

**Список літератури**

1. Шевцов Э.А. Фотоприемные устройства волоконно-оптических систем передачи/ Э.А.Шевцов, М.Е.Белкин - М.: Радио и связь, 1992. - 224 с.
2. Зуев В.А. Фотозлектрические МДП-приборы / В.А. Зуев, В.Г. Попов. - М.: Радио и связь, 1983. - 160 с.
3. Sachenko A.V. Photocarpcitike effect in MIS structures/ A.V.Sachenko, V.A.Zuev, V.O.Litovchenko, P.Peikof-Phys.Stat.Sol (a),1974, v.21, N1, p.345-355.
4. Зингаева Е.И. Шумовые характеристики фотодиода на основе CdP<sub>2</sub>/ Е.И.Зингаева, Л.М.Горыня,

В.А.Зуев.-Система управління, навігації та зв'язку.-, Полтава: 2013. - Вип. 3(27). С.150-152.

5. Тукоси Т. Волоконно-оптические устройства / Т. Тукоси, К. Камото, М. Оцу, С. Кома, Н. Косе, В. Хакамада, С. Мору ; под ред. Т. Тукоси; пер. с япон. под ред. П. Р. Иванова. – Ленинград : Энергоатомиздат, 1990. – 256 с.

Поступила в редколлегию 22.12.2014

**Рецензент:** д-р техн. наук., проф. А.А. Манько, Государственный университет телекоммуникаций, Киев.

**ВИКОРИСТАННЯ ФОТОВАРИКАПІВ ДЛЯ ОПТИЧНОГО ЗВ'ЯЗКУ**

О.І. Зингаєва, В.А. Зуєв, Б.Н. Романюк, Є.В. Гаврилко

*Досліджені вольтафазні та шумові характеристики фотоварикапів на основі кремнію і германію. Створено макет приймального оптичного модуля. Показана перспективність використання фотоварикапів у волоконний-оптичних СПД.*

**Ключеві слова:** фотоварикап, фотоприймачі, приймальний оптичний модуль.

**PHOTO-VARICAPS APPLICATIONS IN OPTICAL TELECOMMUNICATION**

E.I. Zingaeva, V.A. Zuev, B.N. Romanyuk, E.V. Gavrilko

*The current-phase and noise characteristics of photo-varicaps, based on Silicon and Germanium, have been investigated. The Model of Optical Receiver has been presented. The outlook of using photo-varicaps in fiber-optical transmission systems has been introduced*

**Keywords:** photo-varicap, photodetectors, optical receiver.

УДК 62-192:681.2:004.89

Н.А. Зубрецька, С.С. Федін, Т.В. Чуприна

Київський національний університет технологій та дизайну, Київ

**МОДЕЛЮВАННЯ МЕТРОЛОГІЧНОЇ НАДІЙНОСТІ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ НА ОСНОВІ НЕЧІТКИХ МНОЖИН**

*Визначено системні складові та наукові завдання проблеми забезпечення метрологічної надійності засобів вимірювальної техніки та запропоновано способи її вирішення на основі сучасних підходів структурно-параметричного та нечіткого моделювання.*

**Ключові слова:** метрологічна надійність, засоби вимірювальної техніки, причинно-наслідкова діаграма, нечіткі множини, функції належності.

**Вступ**

Вимоги сучасного виробництва, пов'язані з підвищенням точності вимірювань, з використанням сучасних засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) у виробничому процесі, зумовлюють необхідність забезпечення їх метрологічної надійності (МН), тобто справності ЗВТ за усіма метрологічними характеристиками (МХ) протягом життєвого циклу [1]. Більшість досліджень надійності ЗВТ на стадіях їх життєвого циклу спрямована на вирішення наступних проблем: оцінювання та прогнозування надійності виробів (апріорні методи), підтвердження проєктованого рівня надійності (апостеріорні методи), оптимізація стратегії технічного обслуговування (оптимізаційні задачі) (рис. 1).

Відсутність моделей, що описують зв'язок показників надійності з фізичними характеристиками

ЗВТ і зовнішніми умовами експлуатації, не дає можливості забезпечити необхідний рівень їх надійності. Слід зазначити, що існуючі методи дослідження надійності ЗВТ у наш час не задовольняють вимогам практики і рівню технології виробництва. Враховуючи комплексний характер та багатofакторність проблеми забезпечення МН, її вирішення сьогодні неможливе лише на основі загальновідомих наукових принципів [2, 3], теоретичних і практичних механізмів їх реалізації та потребує нових способів та підходів [4-10].

**Постановка задачі дослідження метрологічної надійності ЗВТ**

Аналіз наукових положень теорії МН [2] показав, що сучасні уявлення про кінетику процесів старіння та зношування ЗВТ базуються на вирішенні основних проблем:

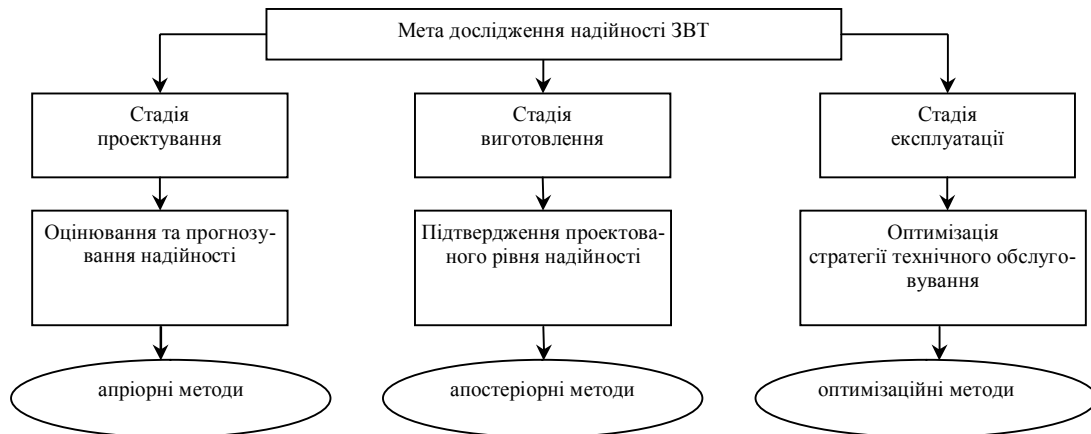


Рис. 1. Мета та методи дослідження надійності ЗВТ на стадіях життєвого циклу

- встановленні загальних закономірностей дрейфу МХ, наприклад, у виді диференціального рівняння відносно ймовірності знаходження нестабільності МХ в довільних межах;

- знаходженні ймовірнісного розподілу нестабільності МХ та представленні її довірчих меж;

- розробленні методів аналітичного оцінювання показників МН ЗВТ з урахуванням їх нестабільності в різних точках діапазону вимірювань;

- обґрунтування припущення, що крайні точки діапазону вимірювань МХ ЗВТ, які мають лінійні градувальні характеристики, є найбільш ймовірними точками виникнення метрологічних відмов;

- розроблення рекомендацій щодо використання структурних методів підвищення стабільності МХ ЗВТ на етапі проектування;

- створення комплексу методів обґрунтування та уточнення міжповірного інтервалу (МПІ) та контрольних допусків на МХ ЗВТ.

Таким чином, основні задачі забезпечення надійності пов'язані з встановленням закономірностей виникнення метрологічних відмов і кількісним оцінюванням показників надійності.

До теперішнього часу в теорії та практиці надійності технічних об'єктів найбільший розвиток отримав напрям, заснований на використанні ймовірнісних концепцій (ймовірнісна теорія), коли метрологічні відмови розглядаються як випадкові події, а МН оцінюється за критерієм належності ЗВТ до двох видів фізичного стану (справність і несправність) на основі статистичних методів [2, 5].

Необхідно відзначити, що регламентовані нормативною документацією статистичні методи, які переважно застосовуються для оцінки надійності технічних об'єктів, недостатньо ефективні при дослідженні надійності високонадійних ЗВТ, при проектуванні та експлуатації складних технічних об'єктів, тобто там, де недостатньо інформації або взагалі відсутня статистика відмов.

У цьому випадку ефективне застосування можуть мати методи непараметричного моделювання,

до яких належать методи теорії нечітких множин, що мають значні переваги в умовах апіорної невизначеності про вид закону розподілу одного або декількох показників МН ЗВТ.

Тому актуальним завданням сучасної метрологічної системи є розробка нових науково обґрунтованих підходів щодо забезпечення МН ЗВТ із застосуванням багатокритеріальних методів та моделей, що ґрунтуються на спільному використанні традиційних статистичних методів і методів непараметричного моделювання.

**Метою статті** є визначення системних складових проблеми забезпечення МН ЗВТ та способів її вирішення на основі спільного використання статистичних методів і принципів нечіткої логіки.

### Систематизація складових проблеми забезпечення МН ЗВТ

Забезпечення МН ЗВТ вимагає чіткого розуміння її системних складових, проблем теорії та практики МН, шляхів їх вирішення, знання структури критеріїв і показників МН, удосконалення методів їх оцінки (рис. 2).

Аналіз наукових досліджень теорії МН ЗВТ показав необхідність розв'язання комплексу актуальних науково-технічних і практичних завдань [2 – 5]:

- розробка нових підходів, методів, моделей для оцінки та прогнозування динаміки зміни МХ ЗВТ [2–6];

- дослідження тривалості МПІ ЗВТ з метою його оптимізації при встановленні та корегуванні [6];

- технічна модернізація й оновлення парку ЗВТ [7];

- розроблення нових, перегляд та гармонізація чинних нормативних документів;

- створення автоматизованих систем діагностики МХ у процесі експлуатації ЗВТ [8, 9];

- удосконалення метрологічних систем на основі розробки нових організаційно-технічних та методичних підходів до управління МН ЗВТ [10].



Рис. 2. Системні складові, проблеми теорії та практики МН ЗВТ та способи їх вирішення

### Структурно-параметричне моделювання МН ЗВТ на основі нечітких множин

Одним з основних показників МН є дрейф МХ ЗВТ, нормованих згідно ДСТУ ГОСТ 8.009:2008 [11]. Основною формою підтримки МН є періодичні повірки ЗВТ [12, 13]. Чим частіше проводитимуться повірки ЗВТ, тим вище його МН і менший ризик вимірювального браку. Але, з іншого боку, чим частіше проводяться повірки, тим вищі витрати на їх проведення. Ці витрати повинні окупатися реальним підвищенням якості вимірювань за рахунок зменшення похибки або невизначеності повірки.

МН ЗВТ залежить від МПІ та визначається низкою технічних факторів найважливішими з яких є: тип ЗВТ, умови застосування, інтенсивність експлуатації та дотримання правил, встановлених інструкцією з експлуатації, кількість і якість проведених ремонтів, частота та якість контрольних повірок на місці експлуатації, частота взаємних звірень з іншими ЗВТ тієї ж точності, значення контрольного допуску при повірці та вимоги до точності вимірювань (рис. 3) [2].

Проте причинно-наслідкова діаграма має певні недоліки – при її побудові та застосуванні залишається невикористаним великий обсяг інформації: повною мірою не враховуються кількісні та якісні характеристики факторів, ступінь бажаності їх значень з точки зору забезпечення найкращого результату, не береться до уваги нерівнозначність часткових критеріїв з точки зору їх внеску у формування узагальненого показника.

Подолання вказаних недоліків можливе на основі застосування апарату нечіткої логіки (для математичної формалізації факторів з використанням функцій належності) та подальшого аналізу рангів факторів методом аналізу ієрархій (за матрицями парних порівнянь) [14].

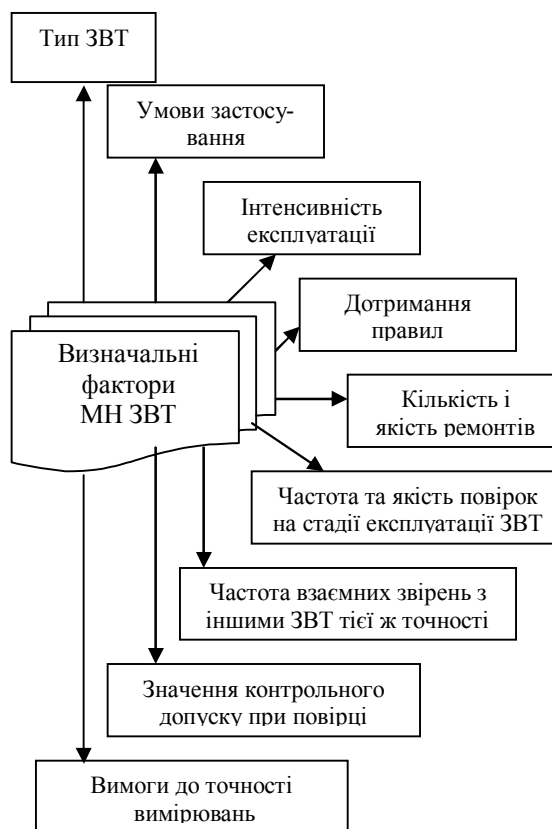


Рис. 3. Технічні фактори, що визначають МН ЗВТ

Для оцінки показників МН, визначення ієрархічної структури факторів впливу і встановлення взаємозв'язків між ними побудовано причинно-наслідкову діаграму Ісікави (рис. 4). Побудова діаграми включала три етапи.

**1. Визначення факторів впливу.** На основі аналізу апріорної інформації про теоретичні та практичні аспекти експлуатації ЗВТ встановлюється розширений перелік факторів, що впливають на МН ЗВТ.

**2. Групування та структуризація факторів** проводиться по рівню їх значущості з позицій структурно-ієрархічного підходу на основі аналізу експертних висновків. Для цієї мети застосовують експертні методи (ранжування, «мозковий штурм», метод Делфі та інші). З урахуванням специфіки досліджуваного процесу виділено первинні складові, що впливають на МН ЗВТ: тип ЗВТ; умови експлуатації ЗВТ; регламентні роботи; кваліфікація персоналу (рис. 4). У подальшому здійснюється аналіз кожної первинної складової МН ЗВТ та визначаються вторинні складові – фактори другого рівня значущості,

для яких у свою чергу можуть бути визначені фактори третього рівня (третинні).

Розроблена система вербально описаних факторів дозволяє здійснити якісний аналіз складових МН ЗВТ під час перевірки для проведення їхньої подальшої кількісної оцінки. У кожному окремому випадку необхідно провести аналіз кожної вторинної та третинної складової, враховуючи, що не всі складові дадуть відчутний вплив на МН ЗВТ. Необхідно здійснити попередню оцінку впливу вторинних або третинних складових, і якщо він виявиться незначним, то такими складовими можна знехтувати.

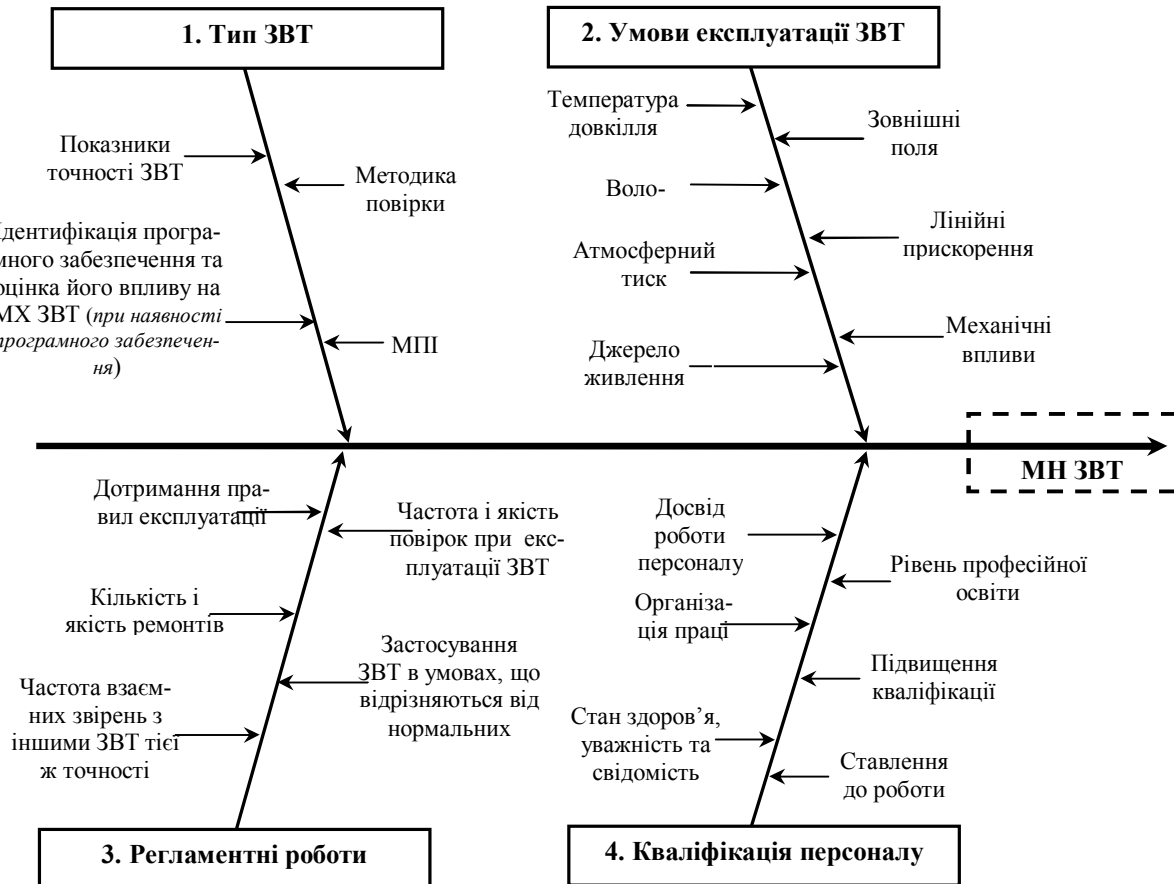


Рис. 4. Діаграма Ісікави для визначення складових МН ЗВТ

Для проведення аналізу інформації, пов'язаної з причинно-наслідковою діаграмою слід застосувати методи, що дозволяють визначати ступінь впливу фактора на результат на основі їх ранжування.

Ранжування проводиться на основі визначення коефіцієнтів відносної важливості (рангів) з погляду їх внеску в показник надійності, який формується на більш високому рівні причинно-наслідкової діаграми. Наприклад, показник МН першого рівня «Умови експлуатації ЗВТ» визначається частковими критеріями факторів другого рівня «Температура довкілля», «Вологість», «Атмосферний тиск», «Джерело живлення», «Зовнішні поля», «Лінійні прискорення» та «Механічні впливи», кожен з яких вносить різний внесок в формування показника якості першого рів-

ня. При цьому для оцінки ефективності різних альтернатив можна використовувати і широко поширений метод аналізу ієрархій Т. Сааті [14].

**3. Кількісне оцінювання факторів** проводиться на основі положень теорії нечіткої логіки з використанням функцій належності [15]. Функції належності для факторів будуються з урахуванням практичного досвіду і обмежень, регламентованих нормативною документацією.

Формалізацію фактора «Температура довкілля», який має обмеження на мінімальне та максимальне значення температури, виконано з урахуванням рекомендованої температури 20–25 °С (рис. 5), а функцію належності для фактора «Кваліфікація персоналу» представлено на рис. 6.

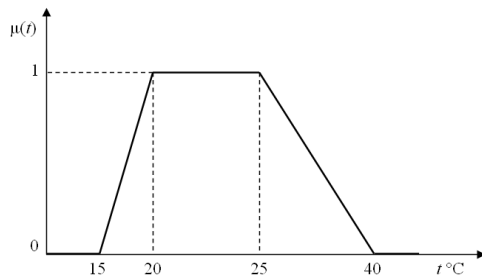


Рис. 5. Функція належності фактора «Температура довкілля»

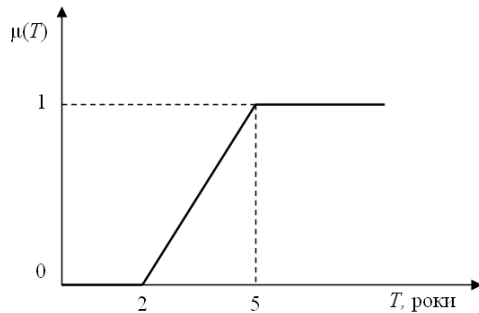


Рис. 6. «Кваліфікація персоналу»

На прикладі факторів «Температура довкілля» ( $x$ ) і «Кваліфікація та досвід роботи персоналу» ( $y$ ) з використання експертних оцінок або автоматичного конструктора нечітких правил [16] можна розділити діапазон вхідних змінних  $x$ ,  $y$  і вихідної змінної  $z$  (наприклад, похибки перевірки) для отримання нечітких термів – нечітких змінних  $A_i$ ,  $B_i$ ,  $C_i$  з відповідними функціями належності

$$\mu_{A_i}(x), \mu_{B_i}(y), \mu_{C_i}(z), i = 1, 2, \dots, N.$$

Для створення бази знань сформулюємо  $N$  правил  $\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_N$  виду:

$\Pi_1$ : ЯКЩО  $x \in A_1$  і  $y \in B_1$ , ТО  $z \in C_1$ ;

$\Pi_2$ : ЯКЩО  $x \in A_2$  і  $y \in B_2$ , ТО  $z \in C_2$ ;

.....  
 $\Pi_N$ : ЯКЩО  $x \in A_N$  і  $y \in B_N$ , ТО  $z \in C_N$ .

Процес нечіткого логічного висновку при вирішенні задачі забезпечення МН ЗВТ включає процедури фазифікації, нечіткої імплікації, нечіткої композиції та дефазифікації [17]. Реалізуємо процедуру фазифікації, тобто для заданих в чисельній формі вхідних змінних  $x$  і  $y$  розрахуємо їх належність до окремих термів

$$\mu_{A_i}(x_0), \mu_{B_i}(y_0), i = 1, 2, \dots, N.$$

Виконаємо процедуру нечіткої імплікації для визначення функції належності передумов кожного окремого правила при конкретних значеннях  $x_0$  і  $y_0$

$$\beta_i = \mu_{A_i}(x_0) \cap \mu_{B_i}(y_0), i = 1, 2, \dots, N$$

і знайдемо результуючі функції належності кожного правила

$$\mu_i(z) = \beta_i \cap \mu_{C_i}(z), i = 1, 2, \dots, N.$$

На основі нечіткої композиції визначимо результуючу функцію належності всієї сукупності правил при  $x_0$  і  $y_0$

$$\mu_{\Sigma}(z) = \mu_1(z) \cup \mu_2(z).$$

Зведення нечіткої вихідної змінної  $z$  до чисельного виду  $z_0$  виконується шляхом визначення центра ваги плоскої фігури, обмеженої осями координат і графіком функції належності нечіткої множини з використанням, наприклад, центроїдного методу дефазифікації

$$z_0 = \frac{\int_R z \cdot \mu_{\Sigma}(z) dz}{\int_R \mu_{\Sigma}(z) dz}.$$

Слід зазначити, що розглянута задача може бути узагальнена на випадок довільного числа вхідних факторів (рис. 4) з використанням відповідної бази продукційних правил. Таким чином, спільне використання причинно-наслідкової діаграми Ісікави з математичним апаратом нечітких множин дозволить вирішити завдання структурно-параметричного моделювання МН та забезпечити її високий рівень протягом життєвого циклу ЗВТ.

## Висновки

1. Визначено системні складові, проблеми теорії та практики метрологічної надійності засобів вимірювальної техніки, зазначено комплекс науково-технічних і практичних завдань та запропоновано способи їх вирішення, сформульовано структуру факторів і показників МН ЗВТ.

2. Для вирішення завдань управління МН ЗВТ пропонується застосування структурно-параметричного моделювання на основі причинно-наслідкової діаграми Ісікави, що дає можливість здійснювати якісний аналіз складових МН ЗВТ з подальшим проведенням їхньої кількісної оцінки з використанням нечітких функцій належності.

## Список літератури

1. Щербак Л. М. Задачі метрологічного забезпечення вимірювальних пристроїв / Л. М. Щербак, Є. А. Ревуцький // *Наукові та технологічні*. – 2009. – Т. 4. (№ 4). – С. 103 – 107.
2. Фридман А. Э. Теория метрологической надежности средств измерений и других технических средств, имеющих точностные характеристики: Дис... докт. техн. наук: 05.11.15 / А. Э. Фридман. – М., 1994. – 423 с.
3. Новицкий П. В. Динамика погрешностей средств измерений / П. В. Новицкий, И. А. Зограф, В. С. Лабунец. – Л.: Энергоатомиздат, 1990. – 192 с.
4. Стрельников В. П. Новая технология исследования надежности машин и аппаратуры / В. П. Стрельников // *Математичні машини і системи*. – 2007. – № 3, 4. – С. 227 – 238.
5. Кондратов В. Т. Проблемы теории метрологической надежности и пути их решения / В. Т. Кондратов // *Комп'ютерні засоби, мережі та системи*. – 2009. – № 8. – С. 138 – 148.
6. Федин С. С. Прогнозирование и вероятностная оценка метрологической надежности прецизионных средств измерений / С. С. Федин, Н. А. Зубрецькая, Г. И. Войченко // *Вісник Сумського державного університету*. – 2009. – № 4. – С. 56 – 67.
7. Сафарян Г. Сучасні засоби перевірки та калібрування засобів вимірювань електричних величин. Особливості застосування / Г. Сафарян // *Метрологія та прилади*. – 2010. – № 1. – С. 35 – 37.

8. Віткін Л. М. Особливості автоматизації метрологічного обслуговування ЗВТ промислових підприємств Віткін Л.М., Ігнаткін В.У, Литвиненко В. А. // Метрологія та прилади. – 2010. – N 1. – С. 49 – 52.

9. Таранюк В. Автоматизація повірки ЗВТ: досвід за порозького регіону / В. Таранюк В. // Метрологія та прилади. – 2009. – N 5. – С. 48 – 50.

10. Яковлев М. Ю. Управління метрологічною надійністю засобів виміральної техніки / М. Ю. Яковлев // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2007. – N 2. – С. 12 – 17.

11. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений: ДСТУ ГОСТ 8.009-2008 ГСИ. – [Чинний від 2008-01-10]. – К.: Держспоживстандарт України, 2006. – 27 с.

12. Метрологія. Повірка засобів вимірювань. Організація і порядок проведення. ДСТУ 2708-2006. – [Чинний від 2008-01-07]. – К.: Держспоживстандарт України, 2006. – 18 с.

13. Метрологія. Первинна та періодична повірка засобів виміральної техніки і контроль процесів вимірювання: ДСТУ OIML D 20-2008 IDT. – [Чинний від 2010-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2010.

14. Величко О. М. Методи оптимізації ієрархічних систем в метрології та стандартизації: теорія і практика / О. М. Величко, Л. В. Коломієць, Т. Б. Гордієнко; за загал. ред. О. М. Величка. – Одеса: БМВ, 2010. – 250 с.

15. Дилигенский Н. В. Нечеткое моделирование и многокритериальная оптимизация производственных систем в условиях неопределенности: технология, экономика, экология / Н. В. Дилигенский, Л. Г. Дьмова, П. В. Севастьянов. – М.: Машиностроение. – 2004. – N 1. – 397 с.

16. Зубрецькая Н. А. Управление стабильностью технологических процессов изготовления деталей на основе нечеткого моделирования / Н. А. Зубрецькая, С. С. Федин // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2014. – N 2 (30). – С. 42 – 47.

17. Усков А. А. Интеллектуальные технологии управления. Искусственные нейронные сети и нечеткая логика / А. А. Усков, А. В. Кузьмин. – М.: Гор. линия – телеком, 2004. – 143 с.

Надійшла до редколегії 23.12.2014

**Рецензент:** д-р. техн. наук., проф. І. В. Петко, Київський національний університет технологій та дизайну.

### МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ СРЕДСТВ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ

Н.А. Зубрецькая, С.С. Федин, Т.В. Чуприна

Определены системные составляющие и научные задачи проблемы обеспечения метрологической надежности средств измерительной техники и предложены способы ее решения на основе современных подходов структурно-параметрической и нечеткого моделирования.

**Ключевые слова:** метрологическая надежность, средства измерительной техники, причинно-следственная диаграмма, нечеткие множества, функции принадлежности.

### MODELING OF METROLOGICAL RELIABILITY OF MEASURING INSTRUMENTS BASED ON FUZZY SETS

N.A. Zubreckaya, S.S. Fedin, T.V. Chuprina

Defined system components and scientific problems of metrological reliability of measuring instruments and to solve it on the basis of modern approaches of structural and parametric modeling and fuzzy.

**Keywords:** metrological reliability, measuring, cause-and-effect diagram, fuzzy sets, membership function.

УДК 629.7.083

Д.В. Перекрестов

Кіровоградська льотна академія Національного авіаційного університету, Кіровоград

### ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТ ЯК ОДИН ІЗ ЗАХОДІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ

У статті розкрито поняття надійності авіаційної техніки та її властивостей, таких як: безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність, збережуваність. Розкрито поняття системи технічного обслуговування і ремонту (ТО і Р), види стратегій та принципів даної системи. А також, достатньо широко, зображений взаємозв'язок між надійністю авіаційної техніки, зокрема навчально-тренувальних літаків, та ТО і Р, як однієї із складових підтримання допустимого рівня надійності.

**Ключові слова:** надійність, технічне обслуговування і ремонт, авіаційна техніка, навчально-тренувальні літаки.

#### Вступ

При використанні повітряних суден (ПС) за призначенням повинні виконуватися основні вимоги, що пред'являються до цивільної авіації, як до транспортної системи, - це забезпечення безпеки і регулярності польотів спільно з економічніс-

тю експлуатації. Добитися виконання цих вимог можливо за рахунок створення таких повітряних суден, конструкції яких мають такі властивості, як висока надійність і експлуатаційна технологічність, при тимчасовому застосуванні вискоєфективної системи технічного обслуговування і ремонту (ТО і Р) [1].