дифузійно-немонотонна модель метрологічної відмови і експоненціальна модель явної відмови.

Розроблений комплекс програмних модулів сполучений і повноцінно працює з базою даних MySQL, яка є багатопотоковим сервером для малих і середніх програмних продуктів. В дистрибутив MySQL входить бібліотека внутрішнього серверу, яка дозволяє включати MySQL в автономні програми. СУБД MySQL в нашому випадку використовує таблиці типу MyISAM, які підтримують повнотекстовий пошук та забезпечують високу швидкість запитів та зчитування із таблиць баз даних (БД) ЗВТ підприємства.

Алгоритми розрахунку модуля оцінки і аналізу надійності парку ЗВТ реалізовані в середовищі PHP 5.3. Даний програмний продукт є інтерпретатором, створеним для генерації HTML-сторінок на веб-сервері і роботи з БД. В даний час підтримується переважною більшістю хостерів. Входить в стандартний набір для створення веб-сайтів (Linux, Apache, MySQL) [6-9].

Розроблені PHP-модулі, які представляють собою обчислювальну процедуру роз-

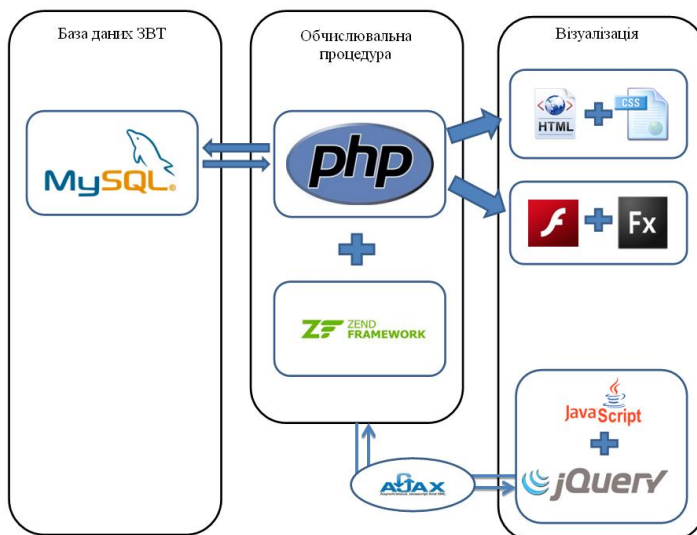


Рисунок 1 – Блок-схема технологій програмування інформаційних мереж, використаних для автоматизації процедури аналізу надійності ЗВТ

рахунку показників надійності ЗВТ, побудовані на платформі Zend Framework, що додає програмам гнучкості і стабільності в процесі роботи. Zend Framework є вільним каркасом на PHP для створення сучасних web-додатків. Завдяки Zend Framework у будь-який момент дані програмні модулі можна розширити в плані функціонала без особливих труднощів в зміні коду. Код програми побудований на моделі MVC (Model-view-controller) – архітектура програмного забезпечення, в якій модель даних, інтерфейс користувача і керуюча логіка розділені на три окремі компоненти.

Для побудови і виводу графіків залежності показників надійності від параметрів системи метрологічного обслуговування засобів вимірювальної техніки (СМО ЗВТ) використано графічні можливості візуалізації технології Adobe Flash (розробка Adobe Systems) – набір класів, який розширює можливості базової технології Flash. Інтерфейс веб-додатка в нашому випадку описується на XML, результатом компіляції є файл SWF, який виконується на браузері Mozilla Firefox. Для динамічної зміни графіків залежностей показників надійності (інтерфейс XML) без оновлення всієї веб-сторінки діалогового вікна, тобто не застосовувати HTML та CSS і реалізовувати запит до сервера тільки для розрахунку показників надійності, доцільно скористатися можливостями технології Ajax. При цьому взаємодію між користувачем і сервером регулює Ajax-двигун, який визначає пріоритет обробки запитів на сервері і на самому браузері. На рис.1 наведено блок-схему, яка узагальнює всі використані при розробці програмного модуля технології програмування інформаційних мереж і є загальною технологією автоматизованого розв'язку задач діагностики і моніторингу надійності ЗВТ в складі АРМ метролога.

При комплексному використанні розглянутих вище технологій вдалося реалізувати високу інтерактивність при роботі модуля разом з можливостями мережі Інтернет.

На основі запропонованої технології розроблено рекомендації оцінки і аналізу експлуатаційної надійності ЗВТ (в інтерактивному режимі автоматизованого робочого місця (АРМ) метролога).

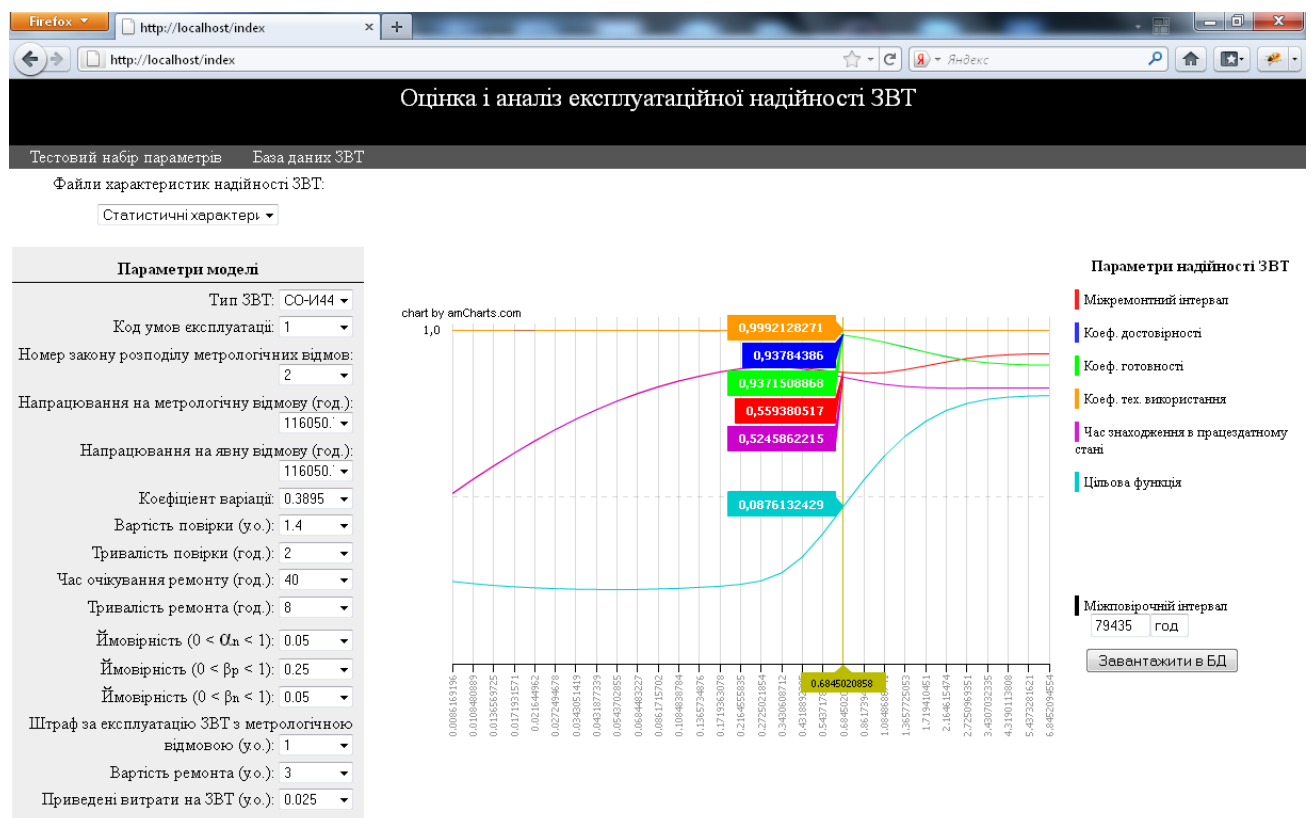


Рисунок 2 – Приклад вибору оптимального МПП за критерієм мінімуму  $C_{ЗВТ}$  при обмеженні  $K_{Д} \geq 0,9$

Програмний модуль АРМ орієнтований на розв'язок трьох основних задач аналізу надійності парку ЗВТ: 1 – оцінка фактичного стану (на даний момент часу) рівня надійності груп однотипних ЗВТ. Розрахунок значень показників надійності ЗВТ про-

водять для призначеного на підприємстві МПІ при фіксованих інших параметрах МО ЗВТ; 2 – будуються залежності показників надійності і цільової функції від періоду проведення перевірочних робіт при фіксованих інших параметрах МО ЗВТ; 3 – враховуючи значення цільової функції і обмеження виробництва на показники надійності ЗВТ, призначати оптимальні (у визначеному розумінні) МПІ як індивідуальні, так і для груп приладів.

Слід додати, що дану процедуру можна використовувати для дослідження впливу параметрів якості обслуговування і ремонту на показники надійності, а також доповнити функціями 3-D візуалізації для побудови поверхні цільової функції і вибору комбінації оптимальних параметрів СМО ЗВТ методом Монте-Карло [1-4].

Пошук мінімуму цільової функції аналітичними і чисельними методами є складною обчислювальною процедурою, яка вимагає додаткового часу на проведення розрахунків і не завжди дає достовірні результати. Як показали проведені в [1-4] дослідження, положення мінімуму цільової функції визначається характеристиками напрацювання на метрологічну і явну відмову. Відомо також, що локальний оптимум цільової функції не завжди може служити критерієм для вибору МПІ при наявності обмежень на коефіцієнти експлуатаційної надійності ЗВТ. В зв'язку з цим, запропоновано оригінальне рішення на основі апарату графічного сканування, який полягає в наступному: будуються графіки залежностей від періоду проведення перевірочних робіт наступних величин:  $t_1$ ,  $K_G$ ,  $K_D$ ,  $K_{TB}$ ,  $T_{MP}$  і  $C_{ЗВТ}$ . Після розрахунків залежностей і виводу графіків на екран користувач в діалоговому режимі АРМ встановлює горизонтальний покажчик (динамічне середовище сканування графіків по пікселях) в точку мінімуму цільової функції (рис.2).

Горизонтальний покажчик перетинає графіки залежностей і виводить на екран значення показників надійності в точках перетину.

Переміщаючи покажчик, користувач з заданою частотою дискретизації діапазону зміни  $T_n$  коригує МПІ в області оптимальних значень при обмеженнях на показники надійності або при фіксованому МПІ вирішує задачу оцінки фактичного стану надійності парку ЗВТ в реальному масштабі часу. Поле «Номер закону розподілу метрологічних відмов» включає функцію «select», за допомогою якої користувач обирає потрібний вид закону розподілу:

- 1 – експоненціальний розподіл;
- 2 – дифузійно-монотонний;
- 3 – дифузійно-немонотонний.

На основі вхідних даних розглянутого вище прикладу розв'язано задачу вибору оптимальних значень параметрів СМО ЗВТ методом Монте-Карло. Наприклад, при об'ємі статистичних випробувань  $N=10^5$  діапазон варіювання параметрів СМО ЗВТ:  $\alpha_n = \beta_n = 0,05 \dots 0,2$ ,  $\beta_p = 0,25 \dots 0,35$ ,  $\tau_n = 1 \dots 6$ ,  $\tau_p = 3 \dots 8$ ;  $T_n = 8 \times 10^4 \dots 1,6 \times 10^5$ , вектор комбінації оптимальних параметрів СМО ЗВТ  $\pi = |0,0583, 0,0508, 0,2535, 8,0203e^{+04}, 2,5244, 6,4182|^T$ , при цьому значення цільової функції  $CF^{(k)} = 0,0602$  при рівні технічної надійності  $K_G = 0,9645$ ,  $K_{TB} = 0,9651$  (коефіцієнт технічного використання ЗВТ за час життєвого циклу  $T_u$ ) і метрологічної  $K_D = 0,9651$ , що підтверджує ефективність розроблених процедур і достовірність отриманих результатів.

**Висновки.** Таким чином, розроблений модуль дозволяє ефективно проводити кількісний аналіз рівня експлуатаційної надійності парку ЗВТ сучасних промислових підприємств і визначати оптимальну періодичність (за критеріями експлуатаційної надійності і показника економічної ефективності МО ЗВТ) проведення перевірочних і ремонтних робіт в складі АРМ метролога.

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