

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ



*Одеська державна академія
технічного регулювання та якості*

ISSN 2412 – 5288 (Print)
ISSN 2414 – 9780 (Online)

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ
ОДЕСЬКОЇ ДЕРЖАВНОЇ АКАДЕМІЇ
ТЕХНІЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ТА ЯКОСТІ

2(11) 2017

ОДЕСА

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ
ОДЕСЬКОЇ ДЕРЖАВНОЇ АКАДЕМІЇ
ТЕХНІЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ТА ЯКОСТІ

Випуск 2(11) 2017

Заснований у 2012 р.

Засновник: Одеська державна академія технічного регулювання та якості

65020, м. Одеса вул. Ковальська, 15

Телефон: (048)726-68-92, факс: (048)726-76-95

E-mail: odatry@gmail.com

Сайти: www.kachestvo.od.ua, odatrya.org.ua.

Редакційна колегія

Голова редакційної колегії

Коломієць Леонід Володимирович (д.т.н., професор)

Заступник голови редакційної колегії

Братченко Геннадій Дмитрович (д.т.н., професор)

Андрієнко Микола Миколайович (к.т.н., професор)

Боряк Костянтин Федорович (д.т.н., доцент)

Ваганов Олександр Іванович (д.т.н., професор)

Величко Олег Миколайович (д.т.н., професор)

Волков Сергій Леонідович (к.т.н., доцент)

Гасанов Юсиф Надир огли (д.т.н., професор, Азербайджанська Республіка)

Гордієнко Тетяна Богданівна (д.т.н., с.н.с., доцент)

Дяченко Олександр Феодосійович (к.т.н., с.н.с.)

Зборовська Ірина Адамівна (к.т.н., доцент)

Квасніков Володимир Павлович (д.т.н., професор)

Клещов Геннадій Михайлович (к.т.н., доцент)

Корсун Валерій Іванович (д.т.н., професор)

Кучерук Володимир Юрійович (д.т.н., професор)

Левін Сергій Федорович (д.т.н., професор, Російська Федерація)

Ленков Сергій Васильович (д.т.н., професор)

Мілованов Валерій Іванович (д.т.н., професор)

Новіков Володимир Миколайович (д.ф.-м.н., професор)

Петришин Ігор Степанович (д.т.н., професор)

Скачков Валерій Вікторович (д.т.н., професор)

Солдо Божо (д.т.н., професор, Республіка Хорватія)

Янковський Олег Георгійович (к.т.н., доцент)

Відповідальний секретар Братченко Геннадій Дмитрович

Внесений наказом Міністерства освіти і науки України від 15.04.2014 р. № 455 до «Переліку наукових фахових видань України» за № 37 (технічні науки).

Затверджений до друку і розповсюдження через мережу Інтернет Вченою Радою Одеської державної академії технічного регулювання та якості (протокол № 4 від 30.11.2017 р.).

Свідectво про державну реєстрацію KB № 18770-7570P від 30.01.2012 р.

ЗМІСТ

Стандартизація, сертифікація, менеджмент якості	4
О. С. Букрєєва, к.т.н. ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ СИСТЕМИ ПРАВОВОГО РЕГУЛЮВАННЯ ДІЯЛЬНОСТІ ЗІ СТАНДАРТИЗАЦІЇ МЕТОДОМ ГРАФІЧНОГО АНАЛІЗУ.....	5
Ю. Г. Щербак, к.т.н., О. В. Щесюк, к.т.н. СУЧАСНІ СТАНДАРТИ З ЧИСТИХ ТЕХНОЛОГІЙ – ВАЖЛИВА СКЛАДОВА РОЗВИТКУ МЕДИЧНОЇ ГАЛУЗІ.....	11
В. М. Новіков, д.ф.-м.н., О. А. Никитюк, д.с.-г.н. АНАЛІЗУВАННЯ ЯКОСТІ ВЛАДИ, ВИХОДЯЧИ ІЗ ЗАГАЛЬНИХ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ.....	16
М. І. Сичов, к.х.н., Л. В. Коломієць, д.т.н., О. М. Поторак ТЕХНОГЕННІ КАТАСТРОФИ, ЇХ ПЕРЕДБАЧЕННЯ, ЗАПОБІГАННЯ ТА УНИКНЕННЯ.....	19
О. М. Величко, д.т.н., Т. Б. Гордієнко, д.т.н. ЗАСТОСУВАННЯ МОДЕЛІ РАША ДЛЯ АНАЛІЗУ ШКАЛИ ОЦІНЮВАННЯ КОМПЕТЕНТНОСТІ ТЕХНІЧНИХ ЕКСПЕРТІВ.....	24
Прилади та методи вимірювання фізичних величин, їх метрологічне забезпечення	31
О. В. Заболотний, к.т.н. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО СПОСОБУ ВИМІРЮВАННЯ ВМІСТУ ВОЛОГИ СИПКИХ РЕЧОВИН.....	32
О. М. Величко, д.т.н., В. В. Ісаєв ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ ДЕЯКИХ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ КАЛІБРУВАННІ ПРЕЦИЗІЙНИХ ТЕРМОПЕРЕТВОРЮВАЧІВ.....	39
О. М. Величко, д.т.н., Р. В. Вендичанський УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ КАЛІБРУВАННЯ ПРЕЦИЗІЙНИХ ПОДІЛЬНИКІВ ВИСОКОЇ НАПРУГИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ.....	46
Інформаційно-вимірювальні системи і технології	51
В. Ю. Кучерук, д.т.н., П. І. Кулаков, д.т.н., Д. В. Мостовий, А. П. Кулакова СИНХРОННИЙ ДЕТЕКТОР З РОЗШИРЕНИМ ДИНАМІЧНИМ ДІАПАЗОНОМ ВХІДНИХ СИГНАЛІВ.....	52
Н. Н. Smaglyuk, Н. D. Bratchenko, DSc, D. V. Grygoriev, A. I. Plotnik 3D POSITION MEASUREMENT SIMULATION OF AIR TARGET'S SCATTERERS IN INTERFEROMETRIC ISAR.....	58
П. В. Хусаїнов, к.т.н. ЗАДАЧА РОЗРОБКИ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТУ ТЕХНІЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ.....	65
В. В. Кузавков, д.т.н., А. О. Зарубенко, О. Г. Янковський, к.т.н. МЕТОДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ, РОЗТАШОВАНИХ НА ЛОКАЛЬНОМУ ОБ'ЄКТІ.....	72
С. Л. Волков, к.т.н., Ю. В. Щербина, к.т.н. МАРКІВСЬКА МОДЕЛЬ ОЦІНКИ ЯКІСНОГО СТАНУ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ І УПРАВЛІННЯ.....	77
А. И. Ваганов, д.т.н., С. В. Добровольская, Л. М. Возикова ПЕРВООЧЕРЕДНЫЕ ЗАДАЧИ РАЗРАБОТКИ И ВНЕДРЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА.....	81
Л. В. Кузьмич, к.т.н. МЕТОДИ ОБГРУНТУВАННЯ СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ТА ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ СКЛАДНИХ КОНСТРУКЦІЙ.....	85
АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК.....	90
ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ.....	91

РОЗДІЛ 1

Стандартизація, сертифікація, менеджмент якості

О. С. Букрєєва, к.т.н.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків

ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ СИСТЕМИ ПРАВОВОГО РЕГУЛЮВАННЯ ДІЯЛЬНОСТІ ЗІ СТАНДАРТИЗАЦІЇ МЕТОДОМ ГРАФІЧНОГО АНАЛІЗУ

Визначено нормативно-правові акти, що формують державну політику у галузі стандартизації; встановлено зв'язки між ними; створено графічну та математичну моделі системи правового регулювання діяльності зі стандартизації; розраховано коефіцієнт структурної зв'язності та показник живучості цієї системи; виконано ранжування її елементів.

Ключові слова: стандартизація, правове регулювання, графи, математична модель, структурна зв'язність, живучість.

Вступ. Нормативно-правова база є основою регулювання діяльності зі стандартизації. Належне її функціонування є запорукою ефективності цієї діяльності на усіх рівнях: від національного до рівня підприємства. Оскільки ця база являє собою інформаційну систему, важливим є забезпечення ефективності передавання інформації, зв'язності елементів, якості системи, її стабільності та стійкості. Тому вбачається актуальним дослідити це питання за допомогою теорії графів, оскільки вона поєднує графічний та математичний метод аналізу інформаційних систем.

Аналіз публікацій. Вивченню структурних властивостей систем документів у галузі стандартизації та технічного регулювання посідає важоме місце у дослідженнях вітчизняних науковців, особливо у перехідний період. Автор [1] використав математичний апарат з теорії графів для побудови, розробив теоретичні засади побудови математичних моделей для аналізу структурних властивостей бази нормативних документів технічного регулювання, яка формально описує еволюцію її структурних властивостей.

Стандартизація та технічне регулювання розглянуті у контексті аналізу, синтезу та оптимізації складних систем у роботах [2–5]. У [2] вирішено науково-прикладну проблему побудови системи технічного регулювання шляхом розроблення і використання нових принципів, підходів, її моделей та структурних складових та запропоновано узагальнюючі положення побудови систем з високою надійністю. У [3] автори розвинули своє дослідження та створили теоретичні засади побудови структурних складових цієї системи. А у [4] та [5] цими науковцями запропоновано математичну модель національної системи стандартизації та розраховано результативність окремих альтернатив її побудови.

Таким чином, подальші дослідження за допомогою системного аналізу розвинулися у напрямку математичного моделювання.

Однак, у розглянутих публікаціях запропоновані авторами методи не дозволяють оцінити якісні показники системи. Тому вбачається доцільним використати теорію графів.

Теорії вживання та аналізу графів приділено багато уваги у науковій літературі. Класичними вважаються праці [6, 7]. У [6] запропоновано використовувати граф як модель структурної схеми та викладено методи статистичного аналізу її якості. У [7] подано загальні поняття про графи та їх види, їх математичне представлення та прикладне застосування. До цього часу правове регулювання діяльності зі стандартизації не було представлено як цілісна інформаційна система і не досліджене з такої точки зору. Тому вбачається доцільним застосування графів для аналізу якості та ефективності цієї системи.

Метою статті є визначення якості системи правового регулювання діяльності зі стандартизації методом графічного аналізу. Оскільки цей метод передбачає складання структурної схеми системи, то параметрами, що характеризують її якість виділено зв'язність, ранг елементу, багатство сполучень [6]. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі: визначити нормативні акти, спеціально видані з питань стандартизації, які визначають політику держави; встановити зв'язки між ними; побудувати графічну та математичну модель розглянутої системи; встановити кількісні значення вказаних показників якості структурної схеми системи.

Основний розділ. У зв'язку із необхідністю реформування системи стандартизації через підписання Угоди про асоціацію з ЄС, нормативно-правова база цієї галузі зазнала значних змін. На

сьогодні вона складається із актів, які наведено у хронологічному порядку:

1. Закон України від 12.05.1991 № 1023-XII «Про захист прав споживачів»

2. Постанова Кабінету міністрів України від 25.05.1992 № 269 «Про організацію роботи, спрямовану на створення державних систем стандартизації, метрології та сертифікації»

3. Постанова Кабінету міністрів України від 01.02.1995 № 84 «Про створення Національного автоматизованого інформаційного фонду стандартів»

4. Наказ Держспоживстандарту України від 13.07.1995 № 245 «Про затвердження Положень про Головний інформаційний фонд стандартів Держстандарту та Національний інформаційний центр із стандартизації та сертифікації Міжнародної інформаційної мережі ISONET»

5. Постанова Кабінету міністрів України від 18.09.2002 № 1395 «Про створення національного фонду нормативних документів»

6. Наказ Держспоживстандарту України Про затвердження Положення про головний фонд нормативних документів від 25.03.2003 № 48

7. Постанова Кабінету міністрів України від 21.08.2003 № 1337 «Про утворення Українського науково-дослідного і навчального центру проблем стандартизації, сертифікації та якості»

8. Закон України від 02.12.2010 № 2735-VI «Про державний ринковий нагляд і контроль нехарчової продукції»

9. Розпорядження Кабінету міністрів України від 31.10.2011 № 1123-р «Про заходи щодо утворення національного органу стандартизації»

10. Закон України від 05.06.2014 № 1315-VII «Про стандартизацію»

11. Розпорядження Кабінету міністрів України від 26.11.2014 р. № 1163-р «Про визначення державного підприємства, яке виконує функції національного органу стандартизації»

12. Закон України від 15.01.2015 № 124-VIII «Про технічні регламенти та оцінку відповідності»

13. Наказ міністерства економічного розвитку і торгівлі України від 02.02.2015 № 76 «Про затвердження Положення про керівну раду національного органу стандартизації»

14. Наказ Міністерства економічного розвитку і торгівлі України від 09.02.2015 № 103 «Про затвердження Положення про комісію з апеляцій та Порядку розгляду нею апеляцій»

15. Наказ Міністерства економічного розвитку і торгівлі України від 14.04.2016 № 696 «Про затвердження Положення про департамент технічного регулювання»

Користуючись офіційним сайтом Верховної Ради України (rada.gov.ua), були встановлені зв'язки між цими правовими актами та побудовано граф, вершинами якого є вказані документи, а ребрами – їх взаємний вплив. На рис. 1 наведено отриману модель.

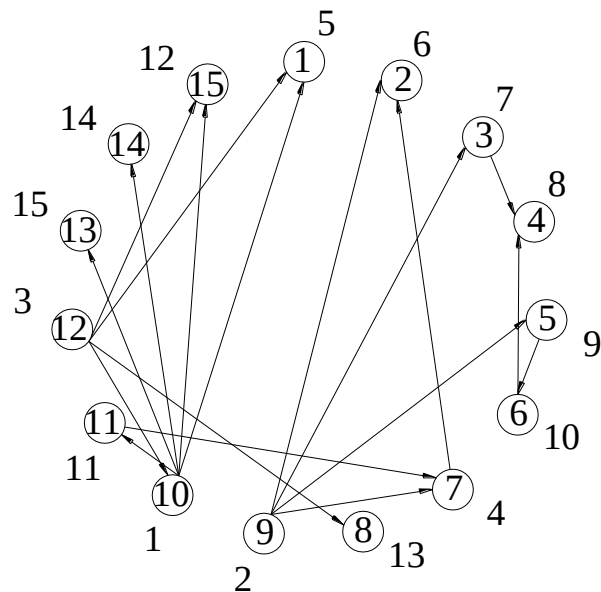


Рисунок 1 – Графічна модель системи правового регулювання діяльності зі стандартизації із рангом елементів

Проаналізуємо якість цієї структурної схеми, записавши її у математичному вигляді як матрицю безпосередніх зв'язків $n \times n$, де n – кількість вершин графу. Елементи матриці приймають значення 1, якщо з вершини a_i можна перейти у вершину a_j , та 0 – в іншому випадку. З цієї матриці отримаємо повну матрицю зв'язків, підрахувавши кількість шляхів, якими можна перейти з вершини a_i у a_j [6]. Тоді математична модель графу на рис. 1 матиме вигляд:

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 1 & 2 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad (1)$$

Багатство сполучень можна охарактеризувати, визначивши висячі, тупикові та ізольовані вершини, як запропоновано у [8]:

$$a_{ki} = \sum_{i=1}^n a_{ij}, \quad a_{kj} = \sum_{j=1}^m a_{ji}, \quad (2)$$

де a_{ki} – число ребр, які виходять з вершини k , a_{kj} – число ребр, які входять у вершину k , n та m – кількість рядків та стовпців матриці (1). Якщо $a_{ki} = a_{kj} = 0$ – вершина ізольована, $a_{ki} = 0$ – вершина тупикова, $a_{kj} = 0$ – вершина висяча.

Звідси, ізольованих вершин граф на рис. 1 не має, тупикових – 7 (1, 2, 4, 8, 13, 14, 15), висячих – 2 (9, 12). Наявність таких вершин свідчить про те, що модель необхідно удосконалити, оскільки вони ускладнюють потік інформації та перешкоджають автоматизації системи.

Наступним показником якості структурної схеми є коефіцієнт структурної зв'язності [8]:

$$R = \frac{A_c}{A_{\min}} - 1 = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij}}{2(n-1)} - 1, \quad (3)$$

$$A_c = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij}}{2}, \quad (4)$$

де $A_{\min} = n - 1$ – мінімально допустима кількість зв'язності у системі, a_{ij} – елемент матриці (1), n – кількість елементів системи, A_c – загальне число безпосередніх зв'язків. Якщо $R > 0$ – система має структурну зв'язність, $R = 0$ – система має мінімальну структурну зв'язність, $R < 0$ – система не зв'язана.

Провівши розрахунки за формулами (3) та (4), отримаємо $R=0,286$, тобто система хоча і має структурну зв'язність, але досить слабку. Більш точно визначити цей показник дозволяє відносна зв'язність системи – відношення кількості існуючих зв'язків A_c до кількості можливих A_n [8]:

$$Q = \frac{A_c}{A_n}, \quad (5)$$

$$A_n = \frac{n(n-1)}{2}, \quad (6)$$

Таким чином, $Q=0,171$ тобто відносна зв'язність системи також дуже слабка.

Наступним етапом був визначений ранг кожного елементу системи як відношення його зв'язків до загальної кількості зв'язків системи, що його позначено на графічній моделі на рис. 1 поряд із елементом.

Найбільший ранг графу на рис. 1 мають елементи: $r_{10} = 0,167$, $r_9 = 0,111$, $r_{12} = 0,111$ та $r_7 = 0,083$.

Окрім визначених показників якості структурної схеми системи, вбачається доцільним встановити її живучість, тобто здатність виконувати свої функції під впливом руйнуючих факторів. Використаємо для цього показник живучості [8]:

$$W_g = 1 - \frac{gg!(A-g)!}{AA!}, \quad (7)$$

де g – кількість втрачених зв'язків, A – загальна кількість зв'язків.

Цей показник оцінимо, ввівши до системи нещодавно відмінені правові акти, побудувавши нові графічні та математичні моделі, а також проаналізувавши їх аналогічно попереднім.

На рис. 2 побудовано граф та встановлено зв'язки із такими доданими елементами:

а) Декрет Кабінету міністрів України від 08.04.1993 № 30-93 «Про державний нагляд за додержанням стандартів, норм і правил та відповідальність за їх порушення»

б) Декрет Кабінету міністрів України від 10.05.1993 № 46-93 «Про стандартизацію та сертифікацію»

в) Закон України від 17.05.2001 № 2408-III «Про стандартизацію»

г) Наказ Держспоживстандарту України від 20.05.2002 № 298 «Про затвердження Типового положення про технічний комітет стандартизації»

д) Закон України від 01.12.2005 № 3164-IV «Про технічні регламенти та процедури оцінки відповідності»

Математична модель графа на рис. 2 матиме вигляд як наведено у формулі (8).

$$B = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 2 & 1 & 5 & 3 & 5 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 2 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 2 & 1 & 2 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 1 & 0 & 2 & 1 & 2 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 2 & 2 & 2 & 1 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2 & 1 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2 & 1 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}, \quad (8)$$

Граф на рис. 2 не має ізольованих вершин, але має тупикових 9 (1, 2, а, б, 4, г, 13, 14, 15) та висячих 2 (9, 12). Коефіцієнт структурної зв'язності $R=0,684$. Відносна зв'язність $Q=0,168$. Найбільший ранг графу на рис. 3 мають елемен-

ти: $r_{10}=0,141$, $r_e=0,109$, $r_9=0,094$, $r_{12}=0,094$ та $r_o=0,078$. Таким чином, було скасовано два значущих елементи системи. Ранг елементів графу позначено на рис. 2.

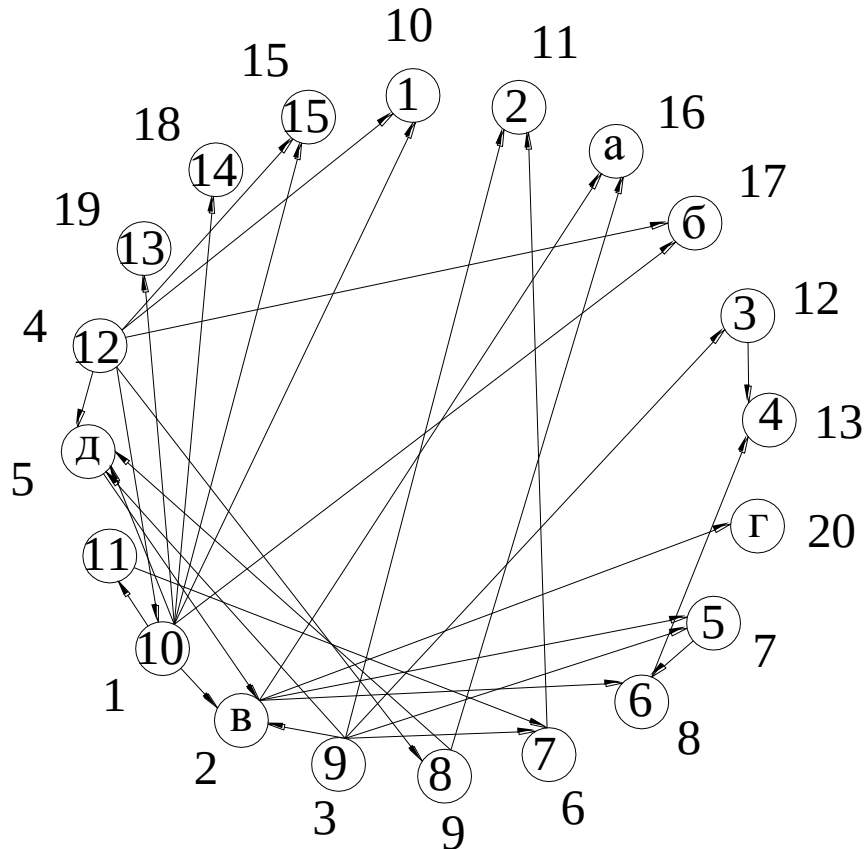


Рисунок 2 – Попередня графічна модель системи правового регулювання діяльності зі стандартизації із рангом елементів

Тоді за формулою (7) визначимо живучість цієї системи. Кількість втрачених зв'язків дорівнює 28, загальна кількість зв'язків – 64. Показник живучості $W_g \approx 1$.

Висновки. Проведений графічний аналіз системи нормативно-правових документів, що формують державну політику у галузі стандартизації, дозволив оцінити її якість за показниками зв'язності та живучості, а також визначити найголовніші її елементи за допомогою їх ранжування. Графічна модель розглянутої системи демонструє наявність трьох центрів графу (елементи 9, 10, 12), що підтвердило ранжування його елементів. За математичною моделлю цієї структурної схеми у вигляді матриці безпосередніх зв'язків було визначено багатство сполучень графу як наявність тупикових та висячих вершин, що свідчить про потребу у вдосконаленні системи. Цей фактор має значний вплив на коефіцієнт структурної зв'язності системи, який становить 0,286, та її відносну зв'язність (0,171). Таким чином, елементи аналізованої системи мають недостатньо зв'язків для ефективного передавання інформації та її автоматизації.

Щоб оцінити живучість системи після втрати певної частки зв'язків був встановлений показник живучості на основі аналізування поперед-

нього стану розглянутої системи. Він виявив, що система також мала тупикові та ізольовані вершини, втратила один з центрів графу (елемент в), і хоча коефіцієнт структурної зв'язності був значно вищий (0,684), однак відносна зв'язність майже не змінилася (0,168). Базуючись на цьому, розрахований показник живучості (0,754) свідчить про стійкість системи перед руйнуючими факторами.

Отже, головною проблемою існуючої системи правового регулювання діяльності зі стандартизації є низька зв'язність між її елементами. Рішенням цієї проблеми може бути часткове відновлення втрачених зв'язків, що дозволить підвищити відносну зв'язність на 30%, а також встановлення нових зв'язків.

Список використаних джерел

1. Буланцов В. Розроблення теоретичних засад аналізу структурних властивостей нормативної бази щодо технічного регулювання та постановка задач з її оптимізації / В. Буланцов, В. Стулей // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2013. – № 6. – С. 3–11.
2. Віткін Л. М. Принципи, теоретичні засади та практичні рекомендації щодо побудови сучас-

ної системи технічного регулювання України / Л. М. Віткін, С. М. Лапач, Г. І. Хімічева // Системи обробки інформації. – 2009. – Випуск 3 (77). – С. 153–165.

3. Віткін Л. М. Побудова багатофакторних моделей структурних складових системи технічного регулювання / Л. М. Віткін, Г. І. Хімічева, С. М. Лапач, А. С. Зенкін // ВЕЖПТ. – 2011. – № 4. – С. 45–56.

4. Віткін Л. Світовий досвід та стратегія розвитку систем технічного регулювання / Л. М. Віткін // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2013. – № 4 (83). – С. 3–11.

5. Віткін Л., Луценко Д. Модель реформування системи стандартизації України в контексті міжнародних зобов'язань та необхідності модернізації економіки / Л. Віткін, Д. Луценко // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2013. – № 3. – С. 3–12.

6. Нечипоренко В. И. Структурный анализ и методы построения надежных систем / В. И. Нечипоренко – М.: Изд-во «Советское радио», 1968. – 256 с.

7. Басакер Р. Конечные графы и сети / Р. Басакер, Т. Саати, пер с англ. – М.: Издательство «Наука» Главная редакция физико-математической литературы, 1974. – 368 с.

8. Тріщ Р. М. Оцінювання систем управління якістю підприємств з урахуванням вимог міжнародних стандарт в ISO серії 9000 / Р. М. Тріщ, Н. А. Горбенко, О. О. Катрич // Машинобудування. – 2014. – № 14. – С. 148–154.

Надійшла до редакції 21.09.2017

Рецензент: д.т.н., професор Полярус О. В., Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків.

О. С. Букреева, к.т.н.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВА СИСТЕМЫ ПРАВОВОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ МЕТОДОМ ГРАФИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Определены нормативно-правовые акты, формирующие государственную политику в области стандартизации; установлены связи между ними; создано графическую и математическую модели системы правового регулирования деятельности по стандартизации; рассчитан коэффициент структурной связности и показатель живучести этой системы; выполнено ранжирование ее элементов.

Ключевые слова: стандартизация, правовое регулирование, графы, математическая модель, структурная связность, живучесть.

O. S. Bukryeyeva, PhD

QUALITY DETERMINATION OF THE LEGAL REGULATION SYSTEM OF STANDARDIZATION ACTIVITIES BY GRAPHIC ANALYSIS METHOD

Regulatory and legal acts that form the state policy in the field of standardization were defined; the links between them were established; a graphic and mathematical model of the system of legal regulation of standardization activities was created; the coefficient of structural connectivity and the survivability index of this system are calculated; the ranking of its elements was performed.

Keywords: standardization, legal regulation, graphs, mathematical model, structural connectivity, survivability.

Ю. Г. Щербак, к.т.н., О. В. Щесюк, к.т.н.

Чорноморський національний університет імені Петра Могили, м. Миколаїв

СУЧАСНІ СТАНДАРТИ З ЧИСТИХ ТЕХНОЛОГІЙ – ВАЖЛИВА СКЛАДОВА РОЗВИТКУ МЕДИЧНОЇ ГАЛУЗІ

В роботі виконано аналітичний огляд стандартів з чистих технологій, що використовуються при створенні обладнання для забезпечення сучасних медичних послуг і технологій. Показано, що впровадження в державі оновлених міжнародних стандартів ISO 14644 дозволить створити нормативну базу для розвитку найсучасніших технологій у медичній галузі, включаючи нанотехнології.

Ключові слова: медична галузь, міжнародний стандарт, чисте приміщення, чисті технології, наночастинка.

Вступ

Суспільство розвивається шляхом створення високотехнологічних виробництв на основі наукоємних технологій. Одним з таких напрямків є розвиток виробництв і послуг на базі чистих технологій і чистих приміщень, в яких нормуються гранично допустимі концентрації забруднень в повітрі (частинок і за потреби мікроорганізмів). Техніка чистих приміщень в медичних закладах використовується давно. Ще в 1961 році у Великій Британії створили першу операційну, в якій система кондиціонування повітря (СКП) забезпечувала витікання зі стелі чистого потоку повітря з швидкістю 0,3 м/с. Це стало радикальним засобом зниження ризику інфікування хворих при трансплантації суглобів. До цього у 9 % хворих відбувалося інфікування протягом операції, і потрібна була повторна трансплантація [1]. В 70 – 80-х роках минулого століття технологія чистоти на основі систем вентиляції і СКП з використанням вискоєфективних фільтрів стала невід’ємним елементом в лікарнях Європи і Америки. Тоді ж в Німеччині, Франції і Швейцарії з’явилися перші стандарти з чистоти повітря в лікарнях. Для сучасних лікарняних закладів (ЛЗ) використання чистих приміщень є обов’язковим [2]. Крім ЛЗ, сучасними напрямками розвитку виробництв і послуг з чистими технологіями в медичній галузі є: центри клітинних і тканинних технологій, виробництво лікарняних засобів, медичних виробів та інші.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В Україні діють державні стандарти з чистих технологій, які є тотожним перекладом серії міжнародних стандартів ISO 14644 (містять 10 документів). Вони охоплюють наступні аспекти: класифікація чистоти повітря в приміщенні; контроль і моніторинг для підтвердження відповідності ISO 14644-1; метрологія та методи випробування; проектування, будівництво та введення

в експлуатацію чистих приміщень, їх експлуатація та інші [3–7]. Ці нормативні документи основані на стандарті ISO 14644-1, який є ключовим. Однак діючий з 01 січня 2012 року в державі ДСТУ ISO 14644-1:2009 є тотожним перекладом ISO 14644-1, який випущено в 1999 році. В 2015 році Міжнародна організація по стандартизації (ISO) ввела в дію ISO 14644-1:2015, що призвело до переробки національних стандартів з метою приведення їх до нових вимог.

В 2015 році в Росії прийнято ряд стандартів з чистих приміщень. Наприклад, ГОСТ Р 56639-2015 «Чистые помещения. Технологическое проектирование промышленных предприятий», ГОСТ Р 56640-15 «Чистые помещения. Проектирование и монтаж. Общие требования», ГОСТ 56638-15 «Чистые помещения. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Общие требования». На основі найсучаснішого міжнародного стандарту ISO 14644-1:2015 підготовлений до прийняття ГОСТ Р 14644-1 «Чистые помещения и связанные с ним контролируемые среды. Часть 1. Классификация чистоты воздуха по концентрации частиц» [2].

Впровадження в Україні сучасних стандартів з чистих технологій є актуальним тому, що дозволяє створити базу не тільки для попередження розповсюдження лікарняних інфекцій, але й дасть поштовх розвитку технологій вирощування клітин, тканин і створення штучних органів. Це виводить охорону здоров’я на якісно новий рівень і відкриває можливості позбавлення людини від раніше не вилікуваних хвороб.

Метою роботи є аналітичний огляд існуючих і перспективних нормативних документів з чистих технологій, які використовуються в медичній галузі.

Аналітичний огляд стандартів з чистих технологій. Приміщення класифікують по категоріям чи групам відносно гранично допустимих концентрацій частинок і мікроорганізмів в повіт-

рі. Кількість мікроорганізмів вимірюється в колонієутворюючих одиницях (КУО), що дорівнює сукупності мікробних клітин, які виросли у вигляді ізолюваного скопища колоній в живильному середовищі. Гранично допустимі концентрації частинок у повітрі задаються класами чистоти приміщень згідно з ДСТУ ISO 14644-1:2009 [3]. В ДБН В.2.2-10-01-2005 [8] встановлені 3 категорії щодо чистоти приміщення: особливо чисте (ОЧ), чисте (Ч) і брудне (Б), а в СанПиН 2.1.3.1375-03 (Росія) [9] використовується 4 категорії; крім трьох попередніх додано умовно чисте (УЧ) приміщення. В ГОСТ Р 52539-2006 (Росія) використовується більш детальна класифікація приміщень в залежності від видів операцій і хвороб (5 груп приміщень) [10]. Відповідно до зазначеного стандарту чистота повітря для кожної групи приміщень задається максимально допустимою концентрацією частинок з розмірами більшими або рівними 0,5 мкм (по ГОСТ ИСО 14644-1), а також максимально допустимою концентрацією КУО в повітрі для оснащеного стану приміщення, тобто при відсутності в ньому хворих і персоналу.

В табл. 1 показано класифікацію чистих приміщень за міжнародним стандартом ISO 14644-1 [3]. Відповідно до зазначеного стандарту чисте приміщення (чиста зона) – це приміщення

(простір), в якому контролюється концентрація завислих в повітрі частинок, що побудоване і використовується так, щоб звести до мінімуму надходження, виділення і утримання частинок усередині приміщення і яке дозволяє, в міру необхідності, контролювати інші параметри, наприклад, температуру, вологість і тиск. А клас чистоти – рівень чистоти по завислим в повітрі частинкам, який застосовується до чистого приміщення або чистої зони, і виражається в термінах «Клас № ISO», що визначає максимально допустимі концентрації (частинок / м³) для заданих діапазонів розмірів частинок.

Позначення класу чистоти по завислим в повітрі частинкам для чистих приміщень і чистих зон включає:

- класифікаційне число, виражене як «Клас № ISO»;
- стан чистого приміщення;
- задані розміри частинок і відповідні концентрації, де кожний заданий граничний розмір частинок знаходиться в межах 0,1–5 мкм.

Приклад позначення: Клас 5 ISO; оснащений стан; задані розміри частинок: 0,2 мкм (23700 частинок / м³); 1,0 мкм (832 частинки / м³).

Таблиця 1 – Класифікація чистих приміщень і чистих зон по ISO 14644-1 [3]

Клас ISO	Гранично допустимі концентрації частинок на 1 м ³ повітря, розмір яких дорівнює чи перевищує					
	0,1 мкм	0,2 мкм	0,3 мкм	0,5 мкм	1 мкм	5 мкм
1 ISO	10	2	-	-	-	-
2 ISO	100	24	10	4	-	-
3 ISO	1 000	237	102	35	8	-
4 ISO	10 000	2 370	1 020	352	83	-
5 ISO	100 000	23 700	10 200	3 520	832	29
6 ISO	1 000 000	237 000	102 000	35 200	8 320	293
7 ISO	-	-	-	352 000	83 200	2 930
8 ISO	-	-	-	3 520 000	832 000	29 300
9 ISO	-	-	-	35 200 000	8 320 000	293 000

Примітки: 1. Частинка – твердий або рідкий об’єкт, який в цілях класифікації чистоти повітря характеризується сукупним розподілом, що заснований на граничному розмірі (нижньої границі) в діапазоні 0,1-0,5 мкм.
 2. Розмір частинки – діаметр сфери, яка в контролюючому приладі дає відгук від оцінюваної частинки.
 3. Концентрація частинок – кількість окремих частинок в одиниці об’єму повітря.

Проста і наглядна класифікація чистих приміщень зроблена згідно з Федеральним стандартом США FS209D [2], де клас чистого приміщення дорівнює максимально допустимому числу частинок розміром 0,5 мкм і більше в 1 куб. футі повітря. Наприклад, в 1 куб. футі повітря приміщення класу 100 повинно бути не більше

100 частинок розміром 0,5 мкм і більше.

Новий стандарт ISO 14644-1:2015 «Чисті приміщення та пов’язані з ними контрольовані середовища. Частина 1. Класифікація чистоти повітря по концентрації частинок» [2] (перероблена версія ISO 14644-1:2009) визначає класи чистоти і методи перевірки відповідності їм. Він

рекомендується до використання усіма задіяними сторонами: замовником, проектантом чистих приміщень, будівельником, дослідником, виробником матеріалів і тим, хто експлуатує чисті приміщення.

Детальний критичний розбір стандарту ISO 14644-1:2015 наведено в роботах А.Е. Федотова [2, 11]. Однак в цілому новий стандарт прийнято фахівцями, хоча він не є ідеальним, наприклад, в оновленому стандарті частинки розміром 5,0 мкм та більші вже не є основою для класифікації приміщень класу 5 ISO, що не відповідає вимогам Правил GMP при виробництві лікарських засобів.

Подальший прогрес у сфері нанотехнологій (у тому числі в медичній галузі) передбачає створення унікального обладнання та різного роду інструментарію на базі чистих технологій. Галузі, які пов'язані із медициною, вже зараз виробляють продукцію з розмірами, які лежать в нанодіапазоні (об'єкти розміром 1 – 100 нм), що є частиною сталої тенденції виробництва продукції із все меншими характерними розмірами для покращення її характеристик. Гаджети – імпланти (ортопедичні вироби), які призначені для імплантації в організм людини (ендопротезування), найбільш чутливі до забруднень повітря в приміщеннях. У найближчому майбутньому (10 – 15 років) очікується використання нанороботів

в медичних цілях. Вони зможуть доставляти корисні речовини до клітин людського організму і видаляти із нього шкідливі речовини. Все це вимагає розробку нових стандартів та інших нормативних документів.

В міжнародній організації по стандартизації підготовлено новий документ, який є проектом стандарту ISO 14644-12 з контролю концентрації аерозольних наночастинок [12]. Стандарт ISO 14644-12 є доповненням ISO 14644-1, він розширює діапазон розмірів частинок класифікації, описаної в ISO 14644-1, на наномасштаб.

В табл. 2 показана класифікація чистих приміщень відповідно до міжнародного стандарту ISO 14644-12.

Позначення класу чистоти відносно завислих у повітрі наночастинок для чистих приміщень і чистих зон включає:

– класифікаційне число, виражене як «ISO – ACP клас № »;

– стан чистого приміщення, для якого була проведена класифікація;

– задані розміри наночастинок і відповідні граничні концентрації, визначені по класифікаційній таблиці (табл. 2), де кожний заданий граничний розмір частинок знаходиться в межах від 0,05 мкм до 0,001 мкм.

Приклад позначення: ISO – ACP клас 1; функціонуюче, 10 нм.

Таблиця 2 – Класифікація чистих приміщень і чистих зон відповідно до ISO 14644-12 [12]

Клас ISO	Розміри частинок				
	0,001 мкм	0,005 мкм	0,01 мкм	0,05 мкм	0,1 мкм
1 ISO	145 000	5 080	1 200	-	10
2 ISO	1 450 000	50 800	12 000	423	100
3 ISO	14 500 000	508 000	120 000	4 230	1 000
4 ISO	145 000 000	5 080 000	1 200 000	42 300	10 000
5 ISO		50 800 000	12 000 000	423 000	100 000
6 ISO					1 000 000
7 ISO					
8 ISO					
9 ISO					

Попередній аналіз стандарту ISO 14644-12 показує, що в документі багато приміток, попереджень і припущень. Наприклад, границі діапазону розмірів від 1 нм до 100 нм наведено як приблизні, формула для визначення максимальної концентрації наночастинок конкретного розміру використана з ISO 14644-1. Після затвердження стандарт ISO 14644-12 може використовуватися в якості базового або довідкового документу в проектах і в угодах між замовником та виконавцем.

Практичне застосування стандарту ISO 14644-12 в Україні є перспективним при наявно-

сті обладнання для вимірювання концентрації наночастинок в приміщеннях, що дозволить встановити відповідний клас його чистоти.

В роботі акцентовано на вимоги сучасних стандартів щодо чистоти повітряного середовища у відповідних медичних приміщеннях і зонах.

Декілька слів відносно технічної реалізації зазначених вимог.

Сучасні СКП для медичних об'єктів і пов'язаних з медичною галуззю виробництв є достатньо складними і коштовними технічними об'єктами. Комплексна СКП умовно складається із таких основних підсистем (блоків):

- очищення (фільтрації) повітря;
- тепловологісної обробки повітря;
- повітророзподілу;
- комп'ютерно-інтегрованої системи управління;
- знезараження відпрацьованого повітряного середовища (для об'єктів з наявністю різного роду інфекційних компонентів).

Враховуючи низький рівень державного фінансування медичної галузі, розраховувати на придбання зазначеної техніки за кордоном не є реалістичним (є приклади придбання такої техніки для елітних медичних установ).

У той самий час в Україні є певний досвід створення СКП для стаціонарних і транспортних об'єктів, в тому числі об'єктів ВПК.

Не існує принципових проблем щодо виробництва елементів блоків тепловологісної обробки повітря (охолоджувачів та обслуговуючих холодильних машин, нагрівників і зволожувачів різних конструктивних схем), систем повітророзподілу (відповідні повітроводи, повітророзподільники та запірно-регулююча арматура).

Аналогічно це стосується розробки і виробництва систем автоматичного керування на основі сучасної мікропроцесорної техніки.

Певні проблеми можуть виникнути при створенні блоків очищення (фільтрації), у своєї більшості багатоступінчастих, в яких використовуються спеціальні матеріали, досвіду виробництва котрих в Україні немає.

Так саме це стосується унікальних приладів контролю чистоти повітряного середовища, які розробити в стислі терміни проблематично, і на даному етапі є доцільним їх придбання за кордоном.

І все-таки значну долю зазначеного обладнання можливо спроектувати і виготовити вітчизняним виробником.

На погляд авторів, доцільним є відродження наукової та проектно-конструкторської діяльності в напрямку створення техніки для високотехнологічних виробництв на основі наукоємних технологій, в тому числі виробництв і послуг, де використовуються чисті приміщення і технології.

Висновок

В роботі виконано аналітичний огляд стандартів з чистих технологій, які діють в медичній галузі в різних країнах. Показано, що діючі в Україні державні стандарти з чистих технологій, які є тотожним перекладом серії міжнародних стандартів ISO 14644 випуску 1999 – 2005 років, потребують переробки з метою приведення їх до вимог ISO 14644 – 1: 2015. Це дозволить створити нормативну базу для розвитку найсучасніших

технологій у медичній галузі. Крім того, вже зараз підприємства повинні готуватися до введення нових стандартів у сфері нанотехнологій, що дозволить створювати унікальне обладнання та різного роду інструментарій на базі чистих технологій.

Список використаних джерел

1. Федотов А. Е. Стандарты на чистоту воздуха в лечебных учреждениях – нормативная основа предупреждения внутрибольничных инфекций / А. Е. Федотов // Технология чистоты. – 2006. – № 1. – С. 18–23.
2. Федотов А. Е. Чистые помещения / А. Е. Федотов. – М.: Изд-е АСИНКОМ, 2015. – 512 с.
3. ДСТУ ISO 14644 – 1:2009 (ISO 14644 – 1:1999, IDT). Чисті приміщення та пов'язані з ними контрольовані середовища. Частина 1. Класифікація чистоти повітря – [Чинний від 2012-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2010. – 23 с. – (Національний стандарт України).
4. ДСТУ ISO 14644 – 2:2009 (ISO 14644 – 2:2000, IDT). Чисті приміщення та пов'язані з ними контрольовані середовища. Частина 2. Вимоги до контролювання і моніторингу для підтвердження відповідності ДСТУ ISO 14644 – 1 – [Чинний від 2012-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2010. – 10 с. – (Національний стандарт України).
5. ДСТУ ISO 14644 – 3:2007 (ISO 14644 – 3:2005, IDT). Чисті приміщення та пов'язані з ними контрольовані середовища. Частина 3. Метрологія та методи вимірювання – [Чинний від 2008-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 54 с. – (Національний стандарт України).
6. ДСТУ ISO 14644 – 4:2012 (ISO 14644 – 4:2001, IDT). Чисті приміщення та пов'язані з ними контрольовані середовища. Частина 4. Проектування, будівництво та введення в експлуатацію – [Чинний від 2013-07-01]. – К.: Мінекономрозвитку України, 2013. – 46 с. – (Національний стандарт України).
7. ДСТУ ISO 14644 – 5:2012 (ISO 14644 – 5:2004, IDT). Чисті приміщення та пов'язані з ними контрольовані середовища. Частина 5. Експлуатація – [Чинний від 2013-07-01]. – К.: Мінекономрозвитку України, 2013. – 42 с. – (Національний стандарт України).
8. ДБН В.2.2 – 10 – 2001. Заклади охорони здоров'я. Будинки і споруди – [Чинний від 2002-01-01]. – К. : Укрархбудінформ: Держбуд України, 2001. – 164 с. – (Нормативний документ Держбуд України. Державні будівельні норми).
9. СанПиН 2.1.3.1375–03. Гигиенические

требования к размещению, устройству, оборудованию и эксплуатации больниц, родильных домов и других лечебных стационаров – [Действующий с 2004-01-01]. М.: Мединформ: Минздрав РФ, 2003. – 36 с. (Нормативный документ Минздрава РФ. Санитарные правила и нормы).

10. ГОСТ Р 52539 – 2006. Чистота воздуха в лечебных учреждениях. Общие требования – [Действующий с 2007-01-01]. – М.: Стандартинформ, 2006. – 36 с. – (Национальный стандарт Российской Федерации).

11. Федотов А. Е. ISO 14644 – 1:2015 – Шаг вперед или два шага назад? / А. Е. Федотов // Технология чистоты. – 2015. – № 4. – С. 7–8.

12. Проект стандарта ISO 14644 – 12 «Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 12 : Классификация чистоты воздуха по концентрации наноразмерных частиц» // Чистые помещения и технологические среды. – 2013. – № 3 (47). – С. 18–24.

Надійшла до редакції 21.11.2017

Рецензент: д.б.н., проф. Козій М. С., Чорноморський національний університет імені Петра Могили, м. Миколаїв.

Ю. Г. Щербак, к.т.н., **О. В. Щесюк**, к.т.н.

СОВРЕМЕННЫЕ СТАНДАРТЫ ПО ЧИСТЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ – ВАЖНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ РАЗВИТИЯ МЕДИЦИНСКОЙ ОТРАСЛИ

В работе выполнен аналитический обзор стандартов по чистым технологиям, которые используются при создании оборудования для обеспечения современных медицинских услуг и технологий. Показано, что внедрение в стране обновленных международных стандартов ISO 14644 позволит создать нормативную базу для развития самых современных технологий в медицинской области, включая нанотехнологии.

Ключевые слова: медицинская отрасль, международный стандарт, чистое помещение, чистые технологии, наночастица.

Y. Shcherbak, PhD, **O. Shchesuk**, PhD

MODERN STANDARDS FOR CLEAN TECHNOLOGIES – AN IMPORTANT COMPONENT OF THE MEDICAL INDUSTRY DEVELOPMENT

An analytical review of the standards for clean technologies that are used to create equipment for the provision of modern medical services and technologies is performed in this work. It is shown that the introduction of updated international standards ISO 14644 in the country will allow creating a regulatory framework for the development of the most advanced technologies in the medical field, including nanotechnology.

Keywords: medical industry, international standard, clean room, clean technologies, nanoparticle.

В. М. Новіков¹, д.ф.-м.н., **О. А. Никитюк²**, д.с.-г.н.

¹Інститут підвищення кваліфікації фахівців в галузі технічного регулювання та споживчої політики
Одеської державної академії технічного регулювання та якості, м. Київ

²Національний медичний університет ім. О. О. Богомольця

АНАЛІЗУВАННЯ ЯКОСТІ ВЛАДИ, ВИХОДЯЧИ ІЗ ЗАГАЛЬНИХ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ

В статті, виходячи із загальних закономірностей функціонування систем, визначено наявність впливу якості влади (в широкому розумінні) на якість будь-якого виробленого в даній країні продукту (послуги). Для управління соціальними чинниками якості влади запропоновано використовувати програми соціальної відповідальності.

Ключові слова: управління, якість, система, соціальна відповідальність.

В роботі продовжено вивчення питань впливу якості влади (в загальному розумінні) на якість продуктів виробництва в даній державі.

В попередніх роботах автори показали, що конкурентоздатність вітчизняних підприємств в основному визначається факторами якості влади [1], які в свою чергу залежать від якості суспільних відношень (культурних, соціально-політичних, історичних чинників) в рамках визначеної моделі розвитку суспільства [2].

Метою даної роботи є продовження попередніх досліджень в напрямку застосування сучасної міжнародної нормативної бази в галузі соціальної відповідальності до формування моделей управління соціальними чинниками влади.

Будь-яка система є комплексом взаємодіючих і взаємозалежних елементів. Наприклад, біологічна система «людина» складається із елементів: легень, серця і судин, печінки та ін.

Система не може довго функціонувати без одного з цих елементів.

В той же час кожен з цих елементів в свою чергу є теж системою (наприклад, серцево-судинна система), на функціонування якої впливають всі елементи біологічної системи «людина», і яка не може існувати відокремленою від інших елементів усієї біологічної системи «людина» взагалі.

Наша біологічна система «людина» (в свою чергу) повинна існувати в єдності з навколишнім середовищем.

Так, наприклад, людина не може жити (система не може функціонувати) без повітря, чи, скажімо, води, у відірваності від зовнішньої біологічної системи Землі (елементом якої є людина).

Зрозуміло, що загальні властивості системи мають бути притаманні і біологічній системі, і системі управління окремого виробництва, і системі влади.

Провівши подібний аналіз системи менеджменту будь-якого підприємства чи організації, ми дійдемо висновку, що вона не може ефективно функціонувати у «невідповідному» середовищі, у відірваності від системи більш високого порядку, наприклад, системи управління міністерства, системи виконавчої влади регіону, нарешті, соціальних та політичних систем управління в державі взагалі.

Отже, ґрунтуючись виключно на загальних закономірностях будь-якої системи, ми дійшли висновку про те, що і ефективність функціонування системи управління якістю організацій та підприємств (а, отже, і рівень якості та конкурентоспроможності вітчизняної продукції) визначаються в основному ефективністю систем управління вищого порядку – систем управління промислових відносин та влади взагалі.

В спрощеному вигляді цей висновок ілюструється пірамідою якості (рис. 1).

Наприклад, з 1988 року в США діє Програма преміювання високоефективних організацій Федерального уряду [3].

Після її започаткування, кількість впроваджених на підприємствах США систем моделі ДСТУ ISO 9001 за 6 років збільшилась у 100 разів.

Коли ми говоримо про якість, то розуміємо, що якість, перш за все, – це здатність продукту (виробу, послуги, процесу) задовольнити потреби зацікавлених сторін, насамперед, споживачів.

Якщо зацікавлені сторони промислового підприємства з виробництва, скажімо, паперу, досить відомі і визначені, то сьогодні ніхто серйозно не займався проблемами вивчення інтересів зацікавлених сторін при формуванні поняття якості влади – це і громадяни, і підприємства, і, навіть, інші держави.

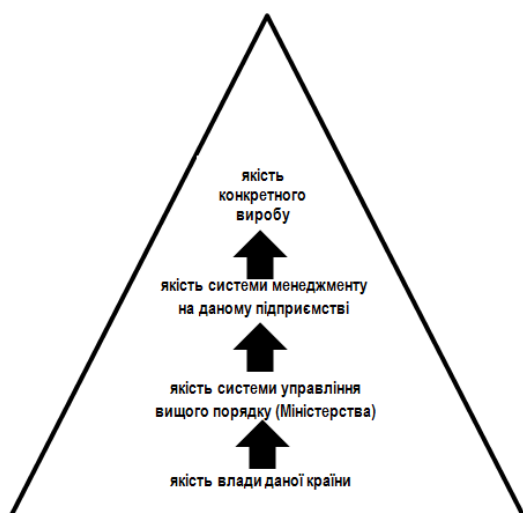


Рисунок 1 – Піраміда якості

В загальному вигляді, напевно, параметри якості влади можна умовно розбити на три основні групи (рис. 2).



Рисунок 2 – Основні параметри якості влади

Оскільки соціальні чинники, як було показано в [2], в основному формують якість влади, то постає питання організації належного управління цими чинниками.

На наш погляд настанови соціальної відповідальності [4], видані міжнародною організацією із стандартизації ISO, можуть бути корисними у вирішенні проблем управління соціальними чинниками влади.

На жаль, і до сьогодні в Україні нема належного розуміння важливості і корисності настанов [4] не тільки для організацій (де ступінь їх впровадження практично дорівнює нулю і до сьогодні, через 7 років існування [4]), а й для органів виконавчої влади.

Так, формально модель системи управління, що відповідає вимогам ДСТУ ISO 9001 впро-

ваджена у вітчизняних органах виконавчої влади, однак, ми з вами – організації, підприємства, споживачі «послуг» влади не відчули реальних змін.

Проводячи планові підвищення кваліфікації серед керівників з якості органів виконавчої влади та аудиторів, що проводили сертифікаційні роботи, на місцях, оцінюючи тестуванням ефективність роботи моделі ДСТУ ISO 9001 в органах влади, ми дійшли важливого висновку: більшість фахівців-експертів у даному напрямку знань (близько 85 %) вважають ефективність сертифікації систем низькою, а більш ніж 70 % з них причиною низької ефективності системи управління в органах влади вважають її неконкретність.

Позитивний досвід впровадження програм соціальної відповідальності [5] в організаціях дозволяє зробити припущення про необхідність їх впровадження також і в системах управління органів виконавчої влади, саме з метою конкретизації системи управління.

Звісно, загальна структура програм соціальної відповідальності має відповідати політиці в галузі якості і цілям.

Запропонований авторами варіант структури можливої програми соціальної відповідальності для органів влади приведений в таблиці 1.

Така структура програми, на наш погляд, відповідає загальному підходу Демінга «плануй-роби-перевірай-коригуй» та розроблена в рамках новітніх тенденцій ISO, що полягають в побудові систем управління саме в рамках програм якості (планів дій), тобто документів, які конкретно визначають технології управління організацією.

Висновки:

1. Виходячи із загальних закономірностей функціонування будь-якої системи показано, що якість системи управління в органах виконавчої влади впливає на якість роботи організацій регіону та визначає соціальні фактори життя регіону.

2. Виходячи із результатів експертних оцінок ступеня якості існуючих систем управління в органах виконавчої влади, з метою збільшення їх результативності, запропоновано використовувати програми соціальної відповідальності, в рамках настанов [4].

3. Запропонований варіант структури програм соціальної відповідальності для органів виконавчої влади.

Список використаних джерел

1. Новіков В. Системи управління якістю в органах влади – дієвий інструмент підвищення конкурентоспроможності країни / В. Новіков,

О. Никитюк // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2007. – № 5. – С. 50–52.

2. Роль і місце якості влади в суспільно-політичних відносинах країни. – Ілюстративно-методичні матеріали до курсу лекцій ДП «УкрНДНЦ». – 2007 р. – 31 с.

3. Мозго В. А. Менеджмент качества в государственных учреждениях/ В.А. Мозго // Методы менеджмента качества. – 2005. – 10. – С. 4–7.

4. ISO 26000:2010. Guidance on social responsibility (Настанова із соціальної відповідальності).

5. Домницька В. Аналіз нормативних документів щодо соціальної відповідальності організації / В. Домницька, В. Жогло, В. Новіков // «Стандартизація, сертифікація, якість». – 2010. – № 6. – С. 13–17.

Надійшла до редакції 09.10.2017

Рецензент: д.т.н., проф. Коломієць Л. В., Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса.

Таблиця 1 – Варіант структури програми соціальної відповідальності для систем управління в органах виконавчої влади (ОВВ)

№ з/п	Назва розділу програми	Опис розділу програм
1	Назва програм	Має відображати один із пріоритетних напрямків соціальної діяльності ОВВ, має бути короткою, зрозумілою для зацікавлених сторін
2	Джерела і об'єм фінансування	Конкретно визначаються джерела і об'єм поетапного фінансування програми
3	Терміни реалізації	Вказуються терміни впровадження програми (в разі доцільності - поетапно)
4	Мета програми та цілі	Загальна мета, що має бути досягнута після впровадження програми. Визначені вимірювані цілі
5	Завдання, які мають бути вирішені	Завдання, які ОВВ має вирішити для досягнення поставленої мети і реалізації поставлених цілей
6	Визначені зацікавлені сторони та вплив програми на їх діяльність	Ідентифікуються зацікавлені сторони, на які вплине впровадження програми. Чим конкретно визначається ступінь впливу програми на зацікавлені сторони
7	Залученість персоналу та ін. ресурсів (крім фінансових)	Які сторони (організації, персонал, волонтери, партнери та ін.) мають бути залучені до виконання програми і в який спосіб
8	Перевірка ступеня досягнення поставленої мети та цілей	Яким чином має здійснюватися перевірка ступеня реалізації програмами, в плані досягнення мети і цілей
9	Рекомендації стосовно подальшого вдосконалення	Коригувальні дії та рекомендації до вдосконалення подальшої діяльності ОВВ, які можна застосовувати після реалізації програми

В. Н. Новіков, д.ф.-м.н., **А. А. Никитюк**, д.с.-х.н.

АНАЛИЗИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ВЛАСТИ, ИСХОДЯ ИЗ ОБЩИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

В статье, исходя из общих закономерностей функционирования систем, определено наличие влияния качества власти (в широком смысле) на качество любого произведенного в данной стране продукта (услуги). Для управления социальными факторами качества власти предложено использовать программы социальной ответственности.

Ключевые слова: управление, качество, система, социальная ответственность.

V. M. Novikov, DSc, **O. A. Nykytyuk**, DSc

ANALYZING THE QUALITY OF AUTHORITY, BASED ON THE GENERAL LAWS OF MANAGEMENT SYSTEMS FUNCTIONING

In the article, based on the general laws of the functioning of the systems, the presence of the influence of the quality of power (in the broad sense) on the quality of any product (service) produced in a given country is determined. To manage the social factors of the quality of power, it is suggested to use social responsibility programs.

Keywords: management, quality, system, social responsibility.

ТЕХНОГЕННІ КАТАСТРОФИ, ЇХ ПЕРЕДБАЧЕННЯ, ЗАПОБІГАННЯ ТА УНИКНЕННЯ

В статті розглянуті основні види та причини виникнення техногенних катастроф, як надзвичайно масштабних аварій. Однією з найбільш значимих причин вважається «людський фактор». Показано, що в Україні, в умовах виникнення різного виду техногенних катастроф, потрібні фахівці, які за профілем своєї роботи мали б можливість їм запобігати. Таких фахівців потрібно вже сьогодні готувати для підприємств, на яких вони зможуть працювати в системі забезпечення техногенної безпеки.

Ключові слова: техногенні катастрофи, аварії, людський фактор, фахівці, передбачення, запобігання катастроф, моніторинг об'єктів, професійна підготовка.

Постановка проблеми в загальному вигляді полягає у розгляді видів та аналізу причин техногенних катастроф для створення систем моніторингу та запобігання їх. Стрімкий розвиток земної цивілізації вражає кожного, хто в будь-який спосіб і на яку б глибину уяви занурився в міркування щодо ходи цього процесу та його значення для людства. Якої б галузі людського буття та зайнятості кожного з жителів Землі ми не торкнулися, повсюди є результати небувалого прогресу. Особливих масштабів стрімкість розвитку людства набула в останню третину ХХ-го сторіччя і ця стрімкість з кожним роком набуває значних розмірів. Поряд з природними катаклізмами зростає кількість та масштабність техногенних катастроф, що впливають на людство вже в планетарному масштабі. Безумовно, що збільшення масштабів різноманітних промислових виробництв, їх небезпека тільки загострює складність середовища проживання людини. Але й тут є певна байдужість політиків, олігархічних кіл щодо згубних наслідків різного виду катастроф, кризових явищ та залежності здоров'я і життя людей від них. Особливо негативними є наслідки від локальних воєнних конфліктів, ареною для яких стала й стара Європа.

Аналіз досліджень та публікацій щодо техногенних катастроф. Техногенна катастрофа – це крупна аварія на техногенному об'єкті, що призводить до масової загибелі людей та масштабних порушень екологічної рівноваги у біосфері. Техногенні катастрофи є випадковими і відрізняються за проявом та змістом від природних. Однак, природні катастрофи можуть викликати або ж спровокувати техногенні, тому важливо передбачати техногенні аварії в районах, де є висока ймовірність негативного впливу природи та осередки такого впливу (вулканічна діяльність, цунамі, складні ураганні прояви погодних умов та інше). Всі види катастроф класифікують як надзвичайну ситуацію. Такі катастрофи є наслід-

ком технологічного прогресу, який здійснює бажання людини мати владу над середовищем проживання або ж протистояти його проявам проти людини. Здебільш ці катастрофи викликаються, зазвичай, збоями в роботі складних систем, їх відмовами, несправностями та неочікуваними наслідками їх штатного функціонування. Будь-які системи створюються та існують для потреб людини, для реалізації та досягнення поставлених цілей, що мають локальне або ж регіональне значення. Будь-які складні системи сьогодення (енергетичні, логістичні, природньо-екологічні або ж космічні) створюються за участю та взаємодією безлічі елементів та інших зовнішніх систем, де задіяні люди або ж створені ними технології. Тому в появі аварій та катастроф все більшу роль починає відігравати людський фактор, що проявляється в прорахунках, помилках персоналу, нехтування набутим досвідом та можливим впливом сторонніх явищ, відсутністю служб та персоналу з прогнозу і передбачення аварій і катастрофічних явищ. Поява складних і потужних технічних систем підвищує ризик людських, матеріальних та екологічних втрат [1–3].

Згідно міжнародної класифікації, виділяють такі основні типи технологічних катастроф: надзвичайні прояви на промислових об'єктах (виток хімічних та токсичних речовин, аварії та пожежі і вибухи паливно-мастильних матеріалів, аварії систем газопостачання та електроенергетики, вибухи речовин військового призначення, зараження при аваріях на АЕС, руйнування об'єктів, що викликані іншими причинами), транспортні (аварії літальних та космічних апаратів, на морських та річкових суднах, на автошляхах, залізничному та міському транспорті, інші) і змішані, які проходять на інших об'єктах та в селітебних зонах. Всі вказані види катастроф можуть проходити при участі аномальних природних явищ, що можуть спровокувати або ж посилити дію техногенних катастроф [4].

За останні роки в Україні виникло близько 500 надзвичайних ситуацій техногенного походження з яких більшість відноситься до індустріально розвинутих регіонів Півдня та Сходу держави. Причинами таких аварій є безвідповідальне відношення проектувальників, будівельників та керівників підприємств до вимог техніки безпеки і стану виробництва, де є значні вибухонебезпечні та легкозаймисті ділянки, погані знання про властивості і природу, окремі прояви і реакції хімічних речовин, стихійні явища, що призводять до поломок енергетичних та комунальних систем, виробничих будівель та об'єктів виробництва, машин і механізмів, порушення правил зберігання та обороту різних небезпечних речовин. Надзвичайні ситуації техногенного характеру виникають в основному на потенційно небезпечних об'єктах, до яких відносяться хімічні виробництва, ядерні установки АЕС, склади та сховища пально-мастильних матеріалів, зброї, боєприпасів, електростанції, енергетичні мережі та гідродинамічні об'єкти.

Особливо можна виділити транспортні катастрофи, насамперед, морські та річні, повітряні. Кожна техногенна катастрофа по-своєму унікальна. Однак, є і загальні причини, які стоять за негараздами такого роду. Американський вчений Лі Девіс, автор довідника «Рукотворні катастрофи» наводить їх в такому порядку: «...дурість, безвідповідальність і жадібність...» [5]. Девіс вважає, що так званий «людський фактор» є причиною більшості техногенних катастроф і створює обставини, багато з яких призвели до значних людських і матеріальних втрат.

Найбільшим у світі катаклізмом такого роду став вибух ємкості з хімікатами в індійському місті Бхопал, на заводі з виробництва добрив американської хімічної корпорації «Union Carbide» 3 грудня 1984 р. Трагедія в Бхопалі призвела до отруєння та смерті багатьох тисяч персоналу і робітників та населення міста. Аварія сталася через відсутність дійового контролю за станом ємностей з реагентами і порушення правил техніки безпеки, непрофесійного ставлення керівництва заводу, інженерно-технічного персоналу та медичної служби до своїх обов'язків, зношене і застаріле обладнання.

Всі ці причини ніби акумулювали вказані принципи Лі Девіса. З катастроф ядерних об'єктів найбільші впливові на екологію і соціально значимі – це аварія на Чорнобильській АЕС у 1986 р., аварія на російському радіохімічному комбінаті «Маяк» у 1957 р., аварія на АЕС «Фукусіма» в Японії у 2011 році. Вплив «людського фактору», (фактору Лі Девіса) приводить і до значних аварій на магістральних енергетичних мережах (ЛЕП та газопроводи).

Всі ці фактори згубності для людей звичай-

но не є випадковими або хаотичними. Є закономірності, що приховані підчас за вдаванням благополуччям окремих регіонів або країн та їх верств населення. Звичайно, що такі питання є предметом розгляду ряду вчених, політиків, що приймають рішення на кшталт Кіотського протоколу. Деякі вважають це виходом з ситуації, що з кожним роком заганає нас в обмежені рішення, приймаючи їх за панацею від всіх бід. Досить помилковим вважати і те, що рішення всіх проблем, починаючи з Чорнобильської катастрофи і Фукусіми і до появи майже щорічно небачених раніше захворювань, які викликають ураганий летальний кінець, може бути вирішено за рахунок так званої екології. Відомо, що екологія, перш за все, займається внутрішньовидовими і міжвидовими відносинами і це має відношення, перш за все, в біологічному сенсі. У більшості випадків говорячи про екологію, треба розуміти взаємовідношення людини і середовища її місце проживання, андроекологію, екологію всередині біосфери, в центрі якої є людина. Але, на жаль, про це забувають різні вчені, політики і практики, які застосовують цей термін до організації технологій, про вплив на середовище різного виду шкідливих викидів виробництв та про необхідність їх зменшення і тому подібне. На сьогодні поняття «екологія» вихолощене по суті при розгляді місця та значення людини, як біологічної та соціальної ланки в складній системі глобалізованих відносин, їх особливостей і зростання масштабності. Кожне технічне досягнення людства достеменно має дві особливості: вирішення якоїсь проблеми та появи нових. Найбільш важливими факторами дестабілізації середовища життя людини стають техногенні аварії і природні катастрофи. Багато з них тісно пов'язані між собою та мають глобально-екологічний характер та вплив. Прикладом є особливо значимі аварії на АЕС, ГЕС у кінці XX-го століття та на початку XXI, у місцях зберігання значної кількості паливно-мастильних матеріалів (нафтобази) та боєприпасів. Відомі техногенні аварії, що виникали в Україні, у нашого найближчого сусіда – Росії та в інших країнах в кінці XX-го століття і на початку XXI пов'язані, перш за все, з ростом частки використаних пожежно-вибухово-хімічно небезпечних технологій та з людським фактором.

Ціль статті показати, що можливість виникнення техногенних катастроф напряму пов'язана зі складністю та надійністю систем, якими є об'єкти і виробництва, їхня функціональна направленість та людський фактор.

Чим складніша система, тим більше в ній елементів, тим більш складні зв'язки і тим більшу потенційну небезпеку вона в собі містить. Втрата надійності у функціонуванні складних

технічних систем може мати негативні глобальні наслідки для земної цивілізації (аварії на АЕС, великих хімічних комбінатах). Розбалансованість економіки, роботи контролюючих органів, корупція, бездіяльність органів влади та правоохоронних структур, погіршення якості підготовки відповідних кадрів та їх знань тільки підвищує рівень небезпеки техногенних катастроф, породжує потенційні джерела значних виробничих аварій і катастроф. Величезне значення має так званий «людський фактор», коли обслуговуючий персонал своїм низьким потенціалом діяльності та відповідності, непрофесійними діями, недбалістю або неправомірною винагородою приводить підприємство або його частину у потенційно небезпечний стан. Праця людини в сучасному виробництві являє процес її взаємодії з виробничим середовищем і сукупністю технічних засобів, які мають визначену функцію, надійність та регламент використання і діяльності. В системі «людина – середовище – машина» проходить мобілізація психологічних і фізіологічних функцій людини, при цьому витрачається нервова і м'язова енергія. Велика швидкість технологічних процесів потребує надійної реакції людини-оператора на зовнішні подразники, в залежності від отриманої інформації, потребують від людини виключної уваги до одержаних сигналів. На виробництві повинна діяти не тільки система забезпечення якості продукції, але й підкріплена вимогами менеджменту безпеки, що органічно влітаються в систему якості. Технологічні аварії і катастрофи часто виникають і внаслідок таких бажань, що йдуть в розріз з інструкціями, технологічним регламентом та внаслідок бажання одержати якісну або кількісну продукцію будь-якою ціною і доволі часто – за вимогами керівництва підприємства. Тому важливо встановити основні принципи безпекової діяльності підприємства в розробці новітнього менеджменту якості.

При цьому, орієнтуючими принципами повинні бути: урахування людського фактору; принцип нормування; системний підхід та моделювання діяльності підприємств у динамічному режимі.

Принципи управління повинні стимулювати відповідальність та високий професіоналізм персоналу, використання сучасних методів і технічних засобів в зонуванні території по рівнях безпеки, моніторинги і контролі так званих «критичних точок» виробництва, неперервного контролю дії персоналу в таких точках при виконанні робіт.

Основна частина статті полягає у виборі основних принципів та методів аналізу безпечного стану складних систем, що мають потенціали загрози виникнення катастроф, створення менеджменту безаварійної діяльності за участю

підготовлених фахівців.

Технічні принципи мають на меті використання конкретних технічних рішень і відповідних знарядь і пристроїв, системних елементів на локальних ділянках і в цілому на підприємстві.

Аналіз публікацій і даних щодо виникнення аварій та техногенних аварій різного масштабу показує, що основоположними є аналіз надійності елементів систем, особливо складних і таких, в яких значну роль відіграє людський фактор, їх безпека, як окремих елементів, так і системи в цілому і досягнення мінімального ризику в роботі системи, взаємодія системи з навколишнім середовищем, особливості системи, взаємодія системи з навколишнім середовищем, особливо в умовах ризику прояву природних катаклізмів.

Безпека є однією з найбільш соціально-значимих характеристик діяльності підприємства, пов'язаних з ризиком, тому є необхідність вивчення умов виникнення шкоди, розробки і реалізації заходів по її мінімізації. Близькою за постановкою та змістом є «...задача розрахунку **надійності**, як властивості об'єкту виконувати і зберігати у часі задані йому функції у заданих режимах в умовах експлуатації та при взаємодії цього об'єкту з іншими в середині технічної системи, а також з навколишнім середовищем...» [8]. Ця властивість визначає ефективність функціонування технічної системи у часі через свої показники.

Аналіз надійності, розгляд наслідків аварій, надає можливість оцінки ризику.

Теорія надійності – один з важливих розділів прикладної математики. Одним з основних в теорії надійності є поняття відмови – втрати працездатності системи. В теорії розробляються методи виявлення передвідмовних станів та проводиться аналіз здатності системи зберігати властивості і функції в умовах нормальної експлуатації. Ситуації, які порушують надійність виробів системи, розглядаються як випадкові, тому особливе місце при оцінці надійності систем займають методи теорії вірогідності і математичної статистики. З математичної точки зору оцінювання надійності та безпеки може бути здійснено за допомогою доволі складного математичного апарату. Для спрощення використовують принципи теорії безпеки і розглядаються всі випадки, які приводять систему в небезпечний стан [8, 12].

Практично реальним та доступним шляхом є проектування та прогноз стану системи за допомогою моделювання, яке здійснюється на ЕОМ з відповідним математичним забезпеченням і такий шлях є достатньо перспективним. Створенні на основі логіко-ймовірної теорії методи являються найбільш привабливими для практичного здійснення, вони виключно чіткі, однозначні і

придатні для аналізу впливу будь-якого елементу на безпеку всієї системи. Це методи розрахунку показників безпеки системи, при яких сценарій поведінки системи (сценарій аварії) описується засобами математичної логіки, а оцінка її безпеки виконується за допомогою теорії ймовірності. Програють всі можливі варіанти розвитку аварійної ситуації на математичних моделях. Щоб досягнути можливості перегляду тих ситуацій, які можуть призвести систему в небезпечний стан в першу чергу необхідно провести системний аналіз об'єкту, що досліджується, в ході якого потрібно:

- повністю конкретизувати і чітко уявити суть небезпечного стану системи;
- визначити розумні рамки об'єкту: провести зонування об'єкту та визначити критичні точки небезпек
- застосувати строгу логіку перебору ситуацій при складанні сценарію розвитку негативних явищ.

Фундаментальним поняттям в теорії безпеки є поняття аварійної ситуації (стану) системи і відповідної логічної функції безпеки системи. По аналогії з теорією надійності, де основним поняттям є відмова і все починається з поняття працездатності системи, в теорії безпеки знадобиться в кожному конкретному випадку надати аналітичний опис цього небезпечного стану системи в значних масштабах. Такий небезпечний стан у фізичних і математичних моделях називається негативним випадком. Відрізняють два типи підходу щодо аналізу можливої аварії [8–11]:

Перший підхід являє собою аналіз аварії «з кінця на початок», коли аналізується небезпечний стан системи і створена логічна функція, аргументами якої є явища, що будуть початковими і присутні у сценарії.

За допомогою **другого підходу** «з початку в кінець» вирішується задача пошуку шляхів переходу системи в небезпечний стан і розглядається поява ключового для нас первинного явища, яке виводить систему з рівноваги. Такий аналіз безпеки має виявити сценарій критичного функціонування системи, появу негативного явища, яке може призвести до катастрофи. Для вивчення ризику найбільш важливою є стадія передумовного аналізу небезпек: неконтрольовані витoki токсичних та займистих речовин; вивільнення високих енергій; критичний стан вибухонебезпечних речовин (фактори миттєвої дії). Потім визначаються частини системи (підсистем), які можуть викликати такі небезпечні стани (хімічні реактори, ємності та склади, енергетичні установки, інше), організація і контроль робочого процесу, впливи людського фактору. Після визначення потенційних небезпек проводиться якісна

оцінка потенційних наслідків від рівня безпечно-го стану і до катастрофічного. Такий попередній аналіз виконується на першому етапі розробки та експлуатації системи.

Висновки

Для України, що має складні проблеми з енергетичним забезпеченням, наявністю значної кількості ядерних реакторів і небезпечних підприємств в дії, складний соціально-економічний стан, відсутність національної програми безпечності підприємств та стану навколишнього середовища вкрай важливо мати надійну систему заходів по запобіганню аварій і техногенних катастроф. Це може бути досягнуто тільки при існуванні програми аналізу роботи всіх потенційно небезпечних підприємств, вироблення наукової бази запобіганню техногенних катастроф на основі світового та власного досвіду, наукових розробок і відповідних технічних кадрів, їх підготовки і роботи на кожному з таких підприємств [13]. Нам потрібна підготовка спеціалістів в області прогнозування та запобігання техногенних катастроф, яка б ґрунтувалась на спеціальних математичних, науково-технічних та інформаційних дисциплін, моделювання та логічного аналізу, психології, в тому з використанням досвіду безпеки середовища життєдіяльності людей. Аналізуючи такі процеси, виділяючи в них першостатейні і головні, передбачуючи наслідки від їх здійснення людьми з індивідуальними особливостями і цілями, розглядаючи ці процеси методами системного аналізу, моделювання та прогнозування, можна уникати негативних і катастрофічних наслідків. Важливо знати стійкість і надійність системи кожного процесу. Майбутні фахівці, яких вкрай важливо готувати вже зараз або ж ще вчора, повинні мати знання не тільки з багатьох «обов'язкових» дисциплін. Ці фахівці повинні володіти знаннями із спеціальних розділів математики, теорії інформації і ймовірності, теорію надійності та її прикладні аспекти; вони повинні знати теорію кризових явищ і катастроф, теорію хаосу, евристичний і логічний аналіз. Звичайно, такі фахівці повинні опанувати знаннями соціології, спеціальних розділів економіки, наприклад теорії економічного обміну, психології, теорії ігор, самоорганізації систем, методами системного аналізу. І все це повинно розглядатися в інтегральній сукупності з головним чинником – людиною, центром всіх процесів, їх розробки, організації і здійснення. Важливими для них буде опанування знаннями основних хімічних та промислових технологій, їх безпеки, «больових» точок типових підприємств, основних технічних засобів виявлення та передбачення критичних точок в будь-яких процесах і системах та прийняття рішень по їх запобіганню, а не ліквідацію негативних наслідків, що дуже дорого коштує і

може бути безповоротно негативним. Необхідним інструментом повинна бути підготовка таких спеціалістів на базі розробки навчальних програм, які на сьогодні поки ще відсутні в Україні, але існують в інших країнах.

Список використаних джерел

1. Техногенная катастрофа. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ru.wikipedia.org>.
2. Техногенные аварии и природные катастрофы. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.tcoteco.ru/>.
3. Техногенные катастрофы в истории человечества. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.tehno-science.ru/>.
4. Безопасность жизнедеятельности. Техногенные катастрофы. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://uchil.net/?cm=158862>.
5. Ли Дэвис. Справочник рукотворных катастроф. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: tehnoscience.ru/history-2309.html.
6. Стеблюк М. И. Чрезвычайные ситуации техногенного характера: аварии и катастрофы. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.uchebniki-online.com/index/htm>.
7. Павлов А. И. Теоретические основы безопасности жизнедеятельности. Человек и среда обитания. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.uristinfo.net/>.
8. Горопашная А. В. Методы анализа безопасности сложных технических систем.: дис. ... канд.физ.-матем.наук.: 05.13.01 / А. В. Горопашная: Санкт-Петербургский гос. унив. – 2009. – 109 с.
9. Шкляр В. Н. Надежность систем управления: учебное пособие для изучения дисциплины «Надежность систем управления» / В. Н. Шкляр. – Томск: Изд-во Томского политехн. унив-та, 2009. – 126 с.
10. Основные понятия теории надежности. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.obzh.ru/nad/index.html>.
11. Рябинин И. А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем. – СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2007. – 276 с.
12. Расчет надежности. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ru.wikipedia.org/wiki/>.
13. Системы выявления чрезвычайных ситуаций. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.txptrt112.com.ua/biblsoteka>.

Надійшла до редакції 06.11.2017

Рецензент: д.т.н., доц. Боряк К. Ф., Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса.

М. И. Сычев, к.х.н., Л. В. Коломиец, д.т.н., А. М. Поторак, В. А. Жиленков

ТЕХНОГЕННЫЕ КАТАСТРОФЫ, ИХ ПРЕДСКАЗАНИЕ, ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ И ИЗБЕЖАНИЕ

В статье рассмотрены основные виды и причины возникновения техногенных катастроф, как чрезвычайно масштабных аварий. Одной из наиболее значимых причин считается «человеческий фактор». Показано, что в Украине в условиях возникновения различного вида техногенных катастроф необходимы специалисты, которые по профилю своей работы имели бы возможность их предотвращать. Таких специалистов необходимо уже сегодня готовить для предприятий, на которых они смогут работать в системе обеспечения техногенной безопасности.

Ключевые слова: техногенные катастрофы, аварии, человеческий фактор, специалисты, предвидение и предотвращение катастроф, мониторинг объектов, профессиональная подготовка.

М. I. Sychev, PhD, L. V. Kolomiyets, DSc, A. M. Potorak, V. O. Zhylenkov

TECHNOGENIC CATASTROPHES, THEIR PREDICTION, PREVENTION AND AVOIDANCE

Main types and causes of man-made disasters as large-scale accidents are examined in the article. One of the most significant reasons is considered to be the “human factor”. It is shown that Ukraine needs specialists who according to the field of their work would be able to prevent various types of man-made disasters. It is necessary to train such specialists for the enterprises on which they would work to provide technogenic security.

Keywords: man-made disasters, human factor, specialists, prediction, disaster prevention, object monitoring, professional training.

ЗАСТОСУВАННЯ МОДЕЛІ РАША ДЛЯ АНАЛІЗУ ШКАЛИ ОЦІНЮВАННЯ КОМПЕТЕНТНОСТІ ТЕХНІЧНИХ ЕКСПЕРТІВ

У статті подано результати дослідження відомих шкал для оцінювання компетентності технічних експертів із застосуванням моделі Раша. Представлено основні особливості побудови моделі Раша, розглянуті математичні основи моделі Раша для дихотомічних і багатомірних даних. Розглянуто основні результати аналізу компетентності експертів у сфері технічного регулювання із застосуванням моделі Раша.

Ключові слова: компетентність експертів, шкала оцінювання, модель Раша, характеристична крива, програмний засіб.

Вступ

Математична модель Раша знайшла широке застосування для створення нових або для перегляду існуючих шкал у різних сферах діяльності [1]. Особливістю моделі Раша є трансформація отриманих вхідних даних в інтервальну шкалу натуральних логарифмів. До процесу логарифмічного перетворення вхідні дані у цій моделі взагалі не розглядаються.

Модель Раша [2–4] забезпечує отримання придатних результатів застосуванням декількох статистик щодо адекватності отриманих даних, певної діагностичної інформації. Ця модель представляє параметри тестування на єдиній загальній лінійній шкалі, що дозволяє здійснювати спеціальну інтерпретацію вхідних даних.

1 Аналіз публікацій та досліджень

Наукові публікації для моделі Раша охоплюють доволі велику кількість сфер діяльності [2–9], однак практично відсутні публікації, що охоплюють сферу технічного регулювання.

У праці [10] модель Раша визначається як порівняння результатів досліджуваних на шкалі натуральних логарифмів. Математичну сторону і саму теорію Г. Раша успішно розвиває Д. Андріч [2, 3]. Якщо дані відповідають моделі Раша, то в результаті вони представляються на інтервальній шкалі, яка стійка до втрати деяких первинних даних. Тому модель є методом об'єктивного масштабування даних. Розроблено кілька програмних засобів (ПЗ), зокрема [11], що дозволяють проводити необхідні розрахунки за моделлю Раша, а також дати відповідну оцінку придатності даних для використання моделі.

2. Постановка завдання

Метою дослідження є здійснення порівняльного аналізу відомих шкал для оцінювання компетентності технічних експертів із застосуванням

моделі Раша. Результатом порівняння повинні стати висновки щодо ефективності шкал оцінювання з наведенням отриманих характеристик моделі Раша.

3. Методи дослідження

Модель Раша може бути застосована до оцінювання в широкому колі сфер діяльності. Багато оцінок у певних сферах пов'язані з чітко визначеною групою осіб, що реагують на сукупність предметів для оцінки. Як правило, відповіді на поставлені пункти пропонованого тесту оцінюються 0, 1 (для двох упорядкованих категорій), або 0, 1, 2 (для трьох упорядкованих категорій), або 0, 1, 2, 3 (для чотирьох упорядкованих категорій).

Відповіді на питання тесту додаються між елементами тесту, щоб дати кожній залученій до оцінювання особі єдиний загальний бал. Цей загальний бал підсумовує відповіді на всі пункти тесту, а особа з більш високим загальним балом, ніж інша вважається, що відображає більшу кількість оціночної змінної. Підсумовуючи десятки елементів тесту з метою подання єдиної оцінки для особи, мається на увазі, що ці елементи призначені для вимірювання однієї змінної, яка часто називається однозначною змінною.

Модель Раша впливає з більш фундаментальної вимоги: порівняння двох осіб не залежить від того, які елементи можуть використовуватися в рамках елементів, що оцінюють ту саму змінну. Тобто, модель Раша розглядається як критерій структури відповідей, а не просто статистичного опису відповідей.

Аналіз вхідних даних за моделлю Раша дає низку деталей для перевірки того, чи додані результати в цих даних виправдано. Це називається тестом відповідності між даними та моделлю. Звичайно, дані ніколи не відповідають ідеальній моделі, і важливо враховувати придатність даних

для моделі стосовно використовуваних для застосування загальних балів [12–14].

Якщо дані адекватно відповідають цілям моделі, то аналіз за моделлю Раша лінеаризує загальну оцінку, яка обмежена рівнем 0 і максимальною оцінкою для елементів тесту до вимірювань. Лінеаризоване значення є місцем розташування особи на одновірному континуумі – значення називається параметром моделі та в одновірному контексті може бути тільки одним числом.

Модель Раша належить до моделей теорії реагування на предмети (IRT). Співвідношення між ймовірністю успіху до елемента та прихованою рисою описується функцією, яка називається характеристичною кривою елемента (ICC) або функцією відповіді елемента (IRF), яка приймає S-форму (рис. 1). Вона показує зв'язок між загальною оцінкою на тест та оцінкою місця розташування суб'єкта [12–14].

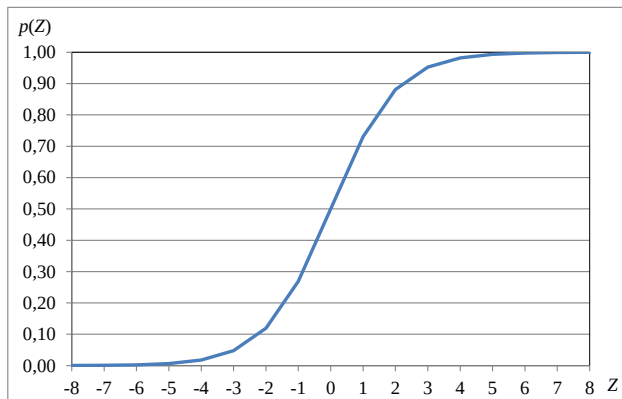


Рисунок 1 – Характеристична крива елемента

Чим вища здатність суб'єкта відносно складності елемента тесту, тим більша вірогідність правильної відповіді на цей елемент. Коли розташування суб'єкта по прихованій ознаці дорівнює складності елемента, за визначенням є 0,5 ймовірність правильної відповіді у моделі Раша.

Психометрична модель Раша концептуалізує шкалу вимірювання як лінійку (рис. 2) [12]. Елементи розташовані повздовж шкали вимірювань відповідно до їх складності: менш складні елементи розташовуються ліворуч, а найбільш важкі – справа. Стрілки вказують місце розташування предметів А, В і С на континуумі здатності.

Суб'єкти також можуть бути розташовані на тій же шкалі вимірювань і розташовуються відповідно до їх здатності: з низькою здатністю розташовані ліворуч, а з вищою здатністю – праворуч. Менш складні елементи можуть бути

успішно досягнуті більш здатними суб'єктами.

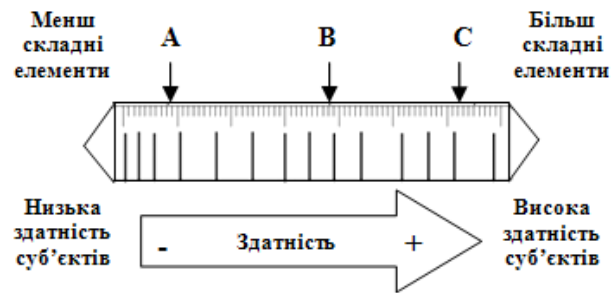


Рисунок 2 – Умовне представлення здатності континууму

Первинні бали мають невідомі проміжки між ними. Модель Раша будує оцінки реальних інтервалів складності елемента та особистої здатності шляхом створення лінійних шкал. У цьому процесі значення елемента калібруються, а особистісні якості вимірюються на загальному континуумі, який містить приховану рису.

Якщо рейтинг елемента відсутній, модель оцінює ймовірний рейтинг суб'єкта, не вказуючи відсутні дані. Одночасно, неправдоподібність відображення певного елемента оцінюється за рівнем статистики. Це порівняння того, що насправді отримано, і те, що передбачає модель, повинно отримуватися на основі оціночних заходів [12–14].

4. Математичний апарат моделі Раша

Дихотомічна випадкова величина $X_{ni} = x \in \{0,1\}$, де $x = 1$ позначає позитивну відповідь і $x = 0$ – негативну відповідь на певну позицію оцінки. У моделі Раша для дихотомічних даних ймовірність результату $X_{ni} = 1$ дається

$$\Pr\{X_{ni} = 1\} = \frac{\exp(\beta_n - \delta_i)}{1 + \exp(\beta_n - \delta_i)}, \quad (1)$$

де β_n – здатність суб'єкта n ; δ_i – складність елемента.

Таким чином, $\Pr\{X_{ni} = 1\}$ – це ймовірність успіху при взаємодії між відповідним суб'єктом і пунктом оцінки.

Багатомірна модель Раша, яка є узагальненням дихотомічної моделі, може бути застосована в контекстах, в яких послідовні цілі бали є категоріями збільшення рівня або величини прихованої риси. Шкала Лікерта, яка іноді використовується для багатомірної моделі Раша, містить п'ять типів відповідей: «категорично не згоден» (може бути призначено 0); «не згоден» (1); «не згоден і не погоджуюся» (2); «погоджуюся» (3);

«абсолютно згоден» (3).

Часткова кредитна модель Раша [3, 5] має однакову математичну структуру, але отримана з іншої вихідної точки пізніше і виражена дещо іншою формою. Випадкова величина $X_{ni} = x \in \{0, 1, \dots, m_i\}$ може приймати цілі значення від 0 до максимуму m_i – максимальної оцінки для пункту i .

Для часткової кредитної моделі Раша ймовірність результату $X_{ni} = x$ є

$$\Pr\{X_{ni} = x, x > 0\} = \frac{\exp \sum_{k=1}^x (\beta_n - \tau_{ki})}{1 + \sum_{j=1}^{m_i} \exp \sum_{k=1}^j (\beta_n - \tau_{ki})}, \quad (2)$$

$$\Pr\{X_{ni} = 0\} = \frac{1}{1 + \sum_{j=1}^{m_i} \exp \sum_{k=1}^j (\beta_n - \tau_{ki})}, \quad (3)$$

де τ_{ki} – k -й поріг розташування пункту i на латентному континуумі; β_n – розташування суб'єкта n в одному континуумі.

Ці рівняння однакові, як

$$\Pr\{X_{ni} = x\} = \frac{\exp \sum_{k=0}^x (\beta_n - \tau_{ki})}{\sum_{j=0}^{m_i} \exp \sum_{k=0}^j (\beta_n - \tau_{ki})}, \quad (4)$$

де значення τ_{0i} вибирається для зручності обчислень, тобто $\sum_{k=0}^{m_i} (\beta_n - \tau_{ki}) \equiv 0$.

Графік, який показує зв'язок між ймовірністю певного елемента як функцією місцезнаходження суб'єкта, називається кривою ймовірності елемента (CPC).

Логіт (logit) є ключовим елементом для ймовірнісної моделі Раша. Функція логіт є зворотною для сигмоїдної «логістичної» функції або логістичного перетворення, що використовується в математиці [10, 15]. Під вимірюванням у моделі Раша розуміється місце розташування (зазвичай у логітах) за прихованою змінною.

Логіт числа p – ймовірність, визначається за формулою

$$\text{logit}(p) = \log\left(\frac{p}{1-p}\right) = -\log\left(\frac{1}{p} - 1\right). \quad (5)$$

Величина $p/(1-p)$ – це відповідний коефіцієнт і логіт ймовірності є логарифмом шансів.

Статистики Infit і Outfit – найбільш широко використовувані діагностичні статистики моделі Раша. Графіки Раша і таблиці використовують нормалізовані невиважені середні квадрати, так що графіки є симетричними центрованими до нуля [11].

5. Результати аналізу компетентності технічних експертів із застосуванням моделі Раша

У працях [16–17] описані методики оцінювання компетентності технічних експертів із застосуванням різних методів. Для всіх цих методик використані одні і ті ж критерії оцінювання компетентності експертів, які встановлюють певну шкалу.

Для реалізації зазначених методів оцінювання компетентності технічних експертів застосовані наступні критерії: К1 – освіта і науковий рівень у сфері технічного регулювання; К2 – загальний стаж роботи; К3 – досвід роботи у сфері технічного регулювання; К4 – досвід роботи експертом у сфері технічного регулювання; К5 – робота на посаді. За кожним із критеріїв були визначені відповідні бальні оцінки.

Для оцінювання компетентності технічних експертів проведено опитування із застосуванням спеціально розробленої анкети на основі розглянутих критеріїв оцінювання компетентності. До оцінювання було залучено 32 фахівці зі стандартизації.

Отримані первинні дані про зазначених експертів оброблено із застосуванням моделі Раша і ПЗ MINISTER 4.0.1 [11]. Результати перетворення вхідних первинних даних за елементами (критеріями) та за суб'єктами (експертами) у вимірювання Раша наведені відповідно у табл. 1 і 2.

У табл. 1 і 2 результати вимірювання за елементами і за суб'єктами подані у логітах у порядку їх зменшення. Похибка вимірювання подається на основі моделі Раша, тобто це оціночне значення, яке при додаванні та відніманні з вимірювання у логітах дає мінімальну відстань до того, як різниця стане значущою.

У стовпчиках статистик Infit і Outfit знаходяться параметри, що характеризують відповідність даних моделі Раша: MNSQ (mean-square statistic) – значення, що характеризують рівень випадковості результатів або невідповідність даних моделі вимірювання; ZSTD – стандартизовані значення MNSQ, тобто ймовірність середньоквадратичної статистики, вираженої як z -статистика (середньоквадратичне відхилення).

Таблиця 1 – Результати перетворення даних за критеріями

Критерій	Загальний бал	Вимірювання	Похибка вимірювання	Статистика Infit		Статистика Outfit	
				MNSQ	ZSTD	MNSQ	ZSTD
K1	202	32	0,59	1,08	0,4	1,14	0,6
K5	203	32	0,57	1,11	0,5	1,12	0,6
K4	240	32	-0,33	0,78	-0,8	0,69	-0,9
K2	241	32	-0,36	1,30	1,1	1,24	0,8
K3	245	32	-0,47	0,65	-1,3	0,80	-0,5
Середнє значення	226,20	32	0,00	0,98	0,0	1,00	0,1
Стандартне відхилення	19,40	0,0	0,47	0,23	0,9	0,21	0,7

Таблиця 2 – Результати перетворення даних за експертами

Експерт	Загальний бал	Вимірювання	Похибка вимірювання	Статистика Infit		Статистика Outfit	
				MNSQ	ZSTD	MNSQ	ZSTD
29	44	2,76	0,89	0,86	0,4	1,64	0,9
30	44	2,76	0,89	0,83	0,3	1,39	0,7
01	43	2,22	0,63	0,51	-0,3	0,67	0,1
13	42	1,90	0,52	0,73	-0,1	0,65	-0,1
17	41	1,66	0,46	0,28	-1,2	0,29	-0,9
19	41	1,66	0,46	0,28	-1,2	0,29	-0,9
21	41	1,66	0,46	0,28	-1,2	0,29	-0,9
23	41	1,66	0,46	2,00	1,3	1,35	0,7
04	39	1,30	0,40	0,84	-0,1	0,73	-0,2
12	39	1,30	0,40	0,09	-2,5	0,13	-1,9
25	39	1,30	0,40	0,84	-0,1	0,73	-0,2
02	38	1,15	0,38	1,93	1,4	1,94	1,4
05	38	1,15	0,38	0,62	-0,5	0,57	-0,6
20	38	1,15	0,38	1,52	1,0	1,34	0,7
22	38	1,15	0,38	0,79	-0,2	0,74	-0,2
10	37	1,00	0,37	1,38	0,8	1,28	0,6
16	37	1,00	0,37	0,68	-0,4	0,68	-0,4
26	37	1,00	0,37	0,96	0,1	0,92	0,1
08	36	0,87	0,36	0,71	-0,4	0,70	-0,4
31	36	0,87	0,36	1,00	0,2	1,04	0,3
27	35	0,74	0,36	0,37	-1,3	0,36	-1,3
09	33	0,49	0,35	1,10	0,4	1,08	0,3
14	32	0,37	0,35	0,95	0,1	0,95	0,1
07	31	0,24	0,35	1,48	0,9	1,48	0,9
15	31	0,24	0,35	0,74	-0,3	0,64	-0,5
06	29	-0,01	0,36	0,93	0,1	1,07	0,3
11	28	-0,14	0,37	1,80	1,3	1,78	1,2
03	27	-0,29	0,38	1,36	0,7	1,55	1,0
28	26	-0,44	0,39	0,50	-0,7	0,48	-0,8
32	26	-0,44	0,39	1,36	0,7	1,35	0,7
18	25	-0,60	0,41	2,25	1,6	2,40	1,8
24	19	-1,84	0,51	1,02	0,2	1,44	0,8
Середнє значення	35,30	0,87	0,43	0,97	0,0	1,00	0,1
Стандартне відхилення	6,20	0,98	0,13	0,53	0,9	0,53	0,8

MNSQ також називається відносним хі-квадратом чи нормованим хі-квадратом. Середньозважена статистика відповідності – це хі-квадратна статистика, поділена на її ступені сво-

боди. Для ймовірності $p \leq 0,05$ (двосторонній розподіл), $ZSTD > |1,96|$.

Найбільш очікувані значення MNSQ знаходяться поблизу 1,0. Найбільш якісними і

відповідними вважаються значення MNSQ у межах від 0,5 до 1,5. Значення нижче 1,0 показують, що дані чи занадто передбачувані, чи надмірно передбачувані, чи переоцінені дані моделі. Значення вище 1,0 вказують на занадто непередбачувані дані чи недооцінені дані моделі.

Значення більші за 1,5 вказують на невизначеність та «шум» (надмірна непередбачуваність даних) у вхідних даних, значення менші за 0,5 теж небажані, бо свідчать про «інформаційну перевантаженість» елементу.

Прийнятними є значення MNSQ від -2,0 до +2,0. Значення MNSQ за модулем більші 2,0 розглядаються як такі, що не відповідають моделі вимірювання і не можуть бути використані при аналізі результатів. Аналіз починають із питань з високим значенням MNSQ.

Отримані значення MNSQ для критеріїв для статистики Infit знаходяться у межах від 0,65 до 1,3, а для статистики Outfit від 0,69 до 1,24. Це свідчить про те, що всі ці значення є прийнятними для аналізу за моделлю Раша і немає наявності «шуму» у вхідних даних.

Отримані значення MNSQ для експертів для статистики Infit знаходяться у межах від 0,28 до 2,00, окрім значення 2,25 для експерта 18, а для статистики Outfit від 0,29 до 1,94, окрім значення 2,40 для того ж експерта 18. Це свідчить про те, що всі ці значення є прийнятними для аналізу за моделлю Раша, окрім даних для експерта 18. Зважаючи на це вважається доцільним видалення даних експерта 18 з подальшого аналізу.

Аналіз праць [16–18] показує, що експерт 18 також показав негативні результати оцінювання його компетентності при застосування інших методів оцінювання.

На рис. 3 побудовані характеристичні криві для всіх експертів, що оцінювалися, за всіма елементами із застосуванням ПЗ MINISTEP 4.0.1. Аналіз взаємного розміщення цих кривих допомагає вдосконалити оцінювання як систему критеріїв. У нашому випадку більшість кривих зосереджені в області середньої та меншої за середню складності. Характеристичні криві практично рівномірно заповнюють весь інтервал від -3 до +3 логітів при максимально допустимому діапазоні від -5 до +5 логітів, що свідчить про гарну погодженість встановлених для оцінювання експертів критеріїв.

По кожному критерію і оцінювання в цілому можна отримати графічне представлення відповідності даних обраній моделі, яка представлена на рис. 4. Отримані дані свідчать про присутність кореляції з даними по обраній моделі.

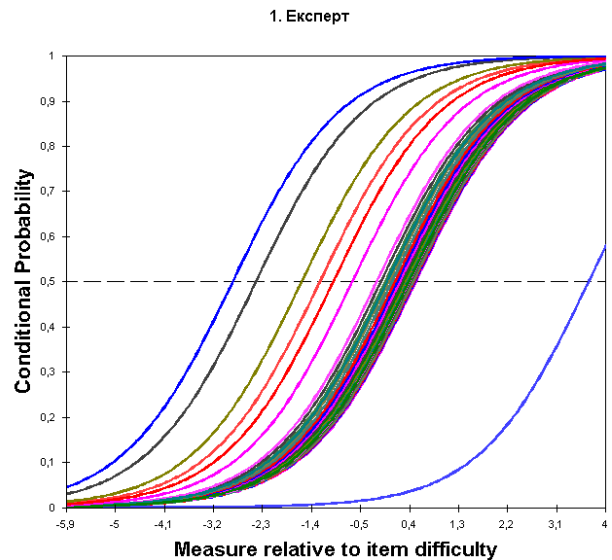


Рисунок 3 – Характеристичні криві для експертів

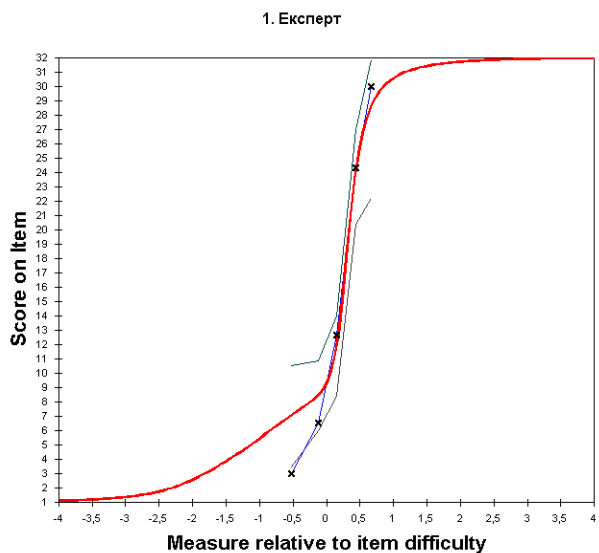


Рисунок 4 – Відповідність отриманих даних характеристичній криві для експертів

На рис. 5 представлені результати оцінювання за моделлю Раша стосовно кожного з п'яти критеріїв для експертів.

Висновки

Отримані результати показали можливість застосування моделі Раша для аналізу шкали оцінювання компетентності технічних експертів.

Аналіз отриманих за багатомірною моделлю Раша результатів з оцінювання компетентності технічних експертів зі стандартизації показав, що обрана шкала критеріїв для експертів відповідає встановленим до моделі Раша вимогам, отримані дані вимірювань за цією моделлю дозволяють розрахувати встановлені статистики як для критеріїв, так і для експертів, що оцінені.

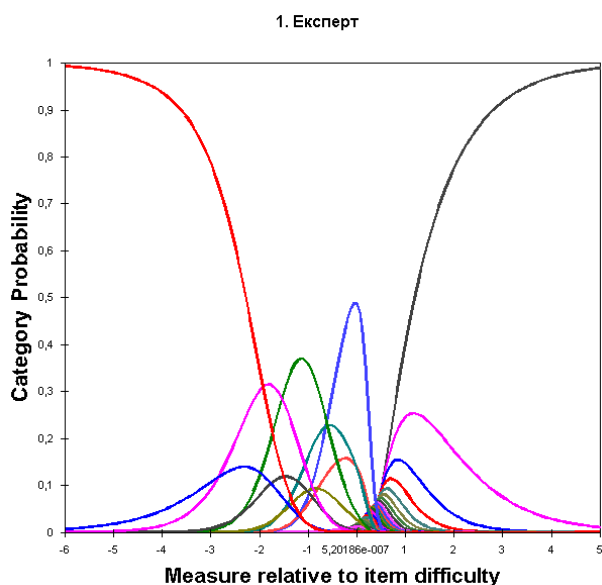


Рисунок 5 – Результати оцінювання стосовно кожного з п'яти критеріїв

Лише один з тридцяти двох оцінених експертів має дані, які непридатні для аналізу за моделлю Раша, що свідчить про низьку його компетентність. Ці результати корелюються з результатами щодо цього ж експерта, отриманими при застосуванні інших методів оцінювання компетентності експертів.

Список використаних джерел

1. Rasch G. Probabilistic models for some intelligence and attainment tests. Copenhagen: Danish Institution for Educational Research, 1960.
2. Andrich D. Rasch models for measurement. Beverly Hills: Sage Publications, 1988.
3. Andrich D. Sufficiency and conditional estimation of person parameters in the polytomous Rasch model. *Psychometrika*. – 2010. – 75(2). – P. 292–308.
4. Linacre J. M. Rasch dichotomous model vs. One-parameter Logistic Model. *Rasch Measurement Transactions*. – 2005, 19:3, 1032.
5. Masters G. N., Keeves J. P. (Eds.). *Advances in measurement in educational research and assessment*. – New York: Pergamon, 1999.
6. Bond T. G., Fox C. M. *Applying the Rasch model: fundamental measurement in the human sciences*, 2nd edn. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates, 2007.
7. Hagquist C., Bruce M., Gustavsson J. P. Using the Rasch model in nursing research: an introduction and illustrative example. *Int. J. Nurs. Stud.* – 2009, 3. – P. 380–393.
8. Ehlan A. H., Kucukdeveci A. A., Tennant A. The Rasch Measurement Model. In: Franco Franchignoni (Ed). *Research Issues in Physical & Rehabilitation Medicine*. Pavia: Maugeri Foundation. – 2010. – P. 89–102.
9. Wright B. D., Linacre J. M. A measurement is the quantification of a specifically defined comparison. *Rasch Measurement Transactions*. – 1987, 1:1. – P. 5–4.
10. Деменченко О. Г. Математические основы Rasch Measurement // *Педагогические измерения* – 2010. – № 1. – С. 3–21.
11. A User's Guide to WINSTEPS@MINISTEP Rasch-Model Computer Programs. Program Manual 4.0.0 by John M. Linacre, 2017.
12. Evaluation scales in rehabilitation – <http://www.rehab-scales.org>.
13. Rasch Model/Rasch Analysis: Definition, Examples. Statistics How To – <http://www.statisticshowto.com/rasch-model>.
14. Institute for Objective Measurement, Inc. – <http://www.rasch.org/rmt/rmt101k.htm>.
15. Cramer, J. S. *Logit Models from Economics and Other Fields*, Cambridge University Press. – 2003. – P. 13.
16. Величко О. М. Порівняльний аналіз результатів оцінки компетентності експертів різними програмними засобами / О. М. Величко, Т. Б. Гордієнко, Л. В. Коломієць // *Металургическая и горнорудная промышленность*. – 2015. – № 1 (292). – С. 136–140.
17. Величко О. М., Коломієць Л. В., Гордієнко Т. Б., Шевцов А. Г., Карпенко С. Р., Габер А. А. Групове експертне оцінювання та компетентність експертів / За загал. ред. д-ра техн. наук О. М. Величка – Одеса: ВМВ, 2015. – 285 с.
18. Величко О. М., Гордієнко Т. Б., Коломієць Л. В., Карпенко С. Р. Удосконалення методів і засобів оцінювання компетентності експертів у сфері технічного регулювання / За загал. ред. д-ра техн. наук О. М. Величка – Одеса: «Апрель», 2016. – 152 с.

Надійшла до редакції 24.11.2017

Рецензент: д.т.н., проф. Коломієць Л.В., Одеська державна академія технічного регулювання та якості, Одеса.

О. Н. Величко, д.т.н., Т. Б. Гордиенко, д.т.н.

ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ РАША ДЛЯ АНАЛИЗА ШКАЛЫ ОЦЕНКИ КОМПЕТЕНТНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ ЭКСПЕРТОВ

В статье представлены результаты исследования известных шкал для оценки компетентности технических экспертов с применением модели Раша. Представлены основные особенности построения модели Раша, рассмотрены математические основы модели Раша для дихотомических и многомерных данных. Рассмотрены основные результаты анализа компетентности экспертов в сфере технического регулирования с применением модели Раша.

Ключевые слова: компетентность экспертов, шкала оценивания, модель Раша, характеристическая кривая, программное средство.

O. M. Velychko, DSc, T. B. Gordiyenko, DSc

APPLICATION OF RASCH MODEL FOR ANALYSIS OF THE SCALE OF COMPETENCE ASSESSMENT OF THE TECHNICAL EXPERTS

The article presents the results of research of known scales for assessing the competence of technical experts using the model of Rasch. The main features of constructing the Rasch model are presented, the mathematical foundations of the Rasch model for the dichotomous and multidimensional data are considered. The main results of the analysis of the competence of experts in the field of technical regulation using the model of Rasch are considered.

Keywords: expert competence, assessment scale, Rasch model, characteristic curve, software tool.

РОЗДІЛ 2

Прилади та методи вимірювання фізичних величин, їх метрологічне забезпечення

УДК 621.317.39

О. В. Заболотний, к.т.н.

*Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», м. Харків***ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО СПОСОБУ ВИМІРЮВАННЯ ВМІСТУ ВОЛОГИ СИПКИХ РЕЧОВИН**

Досліджено спосіб вимірювання вмісту вологи, який дозволяє здійснювати ефективну компенсацію «сортової невизначеності». При цьому первинний перетворювач сформовано з чотирьох вимірювальних конденсаторів, призначених для занурення у досліджуваний матеріал або для заповнення цим матеріалом. Два з чотирьох конденсаторів заповнюються пробою досліджуваної речовини або занурюються в неї, решта – заповнюються пробою такої ж речовини, але попередньо зневодненої.

Ключові слова: вміст вологи, діелькометричний вологомір, діелектрична проникність, «сортowa невизначеність», первинний перетворювач

Вступ. Вміст вологи має істотний вплив на властивості багатьох матеріалів. Наприклад, надмірний вміст вологи у зерні призводить до зменшення частки поживних речовин, скорочення терміну зберігання, погіршується натура зерна, сипкість і опір роздавлюванню [1]. Також слід зазначити будівельні матеріали і розчини, для яких контроль вмісту вологи є важливим завданням [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розвиток вологометрії на сучасному етапі означений пошуком нових технічних рішень, що дозволяють враховувати максимальну кількість чинників, і, разом з цим, забезпечують простоту засобів вимірювання. Суть вимірювань вмісту вологи, як і раніше, полягає у використанні класичних методів безпосереднього оцінювання або порівняння з мірою. За цих обставин сорт або тип досліджуваної речовини, що для діелькометричних вологомірів представлений діелектричною проникністю цієї речовини у зневодненому стані, має істотний вплив на результат вимірювання вмісту вологи [3, 4].

Одним із способів вимірювання, який дозволяє компенсувати вплив зміни сорту речовини, є спосіб, в якому первинний вимірювальний перетворювач сформовано з чотирьох вимірювальних конденсаторів, що утворюють дві пари. Одну з цих пар заповнюють речовиною, вміст вологи якої потрібно визначити, а другу пару – зневодненим зразком цієї речовини. У джерелі [5] визначено статичну характеристику перетворення і чутливість запропонованого способу, в той час як у джерелах [6, 7] запропоновано конкретні технічні рішення для конструкції первинного вимірювального перетворювача і варіанти електричних схем для вторинного перетворення значень чотирьох електричних ємностей, функціонально пов'язаних із вмістом вологи, в резуль-

тат вимірювання. Теоретичні дослідження метрологічних характеристик засобу вимірювання вмісту вологи, розробленого у відповідності із запропонованим способом, наведено у джерелах [8, 9], де доведено, що такий вологомір забезпечує більш якісну компенсацію зміни сорту, температури і гранулометричного складу досліджуваної речовини.

Мета дослідження. Основна мета дослідження полягає у проведенні серії експериментів для визначення рівня впливу сорту речовини на результат вимірювання вмісту вологи у відповідності із способом, описаним у [5–7] і порівняння отриманих результатів із класичним диференціальним методом вимірювання.

Наукові результати. Первинний вимірювальний перетворювач вмісту вологи було виготовлено у відповідності з матеріалом, наведеним у [5–7]. Він представляє собою спрощену з точки зору технології виготовлення модель, але з фізичної і математичної точки зору працює подібно до конструкції, згаданої вище (рис. 1).



Рисунок 1 – Одна з двох ідентичних частин первинного вимірювального перетворювача

Конструкція, представлена на рис. 1, містить два конденсатори, один з яких має більшу (47 пФ), а другий меншу (15 пФ) електричну ємність. Внизу є 4 клеми для підключення цих конденсаторів до вторинного вимірювального перетворювача. Дві таких ідентичних частини

формують первинний вимірювальний перетворювач. Кожну з них розміщують у власному контейнері, як показано на рис. 2.



Рисунок 2 – Первинний вимірювальний перетворювач, встановлений на корпусі

Щодо вмісту вологи, у відповідності з [10] під час перевірки відповідних засобів вимірювання потрібні значення у контрольних точках відтворюють за допомогою комплекту державних стандартних зразків: ГСО 713-75, ГСО 714-75, ГСО 715-75 в діапазоні вмісту вологи від 8 до 35 % з абсолютною похибкою атестованого значення 0,3 % або комплект ГСО 4334-89, ГСО 4335-89, ГСО 4336-89 в діапазоні вмісту вологи від 8 до 35 % з абсолютною похибкою атестованого значення 0,2 %.

Згідно з методикою вимірювань, вказаною в експлуатаційній документації на вологомір конкретного типу, здійснюють послідовне заповнення первинного перетворювача вологоміра кожним типом стандартного зразка і фіксують результат вимірювання.

Але, зважаючи на те, що нам необхідні зразки не тільки заданого вмісту вологи, але й різної діелектричної проникності у зневодненому стані, і, крім того, різного гранулометричного складу, було прийняте рішення готувати проби для досліджень самостійно.

У зв'язку з цим, слід звернути увагу ще на один момент. Як відмічено у [11], після засипання дослідної проби зерна в контейнер первинного вимірювального перетворювача (як в об'ємі зернової маси, так і на границі стінки контейнера і зерна) відбуваються процес волого обміну (як у напрямку «вивільнення», так і у напрямку зв'язування вологи), які призводять до того, що значення діелектричної проникності змінюється у часі. Процеси, які протікають у об'ємі дослідної проби зерна після її засипання у контейнер-конденсатор можна пояснити у такий спосіб. Коли зернова маса дослідної проби в контейнері знаходиться у стані спокою, на зв'язок молекул води зі структурою зерновки впливають два фактори: «зв'язування» активними центрами сорбції

поверхні зерна і «вивільнення» в об'ємі менісків, які утворюються в місцях торкання зерен до стінок контейнера і між собою в об'ємі досліджуваної проби. У момент засипання зерна в контейнер усі меніски руйнуються і відбувається вивільнення енергії, в наслідок чого молекули води стають більш зв'язаними, що призводить до зменшення діелектричної проникності. Після завершення процесу засипання формується новий стан спокою для зерна і відбувається зворотний процес поглинання енергії з об'єму проби, що призводить до зменшення ступеня зв'язку між молекулами води і структурою зерновки і збільшенню діелектричної проникності. Через певний проміжок часу, який залежить від співвідношення вільної і зв'язаної вологи в зерні, процеси вивільнення і зв'язування молекул води врівноважуються.

Згадані процеси істотно впливають на точність дієлькометричних вологомірів і мають складний характер, який залежить від матеріалу стінок (обкладинок) чутливого елемента, а інтенсивність обміну вологою залежить від рівня зволоження дослідної проби зерна.

Необхідно зауважити, що обмін вологи в об'ємі дослідної проби зерна істотно впливає на результат вимірювання лише у приладах насипного (лабораторного) типу, а для проточних вологомірів, в яких об'єкт дослідження постійно рухається, вивільнення молекул води у меніски практично не відбувається, оскільки вони постійно руйнуються у процесі транспортування зерна.

Отже, для підвищення точності результатів дієлькометричних вологомірів необхідно враховувати вплив обміну вологи, який здійснюється як у об'ємі досліджуваної проби, так і на границі «стінка контейнера – зерно». З графіків залежності діелектричної проникності щойно насипаної проби зерна від часу, наведених у [11] видно, що час до моменту рівноваги проби зерна після засипання складає приблизно 40 хвилин. Цю інформацію було враховано під час підготовки проб і проведенні вимірювань.

Для проведення експериментальних досліджень необхідно відтворювати вміст вологи у точках 0 %, 10 %, 20 % і 30 % для певної групи речовин з різними значеннями діелектричної проникності. Для отримання таких проб необхідно здійснити попереднє висушування речовини для максимально можливого видалення вологи. Спочатку було визначено масу чотирьох мірних ємностей з точністю до 0,01 г. Чотири проби речовини масою 500 г кожна розміщувались у ємностях, розрівнювались і зважувались.

Потім ємності з відкритими кришками було розміщено у сушильній шафі, нагрітій до темпе-

ратури 120°C , з висушуванням протягом 1,5 годин. В нашому випадку було використано сушильну шафу SNOL 58/350 і точні аналітичні ваги типу SNUG II-60. Після висушування ємності накривали кришками з метою запобігання попадання вологи і охолоджували в сушильній шафі до температури $+20^{\circ}\text{C}$. Масу ємностей з речовиною вимірювали з точністю до $0,01\text{ г}$ з фіксацією результатів. Після цього ємності знову розміщували в сушильній шафі і повторювали процедуру сушіння, описану раніше. Повторне сушіння здійснювали до тих пір, поки маса проби стане незмінною. Цей стан є рівнозначним повному видаленню вологи з речовини.

В якості першої проби речовини (вміст вологи 0%) може бути використана будь-яка з проб, отриманих після сушіння. Друга проба може бути отримана шляхом додавання у першу ємність 50 г води (10% від загального об'єму речовини). Для отримання третьої проби додають 100 г води (20%), четвертої – 150 г (30%). Потім вміст кожної ємності старанно перемішують для рівномірного розподілу води.

При роботі з зерном необхідно враховувати той факт, що наявність вологи в зерні призводить до активізації у ньому фізіологічних і фізико-хімічних процесів: поглинання вологи, набухання, пророщування тощо. Саме тому в зерні практично завжди відсутня вільна волога. В нашому випадку для імітації реальних умов необхідно накрити приготівлені проби кришками для запобігання процесу вологообміну між пробкою і навколишнім середовищем і залишити їх у такому стані на 1 годину – зерно повинно всмоктати вільну вологу.

Теоретично, для вимірювання електричної ємності первинного перетворювача можна використати мультиметр з функцією вимірювання ємності. Нажаль, наявний перелік RLC-метрів та вимірювачів ємності, портативних і стаціонарних мультиметрів, як і три типи Q-метрів, виявились неспроможними правильно вимірювати електричну ємність в нашому випадку через значний рівень діелектричних втрат у вологих зразках. Тому було розроблено спеціальний вторинний перетворювач «ємність – тривалість імпульсів – стала напруга» (рис. 3).

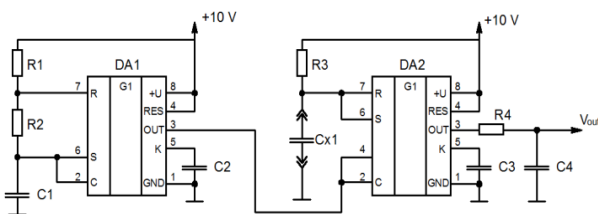


Рисунок 3 – Схема електрична принципова перетворювача ємність-напруга

Перетворювач ємність-напруга реалізовано на базі двох таймерів типу 555 або 777, де таймер DA1 включено за схемою мультивібратора і який є генератором прямокутних імпульсів. Таймер DA2, до якого підключено первинний перетворювач C_{x1} , працює як одновібратор, тривалість імпульсів на виході якого прямо пропорційна ємності первинного перетворювача. Фільтр нижніх частот R_4C_4 працює як перетворювач тривалості імпульсів у сталу напругу в діапазоні від $0,000$ до $2,000$ вольт.

Процес підготовки до вимірювань показано на рис. 4. Спочатку первинний перетворювач заповнювали приготованою пробкою і під'єднували до вторинного перетворювача. Осцилограф застосовано для контролю форми і тривалості вихідних імпульсів, а цифровий мультиметр – для вимірювання сталої напруги на виході схеми. Значення сталої напруги фіксувалось оператором.



Рисунок 4 – Реалізація вимірювальної процедури

На другому етапі первинний перетворювач з пробкою матеріалу від'єднували від схеми і замінювали змінним повітряним конденсатором, здатним змінювати значення ємності в діапазоні $5 \dots 760\text{ пФ}$. Електрична ємність повітряного конденсатора у відповідності з методом заміщення повільно збільшувалась до тих пір, поки значення напруги на виході схеми не ставало рівним значенню, зафіксованому оператором. Потім повітряний конденсатор від'єднували від схеми, і його ємність вимірювалась з високою точністю. Результат вимірювання електричної ємності формувався як середнє арифметичне для десяти результатів спостережень в кожній точці.

Таким чином, використовуючи метод заміщення, вдалося з достатньою точністю вимірювати електричну ємність датчика з речовиною, що має високий вміст вологи.

Під час вибору досліджуваних речовин було

важливо, щоб їх діелектрична проникність була різною і варіювалась у достатньо широких межах, у відповідності з умовами теоретичних досліджень.

Таким чином, враховуючи усі міркування, в нашому випадку було обрано такі речовини: перлова крупа, мак, пшоно, половинки гороху і пшенична крупа. Для формування зневоднених

проб зерна ці речовини було висушено у низькотемпературній лабораторній сушильній шафі SNOL 58/350 у відповідності з [12] без попереднього підсушування проб.

Результати вимірювання електричних ємностей первинного перетворювача, заповненого згаданими вище речовинами у зневодненому стані, представлені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати вимірювання ємностей первинного перетворювача з сухим зерном

Перлова крупа											$\bar{C}$
C_3 , пФ	178	179	180	179	179	178	180	179	179	181	179,2
C_4 , пФ	57	55	56	56	55	57	56	57	57	55	56,1
Мак											$\bar{C}$
C_3 , пФ	169	172	169	168	170	170	168	169	169	168	169,2
C_4 , пФ	54	52	51	55	52	53	51	53	55	50	52,6
Пшоно											$\bar{C}$
C_3 , пФ	151	150	153	150	152	152	150	149	151	153	151,1
C_4 , пФ	48	46	48	45	47	47	46	48	46	46	46,7
Горох											$\bar{C}$
C_3 , пФ	142	141	141	143	142	142	141	140	141	141	141,4
C_4 , пФ	45	44	46	46	45	47	45	46	46	45	45,5
Пшенична крупа											$\bar{C}$
C_3 , пФ	123	124	120	122	124	122	121	120	121	123	122,0
C_4 , пФ	39	37	40	37	36	39	38	38	37	37	37,8

Після цього було здійснено нову серію вимірювань з пробами зерна, приготованими за

вказаною вище методикою. Отримані результати представлені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Результати вимірювання ємностей первинного перетворювача з вологим зерном

$W, \%$	10		20		30	
	$\bar{C}_1$, пФ	$\bar{C}_2$, пФ	$\bar{C}_1$, пФ	$\bar{C}_2$, пФ	$\bar{C}_1$, пФ	$\bar{C}_2$, пФ
Перлова крупа	240,3	76,9	312,3	99,8	398,6	137,9
Мак	224,6	69,1	282,7	87,0	351,4	112,5
Пшоно	200,5	62,3	253,6	79,2	317,0	103,2
Горох	186,1	58,6	236,3	75,7	298,7	97,7
Пшенична крупа	159,8	48,2	209,0	67,1	261,6	84,5

Слід зазначити, що в таблиці 2 значення ємностей $\bar{C}_1$ і $\bar{C}_2$ були обчислені як середні арифметичні десяти спостережень. У відповідності з [5], результат вимірювання вмісту вологи обчислюють з виразу

$$W = K((C_1 - C_2)/(C_3 - C_4)).$$

Проведена перевірка припускає, що тип досліджуваної речовини не повинен впливати на

результат вимірювання вмісту вологи. Практичні результати перевірки представлені у таблиці 3, де вміст вологи $W_{розр}$ був обчислений за формулою

$$W_{розр} = 28,599 \cdot (f(W) - 1).$$

Графічне зображення цих розрахунків наведено на рисунку 5, який ілюструє розбіжність статичної характеристики перетворення для різних матеріалів.

Таблиця 3 – Результати обчислень вмісту вологи для різних матеріалів

	Перлова крупа				Мак				Пшоно			
W	0	10	20	30	0	10	20	30	0	10	20	30
$f(W)$	1	1,327	1,726	2,118	1	1,333	1,678	2,049	1	1,324	1,670	2,048
$W_{розр}$	0	9,35	20,76	31,96	0	9,52	19,39	30,00	0	9,27	19,18	29,97

Продовження таблиці 3

	Горох				Пшениця			
W	0	10	20	30	0	10	20	30
$f(W)$	1	1,329	1,675	2,096	1	1,325	1,685	2,103
$W_{розр}$	0	9,41	19,30	31,34	0	9,31	19,60	31,54

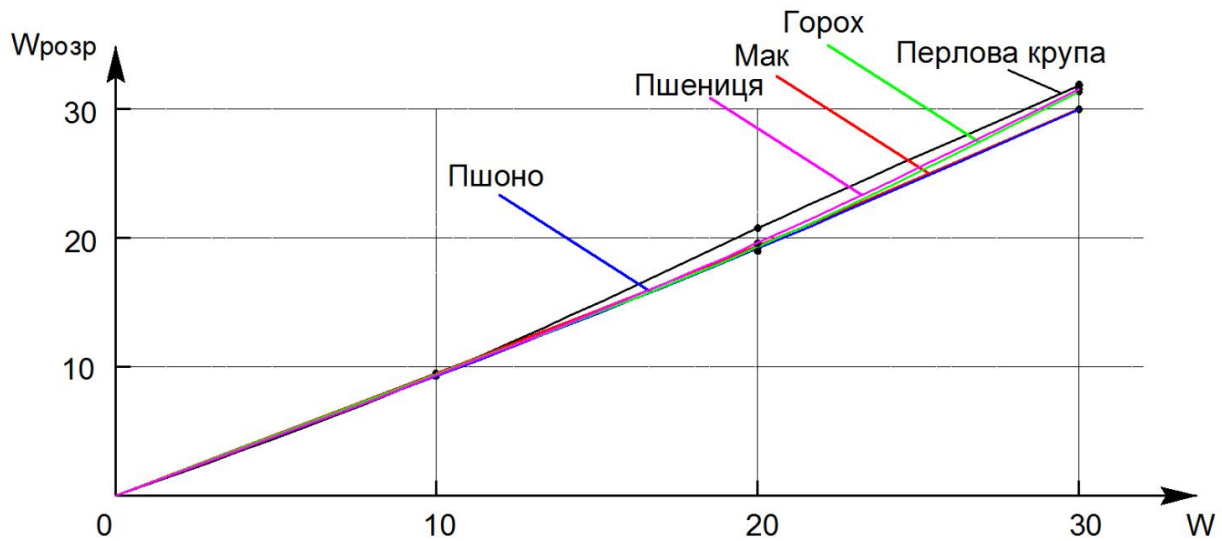


Рисунок 5 – Результати обчислень вмісту вологи для досліджуваних матеріалів

Порівняємо отримані результати з класичною диференційною схемою. Для цього випадку результат вимірювання вмісту вологи визначають за формулою

$$W = K(C_1/C_3).$$

таблиці 4. Вміст вологи $W_{розр}$ був обчислений за формулою

$$W_{розр} = 26,432 \cdot (f(W) - 1).$$

Графічне зображення цих розрахунків наведено на рис. 6.

Практичні результати перевірки представлені у

Таблиця 4 – Результати обчислень вмісту вологи для класичної диференційної схеми

	Перлова крупа				Мак				Пшоно			
W	0	10	20	30	0	10	20	30	0	10	20	30
$f(W)$	1	1,341	1,743	2,224	1	1,327	1,671	2,077	1	1,327	1,678	2,098
$W_{розр}$	0	9,01	19,64	32,35	0	8,64	17,73	28,40	0	8,64	17,92	29,02

Продовження таблиці 4

	Горox				Пшениця			
W	0	10	20	30	0	10	20	30
$f(W)$	1	1,316	1,671	2,112	1	1,309	1,713	2,144
$W_{розр}$	0	8,35	17,74	29,39	0	8,16	18,85	30,24

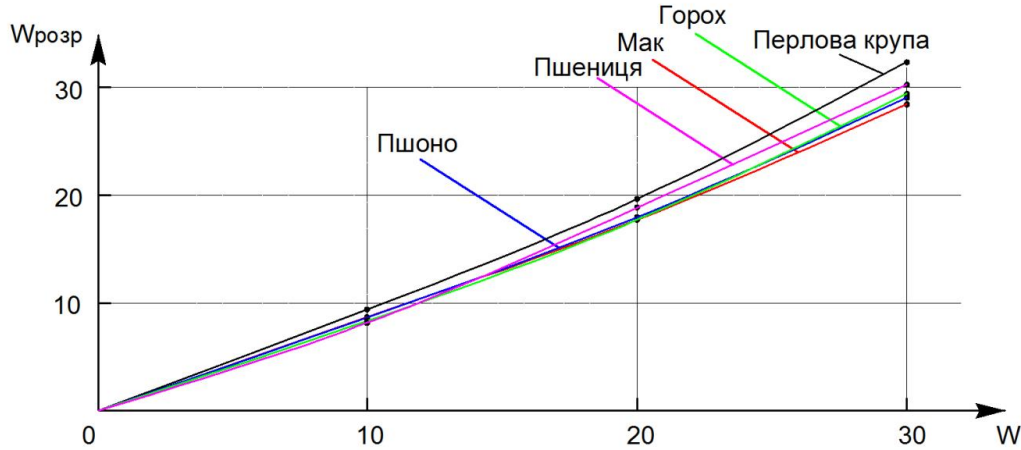


Рисунок 6 – Результати обчислень вмісту вологи для класичної диференційної схеми

В таблиці 4 представлено експериментальні дослідження для випадку, коли тільки два вимірювальних конденсатори первинного перетворювача заповнюють досліджуваними пробами вказаних вище матеріалів з додаванням необхідної кількості води. Значення електричних ємностей, взяті, як і раніше, шляхом усереднення результатів десяти спостережень. Під час проведення експериментів було використано той самий первинний перетворювач, причому вимірю-

вали тільки електричні ємності конденсаторів C_1 і C_3 .

Для кількісного порівняння розбіжності результатів обчислень, отриманих за допомогою наведених вище формул, з номінальним вмістом вологи досліджуваних матеріалів доцільно використати критерій узгодженості Пірсона. Результати порівняння наведено нижче. Для таблиці 3 маємо

$$\chi^2_1 = \frac{(9,35-10)^2}{10} + \frac{(20,76-20)^2}{20} + \frac{(31,96-30)^2}{30} + \frac{(9,52-10)^2}{10} + \frac{(19,39-20)^2}{20} + \frac{(30-30)^2}{30} + \frac{(9,27-10)^2}{10} + \frac{(19,18-20)^2}{20} + \frac{(29,97-30)^2}{30} + \frac{(9,41-10)^2}{10} + \frac{(19,3-20)^2}{20} + \frac{(31,34-30)^2}{30} + \frac{(9,31-10)^2}{10} + \frac{(19,6-20)^2}{20} + \frac{(31,54-30)^2}{30} + \frac{(9,47-10)^2}{10} + \frac{(19,96-20)^2}{20} + \frac{(31,68-30)^2}{30} + \frac{(9,01-10)^2}{10} + \frac{(18,96-20)^2}{20} + \frac{(31,91-30)^2}{30} = 0,877.$$

Для таблиці 4 маємо

$$\chi^2_2 = \frac{(9,35-10)^2}{10} + \frac{(20,76-20)^2}{20} + \frac{(31,96-30)^2}{30} + \frac{(9,52-10)^2}{10} + \frac{(19,39-20)^2}{20} + \frac{(30-30)^2}{30} + \frac{(9,27-10)^2}{10} + \frac{(19,18-20)^2}{20} + \frac{(29,97-30)^2}{30} + \frac{(9,41-10)^2}{10} + \frac{(19,3-20)^2}{20} + \frac{(31,34-30)^2}{30} + \frac{(9,31-10)^2}{10} + \frac{(19,6-20)^2}{20} + \frac{(31,54-30)^2}{30} + \frac{(9,47-10)^2}{10} + \frac{(19,96-20)^2}{20} + \frac{(8,81-10)^2}{10} + \frac{(18,39-20)^2}{20} + \frac{(30,05-30)^2}{30} + \frac{(8,51-10)^2}{10} + \frac{(18-20)^2}{20} + \frac{(29,79-30)^2}{30} = 2,897.$$

Критерій узгодженості Пірсона було застосовано для контрольних точок об'ємного вмісту вологи 0, 10, 20 і 30 відсотків п'ятих досліджуваних речовин з метою дослідження сумарної розбіжності між номінальними значеннями вмісту вологи W і результатами обчислень $W_{розра}$. Результати розрахунків χ^2_1 і χ^2_2 показали, що для запропонованого способу вимірювання вплив зміни сорту речовини на результат визначення вмісту вологи є меншим, ніж для класичної диференційної схеми.

Висновки

Проведено серію експериментальних досліджень способу визначення вмісту вологи матеріалів, в якому висока точність вимірювання забезпечується компенсацією додаткової похибки, поява якої викликана зміною сорту досліджуваної речовини. Результат порівняння цього способу з класичним диференційним методом вимірювання показав меншу чутливість до зміни сорту речовини. Інтегральна відмінність обчислених і номінальних значень вмісту вологи склала $\chi^2 = 0,877$ для запропонованого способу і $\chi^2 = 2,897$ для диференційної схеми вимірювання, тобто розбіжність між розрахунковими і номінальними значеннями вмісту вологи для запропонованого способу вимірювання є значно меншою. Запропонований спосіб вимірювання має і певні недоліки: це деяка втрата чутливості і, що є більш вагомим, неможливість проведення експресних вимірювань через необхідність використання попередньо зневоднених зразків досліджуваних речовин. Саме тому запропонований спосіб вимірювання доцільно використовувати в лабораторних умовах, коли в наявності у оператора вже є зневоднені зразки досліджуваних речовин, приготувані заздалегідь.

Список використаних джерел

1. Кирпа Н. Я. Хранение без потерь и ухудшения качества [Текст] / Н. Я. Кирпа // *Зерно: всеукр. журн. совр. агропромышленника*. – Київ: ТОВ «Видавництво «Зерно». – 2011. – № 6. – С. 120–124.
2. ГОСТ 23732-79. Вода для бетонов и растворов. Технические условия [Текст]. – Введ. 1980-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1979. – 7 с.
3. Лидерман И.С. Методы и приборы для измерения влажности жидких сред в нефтепереработке и нефтехимии [Текст] / И. С. Лидерман. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1972. – 89 с.
4. Кудрявцев А. В. Емкостные измерители влажности жидких сред [Текст] /

А. В. Кудрявцев, В. Н. Шевченко. – Фрунзе: «Илим», 1989. – 53 с.

5. Заболотний О. В. Спосіб вимірювання вологості сипких матеріалів [Текст] / О. В. Заболотний, М. Д. Кошовий // *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. – Вип. 57. – Том 2. – Харків: ХНТУСГ, 2007. – С. 247–251.

6. Заболотний О. В. Вимірювання вологості нафтопродуктів [Текст] / О. В. Заболотний, М. Д. Кошовий // *Метрологія та прилади*. – Харків: ДП «Харківстандартметрологія». – 2008. – № 1(9). – С. 36–41.

7. Заболотний А. В. Лабораторный измеритель влажности нефтепродуктов повышенной точности [Текст] / Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – Москва: «Научтехиздат». – 2008. – № 3. – С. 48–52.

8. Заболотний О. В. Оцінювання впливу змінного гранулометричного складу сипкого матеріалу на результат вимірювання вологості [Текст] / О. В. Заболотний, М. Д. Кошовий, А. Н. Саттаров // *Метрологія та прилади*. – Харків: ДП «Харківстандартметрологія». – 2010. – № 1. – С. 25–31.

9. Заболотний О. В. Аналіз метрологічних характеристик перетворювача вологості сипких матеріалів [Текст] / О. В. Заболотний, В. А. Заболотний, М. Д. Кошовий, А. Н. Саттаров // *Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету ім. Тараса Шевченка*. – Вип. 24. – К.: ВІКНУ, 2009. – С. 30–37.

10. Р. 50.2.042. – 2004. Рекомендации по метрологии. ГСИ. Влагомеры зерна и продуктов его переработки диэлькометрические. Методика поверки [Текст]. – Введены в действие 28.12.2004. – М.: Издательство стандартов, 2005. – 11 с.

11. Крушевский Ю. В. Влияние массообмена воды на точность измерения влажности зерна [Текст] / Ю. В. Крушевский, Я. А. Бородай // *Наукові праці ВНТУ*. – 2007. – № 1. – С. 20–26.

12. ГОСТ 13586.5-93. Зерно. Метод определения влажности. [Текст]. – Введ. 1993-21-10. – М.: Изд-во стандартов, 1994. – 8 с.

Надійшла до редакції 26.10.2017

Рецензент: д.т.н., проф. Захаров І. П., Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків.

А. В. Заболотний, к.т.н.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО СПОСОБА ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАГОСОДЕРЖАНИЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Исследован способ измерения влагосодержания, который позволяет осуществить эффективную компенсацию «сортовой неопределенности». При этом первичный преобразователь сформирован из четырех измерительных конденсаторов, предназначенных для погружения в исследуемый материал или для заполнения этим материалом. Два из четырех конденсаторов заполняют пробой исследуемого вещества или погружают в нее, оставшиеся два – заполняют пробой такого же материала, но предварительно обезвоженного.

Ключевые слова: влагосодержание, диэлькометрический влагомер, диэлектрическая проницаемость, «сортовая неопределенность», первичный преобразователь.

O. V. Zabolotnyi, PhD

EXPERIMENTAL STUDY OF PROMISING METHOD OF MOISTURE CONTENT MEASUREMENT IN BULK MATERIALS

Method of moisture content measurement, that allows to provide effective «type uncertainty» compensation, had been researched. Primary transducer consists of four measuring capacitors, that are intended to be filled with a sample of bulk material or submerged in it. Two of the measuring capacitors should be loaded with a sample of examined material or submerged in it, rest of the capacitors – filled with the same sample, but preliminary dehydrated.

Keywords: moisture value, dielectric moisture meter, dielectric permittivity, «type uncertainty», initial measuring transducer.

УДК 621.317.1

О. М. Величко, д.т.н., В. В. Ісасєв

Державне підприємство «Всеукраїнський державний науково-виробничий центр стандартизації, метрології, сертифікації та захисту прав споживачів», м. Київ

ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ ДЕЯКИХ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ КАЛІБРУВАННІ ПРЕЦИЗІЙНИХ ТЕРМОПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

У статті досліджено метод калібрування прецизійних термоелектричних перетворювачів з наявністю в конструкції термопар на предмет впливу швидкості змінення вихідної термо-ЕРС та варіативності часових інтервалів операцій за один цикл вимірювання похибки компарування напруги. Особливістю методу є наявність серед застосованих засобів вимірювання прецизійних компараторів постійної напруги з механічними засобами регулювання внутрішньої міри, що призводить до варіювання часових інтервалів від циклу до циклу. Також неоднаковість необхідного часу виникає через необхідність регулювання вхідного сигналу оператором і занесення показів у протокол.

Ключові слова: державний еталон, електрична напруга, прецизійний термоперетворювач, дрейф, невизначеність вимірювання.

Вступ

В Україні на сьогоднішній день функціонує Державний первинний еталон одиниці електричної змінної напруги від 0,1 до 1000 В в діапазоні частот від 10 Гц до 1 МГц (далі – Державний еталон), який було розроблено і впроваджено в експлуатацію в 2002 році фахівцями ДП «Укрметртестстандарт» в Києві.

Цей Державний еталон є складним комплексом засобів вимірювальної техніки (далі – ЗВТ): високостабільних джерел змінної та постійної напруги, прецизійних вимірювачів постійної напруги, термоелектричного компаратору напруги тощо. Кожен із зазначених ЗВТ так чи інакше впливає на загальну невизначеність вимірювань (далі – НВ) при відтворенні чи передаванні ін-

шим ЗВТ одиниці електричної змінної напруги. Відповідно до Національного стандарту ДСТУ 3231 [1] кожен державний еталон повинен проходити періодичну атестацію згідно з методикою атестації, розробленою та затвердженою організацією-зберігачем.

Чинна методика атестації Державного еталону [2] бере до уваги, зокрема, НВ від короткочасного зміщення вихідного сигналу прецизійного термокомпаратору типу 792А, виробництва фірми Fluke Corporation, що входить до складу цього еталону. Проте, дрейф вихідної термо-ЕРС прецизійного термоперетворювача, котрому передається розмір зазначеної вище одиниці під час калібрування, враховується лише частково. Відповідно до усталеної практики, з метою врахування зміщення вихідного сигналу термоелектричного перетворювача, що підлягає калібруванню, проводиться спостереження цього сигналу на початку й наприкінці циклу вимірювання похибки компарування [3], після чого отримується усереднене значення.

Такий підхід враховує дрейф вихідної термо-ЕРС прецизійного термоперетворювача, але не виключає додаткову похибку внаслідок цього явища з результату вимірювання.

Постановка завдання

Для кращого розуміння процесу визначення похибки компарування під час калібрування прецизійного термоелектричного перетворювача напруг слід розглянути конфігурацію комплексу ЗВТ на структурній схемі (див. рис. 1).

На схемі видно, що на входи опорного термокомпаратору Fluke 792А й досліджуваного термоперетворювача (в залежності від положення перемикача) по чергову подається постійна або змінна напруга від одного з джерел, котрі повинні мати малі значення пульсацій та короткотермінового дрейфу. Вихідні сигнали опорного термокомпаратору та досліджуваного термоперетворювача вимірюються компараторами постійної напруги Р3017.

Прецизійний мультиметр Agilent 3458А необхідний для високоточного вимірювання напруги на входах еталонного й досліджуваного ЗВТ. При цьому, значення напруги змінного струму визначається опосередковано за показами прецизійного мультиметру під час вимірювання постійної напруги та поправкою опорного термокомпаратору для заданої частоти змінного струму. Поправки опорного термокомпаратору залежать від частоти й діючого значення вхідної напруги.

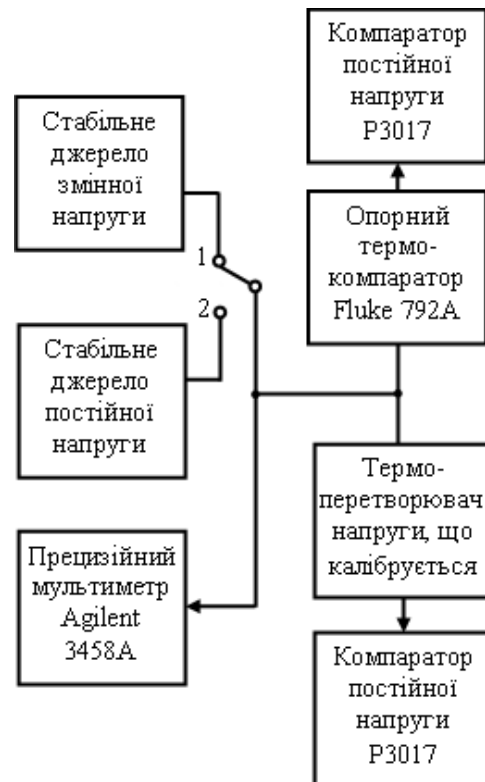


Рисунок 1 – Структурна схема калібрування прецизійного термоперетворювача

Похибка компарування термоелектричного перетворювача є відносною різницею між величинами вхідної змінної напруги і вхідної постійної напруги та визначається за наступним виразом [4]

$$\delta_{\text{тпн}} = \frac{U_{AC} - U_{DC}}{U_{DC}}, \quad (1)$$

де U_{AC} – значення змінної напруги на вході термоперетворювача;

U_{DC} – значення постійної напруги на вході термоперетворювача, при чому його вихідна термо-ЕРС в цей час повинна дорівнювати отриманому значенню цієї величини при вимірюванні змінної напруги.

Зміщення вихідного сигналу опорного прецизійного термокомпаратору протягом одного циклу вимірювання похибки компарування багаторазово досліджувалося під час атестації Державного еталону та має незначну величину [5], якою допустимо знехтувати, в порівнянні з дрейфом досліджуваного при калібруванні термоперетворювача. З метою компенсування впливу зазначеного фактору на процес визначення похибки компарування використовується техніка подання напруги різного роду на вхід прецизійного термоперетворювача у послідовності: змінна

напруга – позитивна постійна напруга – негативна постійна напруга – змінна напруга. При цьому можливо побудувати лінію регресії та оцінити вплив дрейфу термоперетворювача, а також відхилення значень часових інтервалів, необхідних для виконання операцій калібрування, від ідеальної рівності на остаточний результат вимірювання.

Деякі аспекти методу калібрування прецизійного термоперетворювача

Термoeлектричні перетворювачі побудовані на основі однієї чи серії термопар у першому наближенні мають квадратичну залежність вихідної термо-ЕРС від вхідного сигналу [6]. Для малих змін вхідного сигналу термоперетворювача із квадратичною залежністю допустимо застосовувати математичний апарат з метою лінеаризації характеристики. Оскільки прецизійні термоперетворювачі мають типові похибки компарування напруги в діапазоні від 1 до 300 мкВ/В, допустимо знехтувати відхиленням характеристики такого ЗВТ від прямої лінії. Це припущення легко перевірити, побудувавши графік залежності вихідної термо-ЕРС від напруги на вході термоперетворювача з функцією перетворення

$$E_{\text{ТПН}} = k \cdot U^2, \quad (2)$$

де k – коефіцієнт перетворення прецизійного термоперетворювача.

Величина вихідної термо-ЕРС сучасних термоперетворювачів становить одиниці мілівольт або десятки мілівольт. Змінюючи вхідну напругу такого ЗВТ можна дослідити відповідну зміну вихідного сигналу. Якщо коефіцієнт перетворення дорівнюватиме 0,002, а номінальна напруга становитиме 3 В, тоді при змінюванні вхідного сигналу від номінального значення на 0,8 %, можна отримати відповідне змінення вихідної термо-ЕРС (див. табл. 1).

Отриману в табличному вигляді функцію передачі для наочності варто представити у графічному вигляді на рисунку 2.

Отримана функція передачі прецизійного термоперетворювача не відрізняється від прямої лінії при змінюванні вхідного сигналу на 0,8 % від номінального значення. Це означає, що вимірювання значення вхідної постійної напруги та відповідного вихідного сигналу опорного термокомпаратору на початку циклу дозволяє розрахувати значення вихідної термо-ЕРС досліджуваного термоперетворювача за подання вхідної змінної напруги для випадку нульового відхилення значення похибки компарування від значення похибки компарування еталону за умо-

ви рівності значень вихідних сигналів термокомпаратору протягом калібрування.

Таблиця 1 – Залежність вихідної термо-ЕРС ідеального термоелектричного перетворювача від вхідної напруги

№ спостереження	Вхідна напруга, В	Вихідна термо-ЕРС, мВ
1	3,0000	18,0000
2	3,0003	18,0036
3	3,0006	18,0072
4	3,0009	18,0108
5	3,0012	18,0144
6	3,0015	18,0180
7	3,0018	18,0216
8	3,0021	18,0252
9	3,0024	18,0288

Знаючи значення вихідної термо-ЕРС досліджуваного термоперетворювача для випадку нульової похибки компарування і значення самої похибки можна розрахувати значення цього вихідного сигналу для випадку ненульової похибки.

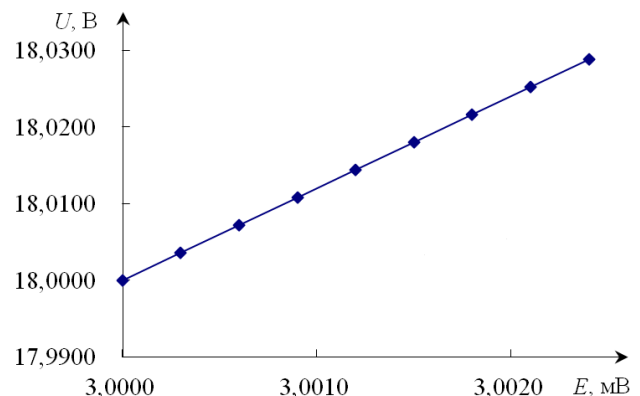


Рисунок 2 – Графік залежності вихідної термо-ЕРС термоперетворювача від вхідної напруги

Наступним кроком дослідження методу калібрування зазначеного ЗВТ слід встановити ступінь впливу його дрейфу, а також співвідношення між інтервалами часу на результат вимірювання похибки компарування. З цією метою варто проаналізувати вхідні та відповідні вихідні значення величин у ідеальному випадку за відсутності цього явища й за його наявності. Результати аналізу для випадку неоднакових часових інтервалів представлено у таблиці 2.

Таблиця 2 – Співвідношення вхідних та вихідних величин за наявності й відсутності дрейфу вихідної термо-ЕРС при неоднакових часових інтервалах

№ етапу	Значення для величини у ідеальному випадку		Значення для величини у реальному випадку	
	На вході, В	На виході, мВ	На вході, В	На виході, мВ
1	3,00000	18,0000	3,00000	18,0000
2	2,99969	18,0000	2,99938	17,9926
3	2,99971	18,0000	2,99886	17,9863
4	3,00000	18,0000	2,99874	17,9849
$\delta_{\text{ТПН}}$	100,01 мкВ/В		83,36 мкВ/В	

Результати аналізу для випадку однакових часових інтервалів представлено у таблиці 3.

Таблиця 3 – Співвідношення вхідних та вихідних величин за наявності й відсутності дрейфу вихідної термо-ЕРС при рівних часових інтервалах

№ етапу	Значення для величини у ідеальному випадку		Значення для величини у реальному випадку	
	На вході, В	На виході, мВ	На вході, В	На виході, мВ
1	3,00000	18,0000	3,00000	18,0000
2	2,99969	18,0000	2,99928	17,9950
3	2,99971	18,0000	2,99886	17,9899
4	3,00000	18,0000	2,99874	17,9849
$\delta_{\text{ТПН}}$	100,01 мкВ/В		100,03 мкВ/В	

Дослідження оптимальних часових проміжків для визначення похибки компарування прецизійних термоперетворювачів [7], вказують на доцільність обрання інтервалу часу після комутації вхідного сигналу близько 30 секунд (в окремих випадках, час перехідного процесу досягає декількох хвилин), при цьому попередній прогрів досліджуваного термоперетворювача має бути не меншим за півгодини, а краще – близько години.

Якщо до складу еталону, котрий використовується під час калібрування, входять такі прицельні ЗВТ, як компаратор постійної напруги, врівноваження з внутрішньою мірою якого досягається за допомогою механічних декадних перемикачів, тоді час одного вимірювального циклу збільшується на декілька хвилин. Враховуючи потенційну можливість наявності втомі у оператора й, узагалі, відсутність гарантії однакової швидкості пошуку врівноважуючого значення опорної напруги внутрішньої міри такого компаратору, постає проблема дотримання рівності часових інтервалів між етапами спостереження.

До викладеного вище варто додати питання про обраний спосіб спостереження в сенсі накопичування необхідної кількості спостережень при багаторазових вимірюваннях, а саме: чи декілька одиничних спостережень виконуються поспіль за один цикл чи за деяку визначену методикою кількість циклів.

Зважаючи на викладені вище аспекти, критичної важливості набуває такий параметр як швидкість змінювання вихідної термо-ЕРС, або швидкість дрейфу термоперетворювача. Загалом, швидкість дрейфу можна виразити як першу похідну змінювання вихідної термо-ЕРС за часом

$$V_d = \frac{\Delta E_{\text{ТПН}}}{\Delta t} = \frac{dE_{\text{ТПН}}}{dt}, \quad (3)$$

де $\Delta E_{\text{ТПН}}$, $dE_{\text{ТПН}}$ – змінення величини вихідної термо-ЕРС термоперетворювача;

Δt , dt – інтервал часу, протягом якого відбувається змінення вихідної термо-ЕРС.

Очевидно, час одного етапу спостереження значення вихідної термо-ЕРС досліджуваного термоперетворювача складається з деякої кількості проміжків часу, необхідних для виконання кожної операції та може бути виражений так

$$t_e = t_{\text{ТПН}} + t_{\text{ВН}} + t_{\text{В}} + t_3, \quad (4)$$

де $t_{\text{ТПН}}$, $t_{\text{ВН}}$, $t_{\text{В}}$, t_3 – інтервали часу, необхідні операторові для: очікування закінчення перехідного процесу, встановлення значення вхідної напруги, врівноваження внутрішньої міри компаратору напруги і записування результату спостереження, відповідно.

Здійснення зазначених операцій потребує різних часових проміжків, необхідних операторові, а саме:

- для встановлення вхідної напруги відповідно до опорного вихідного сигналу еталонного термокомпаратору у вигляді інтервалу від 10 до 30 секунд;
- для пошуку врівноважуючого значення внутрішньої міри компаратору у вигляді інтервалу від 20 до 40 секунд;
- для записування в протоколі результату одиничного спостереження в інтервалі від 10 до 20 секунд.

Відповідно до виразу (4) сумарний час, необхідний для проведення одного повного циклу спостереження становить від 210 до близько 360 секунд. Застосування автоматизації може не лише виключити дві останні складові сумарного часу одного циклу й дещо покращити другу складову, але й привнести ризик виникнення додаткового джерела НВ від зношування складових регулюючого механізму, комутуючих органів та, як наслідок, можливого випадкового

відхилення вхідної напруги від заданого значення. За використання ж одноциклового способу накопичення результатів спостереження, котре можливе при застосуванні сучасних прецизійних нановольметрів, замість компараторів напруги й автоматизації калібрування, виникає додаткове запитання про можливість випадкового стрибкоподібного змінення вихідної термо-ЕРС, ризик від котрого зменшується з проведенням великої кількості циклів (хоча при цьому, очевидно, має збільшитися розсіювання результатів спостереження).

Аналіз впливу швидкості дрейфу досліджуваного термоперетворювача

Використовуючи співвідношення (3), можна розрахувати значення швидкості дрейфу для випадку, наведеного в табл. 2, що для п'ятихвилинного інтервалу часу усереднено дорівнює 3,020 мкВ на хвилину. Але, у гіршому випадку, протягом 360 секунд вихідна термо-

ЕРС такого термоперетворювача має змінитись від умовних 18,0000 мВ до 17,98188 мВ. Спостерігаючи такий дрейф протягом шести хвилин і фіксуючи результати кожні півхвилини, можна отримати серію значень, представлених у таблиці 4.

На рис. 3 зображено інтервальний графік одного повного циклу спостереження вихідної термо-ЕРС досліджуваного термоперетворювача, на якому можна побачити ступінь впливу швидкості його дрейфу на результат спостереження.

Пам'ятаючи про варіювання інтервалу часу складових етапу спостереження, треба оцінити вплив дрейфу термоперетворювача на результат за 10 секунд.

При швидкості дрейфу 3,020 мкВ на хвилину величина цього дрейфу становитиме приблизно 0,503 мкВ.

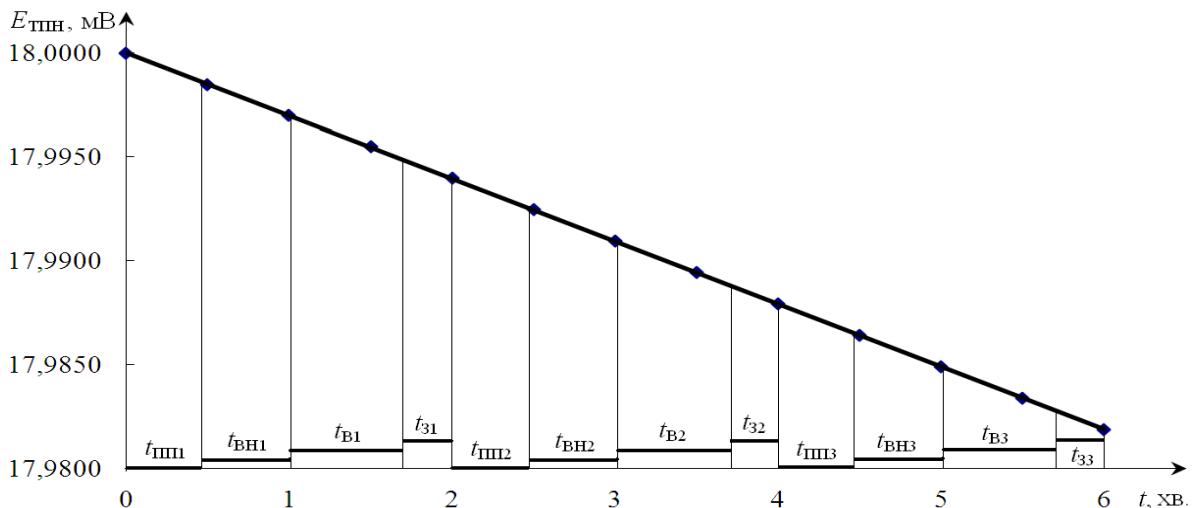


Рисунок 3 – Інтервальний графік дрейфу термоелектричного перетворювача

Таблиця 4 – Змінення вихідної термо-ЕРС термоперетворювача

№ спостереження	Час, хвилин	Вихідна термо-ЕРС, мВ
1	0	18,00000
2	0,5	17,99849
3	1,0	17,99698
4	1,5	17,99547
5	2,0	17,99396
6	2,5	17,99245
7	3,0	17,99094
8	3,5	17,98943
9	4,0	17,98792
10	4,5	17,98641
11	5,0	17,98490
12	5,5	17,98339
13	6,0	17,98188

Це означає, що, в разі десятисекундного зменшення часових проміжків $t_{ВН}$, $t_{В}$ та $t_{З}$, результат спостереження на одному етапі зміниться з 17,99396 мВ на 17,99547 мВ. На наступному етапі часові проміжки можуть варіюватись випадково, наприклад, з 17,98792 мВ до 17,98943 мВ, як і на останньому етапі.

Оцінювання невизначеності вимірювань від швидкості дрейфу термоперетворювача й часових інтервалів

НВ можливо оцінити склавши математичні моделі вимірюваних вхідних змінної та постійної напруг та ввівши до них змінні величини, що характеризують дрейф і часові інтервали. Прямалінія, що визначає залежність вихідної термо-ЕРС досліджуваного термоперетворювача від часу при поданні на його вхід номінальної

напруги відповідно до рис. 3 описується таким рівнянням

$$E_{ТПН} = E_{ном} - V_d \cdot t = 18 - 5,03 \cdot 10^{-4} \cdot t. \quad (5)$$

Підставивши рівняння (5) у вираз (2), пам'ятаючи співвідношення (1), можна отримати співвідношення для вхідних змінних й постійного сигналів:

$$U_{AC1(2)} = (1 + \delta_{ТПН}) \cdot \sqrt{\frac{E_{ном} - V_d \cdot t_{e1}}{k_{DC}}}, \quad (6)$$

$$U_{DC1(2)} = \sqrt{\frac{E_{ном} - V_d \cdot t_{e2(3)}}{k_{DC}}}, \quad (7)$$

де t_{e1} , $t_{e2(3)}$ – інтервали часу першого й другого (третього) етапів одного повного циклу спостереження.

Для отриманих математичних моделей необхідно розрахувати коефіцієнти чутливості згідно з настановою з оцінювання НВ [8] як перші частинні похідні за відповідними вхідними величинами.

Розрахунок коефіцієнту чутливості складових інтервалів часу першого й останнього етапів повного циклу треба проводити за виразом

$$c_{AC} = \frac{(1 + \delta_{ТПН})}{4 \cdot \sqrt{k_{DC}}} \cdot \frac{V_d}{\sqrt{E_{ном} - V_d \cdot t}}. \quad (8)$$

Розрахунок коефіцієнту чутливості складових інтервалів часу другого та третього етапів повного циклу треба проводити за виразом:

$$c_{DC} = \frac{1}{4 \cdot \sqrt{k_{DC}}} \cdot \frac{V_d}{\sqrt{E_{ном} - V_d \cdot t}}. \quad (9)$$

Розрахунок коефіцієнту чутливості за швидкістю дрейфу треба проводити згідно виразу

$$c_{V_d} = \frac{1}{4 \cdot \sqrt{k_{DC}}} \cdot \frac{t}{\sqrt{E_{ном} - V_d \cdot t}}. \quad (10)$$

За настановою [8] стандартна невизначеність вхідної величини, про яку відомий лише інтервал її рівновірогідних значень повинна оцінюватись так

$$u_{AC} = u_{DC} = \frac{\Delta t_{\text{ц}}}{2 \cdot \sqrt{3}}, \quad (11)$$

де $\Delta t_{\text{ц}}$ – сумарний інтервал варіювання часових проміжків для одного етапу циклу.

Внесок у загальну НВ визначається як добуток коефіцієнту чутливості на стандартну не-

визначеність вхідної величини, тобто для вхідної змінної напруги

$$c_{AC} \cdot u_{AC} = \frac{(1 + \delta_{ТПН})}{8 \cdot \sqrt{3 \cdot k_{DC}}} \cdot \frac{V_d \cdot \Delta t_{\text{ц}}}{\sqrt{E_{ном} - V_d \cdot t}}, \quad (12)$$

а для вхідної постійної напруги:

$$c_{DC} \cdot u_{DC} = \frac{1}{8 \cdot \sqrt{3 \cdot k_{DC}}} \cdot \frac{V_d \cdot \Delta t_{\text{ц}}}{\sqrt{E_{ном} - V_d \cdot t}}. \quad (13)$$

Сумарний внесок НВ інтервалів часу на виконання операцій слід оцінювати за виразом:

$$u_{c,t} = \sqrt{2[(c_{DC} \cdot u_{DC})^2 + (c_{AC} \cdot u_{AC})^2]}. \quad (14)$$

Внесок у загальну НВ за швидкістю дрейфу залежить від НВ при вимірюванні часу й термо-ЕРС за формулою (3) та визначається

$$c_{V_d} \cdot u_{V_d} = \frac{t}{4 \cdot \sqrt{k_{DC}}} \cdot \sqrt{\frac{u_{\Delta E}^2 + \frac{\Delta E_{ТПН}^2}{\Delta t^4} \cdot u_{\Delta t}^2}{E_{ном} - V_d \cdot t}}, \quad (15)$$

де $u_{\Delta E}$, $u_{\Delta t}$ – стандартна невизначеність при вимірюванні змінення термо-ЕРС за відповідний інтервал часу.

Підсумовуючи, для встановлених протягом цієї роботи умов треба навести отримане значення сумарного внеску НВ інтервалів часу, котре становить 85,1 мкВ, та значення внеску у НВ від швидкості дрейфу, котре становить 2,37 мкВ. По відношенню до отриманого результату вимірювання похибки компарування 100 мкВ/В ці метрологічні характеристики складають 28,4 мкВ/В та 0,8 мкВ/В, відповідно.

Висновки

Отримане досить велике значення НВ від варіативності часових проміжків, може бути меншим, адже використана під час розрахунків швидкість дрейфу досліджуваного термоперетворювача може бути на порядок меншою для окремих зразків ЗВТ в залежності від конструктивних характеристик конкретного зразка, а також за умови попереднього прогріву не менше однієї години.

Зменшити НВ від варіативності часових проміжків можливо шляхом осучаснення складових Державного еталону та його автоматизації, але повинні бути враховані ризики від механічного зношування.

Величина швидкості дрейфу термоелектричного перетворювача, що піддається калібруванню робить нехтовно малий внесок у загальну НВ.

Доцільно використовувати квазілінійність функції передачі термоперетворювачів з наявністю в конструкції термопари для дослідження зміщення вихідного сигналу такого ЗВТ.

Список використаних джерел

1. ДСТУ 3231:2007 Метрологія. Еталони одиниць вимірювань державні, первинні та вторинні. Основні положення, порядок розроблення, затвердження, реєстрації, зберігання та застосування [Текст]. – К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 24 с.
2. ПМА 081/29.18-01 Програма і методика метрологічної атестації Державного еталона одиниці електричної напруги від 0,1 до 1000 В змінного струму у діапазоні частот від 10 Гц до 1 МГц (ДЕТУ 08-07-02). [Текст]. – К.: УкрЦСМ, 2001. – 70 с.
3. ДСТУ 7231:2011 Метрологія. Перетворювачі та компаратори термоелектричні еталонні. Методика повірки (калібрування). [Текст]. – К.: Держспоживстандарт України, 2011. – 14 с.
4. Francis L. Hermach. Thermal converters as ac-dc transfer standards for current and voltage measurements at audio frequencies / Francis L. Hermach. // Journal of research of the national bureau of standards. – February 1952. – Vol. 48, No. 2. – P. 121–138.
5. 792A. Precision comparator. Service Manual. – Everett: Fluke Corporation, 2005. [Текст]. – 576 р.
6. Calibration: Philosophy in Practice. Second Edition. – Everett: Fluke Corporation, 1994. [Текст]. – 526 р.
7. Туз Ю. М. Оптимізація часу термокомпарування. / Ю. М. Туз, М. В. Добролюбова, А. А. Ульянова // Системи обробки інформації. – № 5(86) – Харків. – 2010. – С. 139–144.
8. JCGM 100:2008// GUM 1995 with minor corrections. Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://www.bipm.org/utls/common/documents/jcgm/JCGM_100_2008_E.pdf – Назва з екрана.

Надійшла до редакції 06.11.2017

Рецензент: д.т.н, проф. Коломієць Л. В.,
Одеська державна академія технічного регулювання та якості, Одеса.

О. Н. Величко, д.т.н., В. В. Исаев

ОЦЕНИВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕКОТОРЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ КАЛИБРОВКЕ ПРЕЦИЗИОННЫХ ТЕРМОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

В статье исследован метод калибровки прецизионных термоэлектрических преобразователей с наличием в конструкции термопар на предмет влияния скорости изменения выходной термо-ЭДС и вариативности временных интервалов операций одного цикла измерений погрешности компарирования напряжения. Особенностью метода является наличие среди используемых средств измерения прецизионных компараторов постоянного напряжения с механическим средством регулирования внутренней меры, что приводит к варьированию временных интервалов от цикла к циклу. Также неодинаковость необходимого времени возникает из-за необходимости регулирования входного сигнала оператором и занесения показаний в протокол.

Ключевые слова: государственный эталон, электрическое напряжение, прецизионный термопреобразователь, дрейф, неопределенность измерения.

O. M. Velychko, DSc, V. V. Isaiev

EVALUATION OF THE INFLUENCE OF SOME DYNAMIC CHARACTERISTICS DURING THE CALIBRATION OF PRECISION THERMAL CONVERTERS

The method of calibration of precision thermoelectric converters with the presence of thermocouples in the design is observed. The influence of the rate of change in the output thermo-EMF and the variability of the operation time intervals of the one AC/DC difference measuring cycle on the calibration method is investigated. A feature of the method is the availability of precision dc voltage comparators with a mechanical means of the internal measure regulation used for output signals observation among the measuring instruments. This situation leads to a variation of the time intervals from cycle to cycle. Also, the disparity of the required time arises from the need to regulate the input signal by the operator and to record the readings in the protocol.

Keywords: state standard, electric voltage, precision thermoconverter, drift, uncertainty of measurement.

О. М. Величко, д.т.н., Р. В. Вендичанський

ДП «Всеукраїнський державний науково-виробничий центр стандартизації метрології сертифікації та захисту прав споживачів» (ДП «Укрметртестстандарт»), м. Київ

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ КАЛІБРУВАННЯ ПРЕЦИЗІЙНИХ ПОДІЛЬНИКІВ ВИСОКОЇ НАПРУГИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Розглянуто удосконалений метод калібрування подільників високої напруги постійного струму на державному первинному еталоні одиниці електричної напруги постійного струму в діапазоні від 1 до 180 кВ ДЕТУ 08-04-99. Визначені складові загальної невизначеності вимірювань обумовлені умовами експлуатації та приведена їх кількісна оцінка на прикладі подільника напруги зразкового ДНО-180.

Ключові слова: масштабний коефіцієнт, коефіцієнт поділу, подільник високої напруги, невизначеність вимірювань

Вступ

Ізоляцію кабельних ліній та іншого електро-технічного обладнання в експлуатації періодично випробовують високою напругою постійного струму відповідно до встановлених норм [1].

Для контролю високої напруги постійного струму використовують робочі вимірювачі та прецизійні подільники високої напруги постійного струму (ПН).

Визначення або контроль метрологічних характеристик робочих ПН проводиться шляхом повірки або калібрування з використанням робочих еталонів високої напруги постійного струму та еталонного вольтметра. Прецизійні ПН калібрують по національному еталону.

Повірка ПН проводиться згідно національного стандарту ДСТУ 3026-95 [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Методи калібрування ПН за рівнем прикладеної напруги можна розділити на високовольтні та низьковольтні.

До низьковольтних методів калібрування ПН належать методики [3, 4]. Згідно з цими методиками на вхід ПН подається висока наруга, яка вимірюється високовольтним еталонним засобом вимірювальної техніки (ЗВТ), а вихідна напруга – низьковольтним еталонним ЗВТ. Дійсне значення масштабного коефіцієнту визначається як відношення високої напруги на вході ПН до значення напруги на його виході. Ці методики передбачають можливість оцінки експериментальним шляхом ефекту самонагрівання ПН. Слід зазначити, що ефект самонагрівання для резистивних прецизійних ПН є значним та може складати декілька десятків відсотка.

До низьковольтних методів можна віднести методики [5, 6]. Методика калібрування ПН [5] визначає дійсне значення масштабного коефіцієнта ПН як відношення дійсного значення опору

високовольтного плеча до дійсного значення опору низьковольтного плеча ПН. Дійсне значення опору резисторів з яких складається ПН визначають за допомогою моста Уитстона. Вплив самонагрівання за даною методикою розраховується на основі паспортних значень температурного коефіцієнту опору резисторів.

Застосування цього метода потребує порушення цілісності конструкції ПН, що знижує надійність калібруемого ПН.

Іншим прикладом низьковольтного методу є методика викладена в статті [6]. Вона заснована на принципі послідовного подавання на калібруємий та еталонний ПН каліброваної напруги в діапазоні від 0 до 1000 В зі змінним кроком від 1 до 10 В. Дійсне значення масштабного коефіцієнта розраховується за спеціальною методикою. Дана методика не передбачає можливість визначення впливу самонагрівання на результати вимірювання ПН.

Проте жоден з документів не враховує інші фактори впливу, які обумовлені специфічними умовами експлуатації ПН. Так високовольтні випробування та вимірювання проводяться в спеціально огорожених ділянках – високовольтних полях (далі - ВП). Зазвичай розмір ВП обирають лише за критерієм дотримання необхідних відстаней для виключення пробоя при проведенні вимірювань. За нормами [7] огорожу стаціонарного ВП виконують з металевої сітки, яка повинна бути заземлена. В умовах обмеженої площі ВП така огорожа може впливати на роботу ПН. Також не поодинокі випадки, коли вимірювання необхідно провести поблизу обладнання яке знаходиться під напругою, що також може впливати на результати вимірювання.

До виходу ПН в реальних умовах експлуатації можуть підключатися ЗВТ з різним вхідним опором, як з великим (вольтметри) так і з віднос-

но незначним (осцилографи, аналізатори), що впливає значною мірою на точність вимірювання ПН.

Виходячи з вище перерахованих обставин, наведені методи калібрування не завжди в повній мірі враховують ефекти які присутні в реальних умовах експлуатації ПН.

Постановка завдання

З прийняттям нового Закону України з питань метрологічної діяльності [8] та прагненням підприємств та організацій до впровадження системи управління якістю за вимогами стандарту ДСТУ ISO/IEC 9001 [9] все більшої актуальності набуває питання калібрування ЗВТ. На цей момент відсутній національний нормативний документ на методику калібрування ПН. Наведені методики калібрування ПН [3-6] не враховують особливості їх експлуатації, що негативно впливає на достовірність метрологічних характеристик отриманих при калібруванні.

Метою статті є запропонувати методику калібрування прецизійних подільників високої напруги, що враховує вплив факторів обумовлених реальними умовами експлуатації, провести її аналіз, а також показати простежуваність результатів вимірювань при калібруванні ПН до національних еталонів інших країн.

Основний текст

В реальних умовах експлуатації на ПН можуть впливати наступні фактори:

- тривалість знаходження ПН під дією високої напруги (самонагрівання);
- вплив заземлених об'єктів [10];
- вплив об'єктів під напругою [10];
- вхідний опір приладу, який підключається до виходу ПН.

У статті розглянута методика калібрування ПН за допомогою Державного первинного еталона одиниці електричної напруги постійного струму у діапазоні від 1 до 180 кВ ДЕТУ 08-04-99 (далі – ДПЕ).

Калібрування ПН проводять методом опосередкованих вимірювань. Вхідна напруга ПН вимірюється ДПЕ, а вихідна напруга – еталонним вольтметром. Вхідний опір еталонного вольтметра повинен відповідати вхідному опору ЗВТ, який підключається до виходу ПН в експлуатації.

1 Розрахунок поправки до номінального масштабного коефіцієнту ПН

Дійсний масштабний коефіцієнт ПН при i -тому спостереженні k_i визначається за формулою:

$$k_i = \frac{U_{ss\ i}}{U_{out\ i}}, \quad (1)$$

де $U_{ss\ i}$ – значення високої напруги, що вимірюється ДПЕ при i -тому спостереженні (у В) та визначається за формулою:

$$U_{ss\ i} = U_{ss\ s} + U_{ssv\ i}, \quad (2)$$

де $U_{ss\ s}$ – дійсне значення напруги складеної міри ДПЕ, В;

$U_{ssv\ i}$ – покази вольтметра ДПЕ при i -тому спостереженні, В;

$U_{out\ i}$ – покази еталонного вольтметра при i -тому спостереженні вихідної напруги ПН, В.

При калібруванні визначають поправку до номінального масштабного коефіцієнту ПН при i -тому спостереженні $\delta_{k\ i}$ за формулою:

$$\delta_{k\ i} = \frac{k_i - k_{nom}}{k_{nom}}, \quad (3)$$

де k_{nom} – номінальний масштабний коефіцієнт ПН.

Калібрування ПН проводять у п'яти точках номінального інтервалу показів вхідної напруги:

$$U_{inf}; 0,2 \cdot U_{sup}; 0,5 \cdot U_{sup}; 0,8 \cdot U_{sup} \text{ та } U_{sup},$$

де U_{inf} – нижнє значення напруги номінального інтервалу показів ПН, В;

U_{sup} – верхнє значення напруги номінального інтервалу показів ПН, В.

Для кожної точки номінального інтервалу показів ПН проводять 10 спостережень і визначають середнє арифметичне значення поправки до масштабного коефіцієнту ПН $\bar{\delta}_k$ за формулою:

$$\bar{\delta}_k = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_{k\ i}}{n}, \quad (4)$$

де n – кількість спостережень.

Стандартна невизначеність вимірювань середнього арифметичного значення поправки до масштабного коефіцієнту ПН u_{δ} , у відносних одиницях, визначають за формулою:

$$u_{\delta} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\delta_{k\ i} - \bar{\delta}_k)^2}{n(n-1)}} \quad (5)$$

2 Аналіз впливу зовнішніх факторів на результати вимірювання ПН

2.1 Аналіз впливу самонагрівання на масштабний коефіцієнт ПН.

Відхилення дійсного значення масштабного коефіцієнту від номінального з урахуванням впливу самонагрівання ПН в кінцевий момент часу при i -тому спостереженні δ_{hi} визначають за формулою:

$$\delta_{hi} = \frac{k_{hi} - k_{nom}}{k_{nom}}, \quad (6)$$

де k_{hi} – дійсний масштабний коефіцієнт при i -тому спостереженні в кінцевий момент часу самонагрівання ПН, який визначають за формулою:

$$k_{r,i} = \frac{U_{ss s} + U_{ssv r i}}{U_{out r i}}, \quad (7)$$

де $U_{ssv r i}$ – покази вольметра ДПЕ при i -тому спостереженні в кінцевий момент часу самонагрівання ПН, В;

$U_{out r i}$ – покази еталонного вольметра при i -тому спостереженні вихідної напруги в кінцевий момент часу самонагрівання ПН, В.

При напрузі, що дорівнює верхньому значенню напруги номінального інтервалу показів вхідної напруги ПН, проводять 10 спостережень.

Середнє арифметичне значення відхилення дійсного значення масштабного коефіцієнту від номінального з урахуванням впливу самонагрівання ПН в кінцевий момент часу $\bar{\delta}_h$ визначається за формулою:

$$\bar{\delta}_h = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_{hi}}{n}. \quad (8)$$

Оцінка впливу самонагрівання на масштабний коефіцієнт ПН $\delta_{h inf}$, у відносних одиницях, визначається за формулою:

$$\delta_{h inf} = \left| \bar{\delta}_k - \bar{\delta}_h \right|. \quad (9)$$

2.2 Аналіз впливу заземлених об'єктів на масштабний коефіцієнт ПН

Відхилення дійсного значення масштабного коефіцієнту від номінального з урахуванням впливу заземлених об'єктів при i -тому спостереженні δ_{ti} визначають за формулою:

$$\delta_{ti} = \frac{k_{ti} - k_{nom}}{k_{nom}}, \quad (10)$$

де k_{ti} – дійсний масштабний коефіцієнт при i -тому спостереженні визначений під час впливу заземлених об'єктів, який визначають за формулою:

$$k_{ti} = \frac{U_{ss s} + U_{ssv ti}}{U_{out ti}}, \quad (11)$$

де $U_{ssv ti}$ – покази вольметра ДПЕ при i -тому спостереженні під час впливу заземлених об'єктів на ПН, В;

$U_{out ti}$ – покази еталонного вольметра при i -тому спостереженні вихідної напруги під час впливу заземлених об'єктів на ПН, В.

При напрузі, що дорівнює верхньому значенню напруги номінального інтервалу показів вхідної напруги ПН, проводять 10 спостережень.

Середнє арифметичне значення відхилення дійсного значення масштабного коефіцієнту від номінального з урахуванням впливу заземлених об'єктів $\bar{\delta}_t$ визначається за формулою:

$$\bar{\delta}_t = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_{ti}}{n}. \quad (12)$$

Оцінка впливу заземлених об'єктів на масштабний коефіцієнт ПН $\delta_{t inf}$, у відносних одиницях, визначається за формулою:

$$\delta_{t inf} = \left| \bar{\delta}_k - \bar{\delta}_t \right|. \quad (13)$$

2.3 Аналіз впливу об'єктів під напругою на масштабний коефіцієнт ПН

Відхилення дійсного значення масштабного коефіцієнту від номінального з урахуванням впливу об'єктів під напругою при i -тому спостереженні δ_{ui} визначають за формулою:

$$\delta_{ui} = \frac{k_{ui} - k_{nom}}{k_{nom}}, \quad (14)$$

де k_{ui} – дійсний масштабний коефіцієнт при i -тому спостереженні визначений під час впливу об'єктів під напругою, який визначають за формулою:

$$k_{ui} = \frac{U_{ss s} + U_{ssv ui}}{U_{out ui}}, \quad (15)$$

де $U_{ssv ui}$ – покази вольметра ДПЕ при i -тому спостереженні під час впливу об'єктів під напругою на ПН, В;

$U_{out\ u\ i}$ – покази еталонного вольтметра при i -тому спостереженні вихідної напруги під час впливу об'єктів під напругою на ПН, В.

При напрузі, що дорівнює верхньому значенню напруги номінального інтервалу показів вхідної напруги ПН, проводять 10 спостережень.

Середнє арифметичне значення відхилення дійсного значення масштабного коефіцієнту від номінального викликане впливом об'єктів під напругою $\bar{\delta}_u$ визначається за формулою:

$$\bar{\delta}_u = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_{u\ i}}{n}. \quad (16)$$

Оцінка впливу об'єктів під напругою на масштабний коефіцієнт ПН $\delta_{u\ inf}$, у відносних одиницях, визначається за формулою:

$$\delta_{u\ inf} = |\bar{\delta}_k - \bar{\delta}_u|. \quad (17)$$

Складові загальної невизначеності вимірювань при калібруванні подільника напруги зразкового ДНО-180 наведені в табл. 1.

В табл. 1 наведені наступні позначення:

u_{ss} – стандартна невизначеність вимірювань отримана на ДПЕ;

u_v – стандартна невизначеність вимірювань еталонного вольтметра.

Таблиця 1 – Складові загальної невизначеності вимірювань

Позначення вхідної величини	Прийнятий закон розподілу	Алгоритм розрахунку стандартної невизначеності	Внесок стандартної невизначеності, у відносних одиницях
u_{ss}	нормальний	u_{ss}	$3,6 \cdot 10^{-4}$
u_v	нормальний	u_v	$1,1 \cdot 10^{-4}$
$\delta_{h\ inf}$	рівномірний	$\frac{\delta_{h\ inf}}{\sqrt{3}}$	$3,2 \cdot 10^{-4}$
$\delta_{t\ inf}$	рівномірний	$\frac{\delta_{t\ inf}}{\sqrt{3}}$	$2,1 \cdot 10^{-4}$
$\delta_{u\ inf}$	рівномірний	$\frac{\delta_{u\ inf}}{\sqrt{3}}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$
u_{δ}	нормальний	u_{δ}	$1,0 \cdot 10^{-5}$

Оцінювання невизначеності вимірювань по типу А поправки до масштабного коефіцієнту ПН u_A , у відносних одиницях, визначають за формулою:

$$u_A = \sqrt{u_{\delta}^2}. \quad (18)$$

Оцінювання невизначеності вимірювань по типу В поправки до масштабного коефіцієнту ПН u_B , у відносних одиницях, визначають за формулою:

$$u_B = \sqrt{\frac{\delta_{h\ inf}^2}{3} + \frac{\delta_{t\ inf}^2}{3} + \frac{\delta_{u\ inf}^2}{3} + u_{ss}^2 + u_v^2}. \quad (19)$$

Комбіновану (сумарну) стандартну невизначеність вимірювань поправки до масштабного коефіцієнту ПН u_c , у відносних одиницях, знаходять за формулою:

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_B^2}. \quad (20)$$

Розширену невизначеність вимірювань поправки до масштабного коефіцієнту ПН з урахуванням факторів впливу під час експлуатації U , для коефіцієнта охоплення $k = 2$ при рівні довіри 95, у відносних одиницях, визначають за формулою:

$$U = 2 \cdot \sqrt{\frac{\delta_{h\ inf}^2}{3} + \frac{\delta_{t\ inf}^2}{3} + \frac{\delta_{u\ inf}^2}{3} + u_{ss}^2 + u_v^2 + u_{\delta}^2}. \quad (21)$$

Результат калібрування ПН записують у вигляді:

$$X = k_{nom} \cdot (1 + \bar{\delta}_k) \pm U. \quad (22)$$

Висновки

Досліджено та кількісно оцінено на прикладі подільника високої напруги постійного струму ДНО-180 складові загальної невизначеності вимірювань при калібруванні прецизійних подільників напруги постійного струму, що обумовлені впливом факторів умов експлуатації.

Запропоновано методику калібрування прецизійних подільників високої напруги постійного струму, яка враховує умови їх експлуатації.

Показано простежуваність результатів вимірювань при калібруванні прецизійних подільників напруги постійного струму до національного первинного еталона, метрологічні можливості якого визнані міжнародним співтовариством та включені до міжнародної бази даних калібрувальних та вимірювальних можливостей країн.

Список використаних джерел

1. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. – Х.: Видавництво «Індустрія», 2007. – 272 с.

2. ДСТУ 3026-95. Метрологія. Подільники напруги постійного струму вимірювальні високовольтні. Методи та засоби повірки. [Текст]. – Київ: Держспоживстандарт України, 1996. – 16 с.
3. МКУ 053-29/08/2011 Метрологія. Делителі високого напруги постійного тока. Методика калібровки. [Текст] – Київ: ДП «Укрметрестандарт», 2011. – 22 с.
4. NBS Technical Note 1215. High Voltage Divider and Resistor Calibrations / M Misakian [and other] – Washington: U.S. Government Printing Office, 1985. – 31 p.
5. NBS Technical Note 349. The Design and Operation of A High Voltage Calibration Facility/ W. Winston, Jr Scott. Washington: U.S. Government Printing Office, 1966. – 27 p.
6. Parks H. High Voltage Divider Calibration with the Reference Step Method // 2015 NCSL International Conference proceedings/– Grapevine, Texas, USA, July 19-23. – P. 68–69.
7. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. НПАОП 40.1.-1.21-98 (ДНАОП 0.00-1.21-98). – Х.: ФОРТ, 2008. – 192 с.
8. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» від 05.06.2014 № 1314-VII-ВРУ.
9. ДСТУ ISO ІЕС 9001: 2015. Системи управління якістю. Вимоги. Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій [Текст]. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 22 с.
10. ГОСТ 17512–82. Электрооборудование и электроустановки на напряжение 3 кВ и выше. Методы измерения при испытаниях высоким напряжением [Текст]. – Київ: Держспоживстандарт України, 1984. – 22 с.

Надійшла до редакції 13.11.2017

Рецензент: д.т.н, проф. Братченко Г. Д.,
Одеська державна академія технічного регулювання та якості, Одеса.

О. Н. Величко, д.т.н., Р. В. Вендичанский

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА КАЛИБРОВКИ ПРЕЦИЗИОННЫХ ДЕЛИТЕЛЕЙ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Рассмотрен усовершенствованный метод калибровки делителей высокого напряжения постоянного тока на государственном первичном эталоне единицы электрического напряжения постоянного тока в диапазоне от 1 до 180 кВ ДЕТУ 08-04-99. Определены составляющие общей неопределенности измерений, обусловленные условиями эксплуатации и приведена их количественная оценка на примере делителя напряжения образцового ДНО-180.

Ключевые слова: масштабный коэффициент, коэффициент деления, делитель высокого напряжения, неопределенность измерений.

O. M. Velychko, DSc, R. V. Vendychanskyi

IMPROVEMENT OF THE METHOD OF CALIBRATION OF PRECISION DIVIDERS OF HIGH VOLTAGE

An improved method for calibrating high voltage direct current dividers is described at the state primary standard of a unit of direct current electric voltage in the range from 1 to 180 kV ДЕТУ 08-04-99. The components of the general uncertainty of measurements caused by operating conditions are determined and their quantitative estimation is given with the example of the voltage divider of the model ДНО-180.

Keywords: scale factor, division coefficient, high voltage divider, measurement uncertainty.

РОЗДІЛ 3

Інформаційно-вимірювальні системи і технології

В. Ю. Кучерук, д.т.н., П. І. Кулаков, д.т.н., Д. В. Мостовий, А. П. Кулакова*Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця*

СИНХРОННИЙ ДЕТЕКТОР З РОЗШИРЕНИМ ДИНАМІЧНИМ ДІАПАЗОНОМ ВХІДНИХ СИГНАЛІВ

У роботі розглянуто варіант реалізації синхронного детектора, до складу якого входить аналоговий перемножувач сигналів на основі польових транзисторів. Наведено результати теоретичних та експериментальних досліджень запропонованого синхронного детектора. Встановлено, що верхня границя динамічного діапазону його вхідних сигналів значно вища, ніж у аналогів, які виконані на основі біполярних транзисторів. Рівень комбінаційних складових у його вихідному сигналі значно нижчий, ніж у аналогів на основі біполярних транзисторів.

Ключові слова: синхронний детектор, аналоговий перемножувач сигналів, динамічний діапазон, детектор, польовий транзистор.

Вступ

Синхронний детектор є важливим функціональним вузлом сучасних радіотехнічних та інформаційно-вимірювальних засобів, він має властивості, які є надзвичайно важливими для обробки сигналів: висока чутливість до фази та амплітуди сигналу, що обробляється; висока частотна селективність. Завдяки цим властивостям синхронне детектування широко використовується у техніці зв'язку та різноманітній вимірювальній апаратурі. Типові приклади використання синхронного детектора - реєстрація та вимірювання рівня малих сигналів на фоні шумів та завад, адаптивні фільтри, детектування сигналів, та інше. Під час синхронного детектування використовується опорне коливання, частота і фаза якого відповідає частоті і фазі несучого коливання. Властивістю і основною перевагою синхронного детектора є збереження співвідношення сигнал-шум у вихідному сигналі детектора. Це пояснюється тим, що синхронний детектор являє собою перетворювач частоти, який здійснює перенесення спектру сигналу у діапазон нижніх частот без зміни форми сигналу і співвідношення між його спектральними складовими. Частотна селективність синхронного детектора визначається смугою пропускання фільтра нижніх частот, і відповідно, може бути забезпечене дуже велике її значення, що складно вирішується при використанні безпосередньої фільтрації сигналу. Виходячи з цього, удосконалення існуючих синхронних детекторів та покращення їх характеристик є важливим та актуальним завданням.

Аналіз літературних джерел

У сучасних радіотехнічних та інформаційно-вимірювальних засобах синхронні детектори використовуються для детектування амплітудно-модульованих і балансно-модульованих сигналів, сигналів з односмуговою модуляцією, вимі-

рювання фазового зсуву, детектування сигналів з сучасними типами модуляції, таких як MSK, BPSK, DQPSK або QAM [1-3], та інше. У більшості випадків основним складовим елементом синхронного детектора є аналоговий перемножувач сигналів [4-6]. Динамічний діапазон вхідних сигналів синхронного детектора визначається в першу чергу аналоговим перемножувачем сигналів, що зумовлює необхідність покращення його відповідних характеристик [7, 8].

Постановка проблеми

Найчастіше синхронний детектор будується на основі аналогового перемножувача сигналів, який у цьому випадку є його основним складовим компонентом. Як відомо, балансні та кільцеві схеми на основі біполярних транзисторів не усувають продукти нелінійності третього та більш високих порядків, навіть при використанні спеціально відібраних напівпровідникових елементів. Саме цим пояснюється значна амплітудно-фазова конверсія, високий рівень продуктів нелінійності, і як наслідок, відносно малий динамічний діапазон вхідних сигналів синхронних детекторів, що реалізуються на основі серійних аналогових перемножувачів сигналів, елементною базою яких є біполярний транзистор [9-11]. Дана обставина ускладнює використання таких аналогових перемножувачів сигналів у складі синхронних детекторів в прецизійних вимірювальних засобах та у відповідних функціональних вузлах радіоелектронної апаратури. В зв'язку з цим, особливо цікавою є реалізація синхронного детектора з аналоговим перемножувачем сигналів на основі польових транзисторів простої структури, які забезпечують нелінійність відгуку по відношенню до впливу не вище другого порядку. Метою роботи є аналіз та експериментальні дослідження аналогового перемножувача сигналів на основі польових транзисторів і синх-

ронного детектора на його основі.

Розв'язання проблеми

У більшості випадків синхронне детектування засноване на операції множення двох сигналів за допомогою аналогового перемножувача сигналів. Узагальнена структурна схема синхронного детектора на основі аналогового перемножувача сигналів наведена на рис. 1.

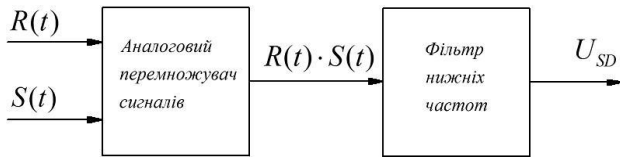


Рисунок 1 – Узагальнена структурна схема синхронного детектора на основі аналогового перемножувача сигналів.

На входи аналогового перемножувача сигналів надходять два гармонійних сигнали - опорний сигнал з постійною частотою і амплітудою $R(t)$ та модульований сигнал $S(t)$. В результаті множення цих сигналів у вихідному сигналі перемножувача з'являються компоненти з частотами, які дорівнюють сумі та різниці частот вхідних сигналів. У синхронному детекторі використовується складова, частота якої дорівнює різниці частот вхідних сигналів, вона виділяється за допомогою фільтра нижніх частот. Якщо частоти вхідних сигналів рівні між собою, вихідна напруга синхронного детектора U_{SD} прямо пропорційна амплітуді вхідного сигналу $S(t)$ і залежить від фазового зсуву вхідного сигналу відносно опорного.

Відомо, що вимогам нелінійності відгуку по відношенню до впливу не вище другого порядку у певному ступені відповідають польові транзистори простої структури, а також спеціальні польові транзистори з нормованою квадратичністю ділянки прохідної вольт-амперної характеристики, в межах якої виробником гарантується певне ослаблення рівня комбінаційних складових третього та більш високих порядків. Розглянемо рис. 2, на якому наведено еквівалентну схему диференційного каскаду з несиметричними входами на основі польових транзисторів [6, 9]. Живлення диференційного каскаду здійснюється постійною напругою E_p , за допомогою резисторів R_1, R_2, R_5, R_6 забезпечується постійне зміщення на затворах польових транзисторів. Джерело стабільного струму I_0 забезпечує постійне значення суми струмів витоку транзисторів V_1 та V_2 , синусоїдальний сигнал U_s через розділовий

конденсатор C_1 надходить на затвор транзистора V_1 , затвор транзистора V_2 блокуваний конденсатором C_2 . Вихідна напруга каскаду U_D є симетричним сигналом та знімається з витоків транзисторів, навантаженням кіл витоків є резистори R_3 та R_4 .

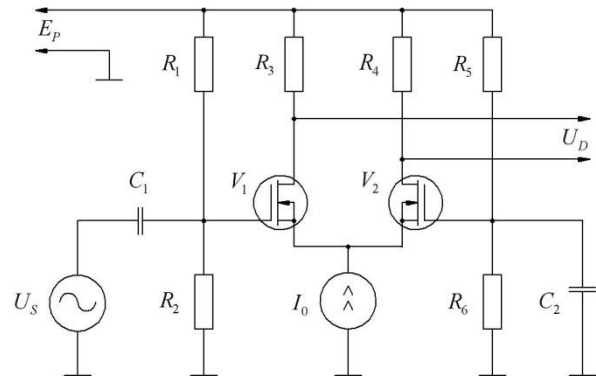


Рисунок 2 – Еквівалентна схема диференційного каскаду з несиметричними входами на основі польових транзисторів

У відповідності з [1], при квадратичній апроксимації прохідної вольт-амперної характеристики польового транзистора простої структури, струм витоку визначається за виразом

$$I_D = I_{DC} \left(1 - \frac{U_{GS} - U_{GSC}}{U_P - U_{GSC}} \right)^2, \quad (1)$$

де U_{GS} – напруга між затвором та витоком; U_P – порогова напруга; I_{DC} – класифікаційне значення струму витоку; U_{GSC} – напруга між затвором та витоком, яка відповідає класифікаційному значенню струму витоку.

Тоді, у відповідності з [1], струми стоків польових транзисторів у плечах диференційного каскаду, відповідно для транзисторів V_1 та V_2 , визначаються виразами

$$I_{D V1} = \frac{1}{2} I_{DC} \left(\frac{I_0}{I_{DC}} - \frac{U_s}{U_P - U_{GSC}} \sqrt{\frac{2I_0}{I_{DC}} - \left(\frac{U_s}{U_P - U_{GSC}} \right)^2} \right), \quad (2)$$

$$I_{D V2} = \frac{1}{2} I_{DC} \left(\frac{I_0}{I_{DC}} + \frac{U_s}{U_P - U_{GSC}} \sqrt{\frac{2I_0}{I_{DC}} - \left(\frac{U_s}{U_P - U_{GSC}} \right)^2} \right). \quad (3)$$

Принцип роботи більшості аналогових перемножувачів сигналу, так як і змішувачів частоти, базується на нелінійності прохідної характеристики польових транзисторів. Ідеальною формою вольт-амперної характеристики для їх побудови є квадратична залежність [4]. Розглянемо

еквівалентну схему аналогового перемножувача сигналів на основі польових транзисторів, яку наведено на рис. 3.

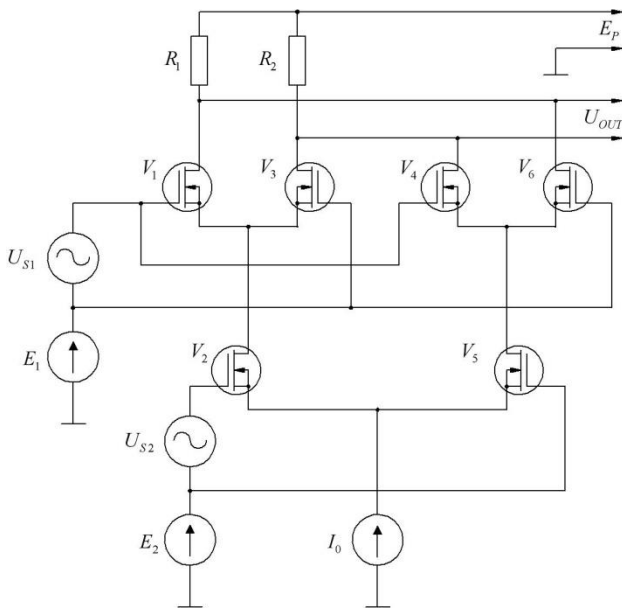


Рисунок 3 – Еквівалентна схема аналогового перемножувача сигналів на основі польових транзисторів

У даному випадку кільцева схема утворюється транзисторами V_1 , V_3 , V_4 та V_6 , постійне зміщення на їх затворах формується за допомогою джерела постійної напруги E_1 . На затвори пари транзисторів V_1 та V_3 , та пари транзисторів V_4 та V_6 , синусоїдальна напруга від джерела сигналу U_{S1} надходить в протифазі, тому відповідні складові напруги вихідного сигналу U_{OUT} , які формується на однакових резисторах R_1 та R_2 , теж є протифазними. Складові вихідної напруги, яка формується струмом витоку транзистора V_6 , компенсує складову напруги, що формується струмом витоку транзистора V_3 . Так само здійснюється компенсація складової вихідної напруги, яка утворюється струмами витоку транзисторів V_1 та V_4 . Внаслідок цього, напруга від джерела сигналу U_{S1} не може потрапити на вихід аналогового перемножувача сигналів. Подібна ситуація складається з синусоїдальним сигналом U_{S2} - збільшення струму витоку транзистора V_2 компенсується зменшенням струму витоку транзистора V_5 , тому як напруги на за-

творах цих транзисторів протифазні. Сумарний струм через резистори R_1 та R_2 не змінюється, відповідно сигнал U_{S2} до складу вихідної напруги перемножувача U_{OUT} не входить. Внаслідок квадратичності прохідної вольт-амперної характеристики транзисторів, утворюються складові струмів витоку, що протікають через резистори R_1 та R_2 , які пропорційні добутку $U_{S1} \cdot U_{S2}$. Вищевказані складові струмів витоку транзисторів V_1 та V_6 додаються, те саме відбувається з такими складовими струмів витоку транзисторів V_3 та V_4 . В результаті, вихідна напруга перемножувача є прямо пропорційною добутку $U_{S1} \cdot U_{S2}$. Внаслідок того, що в реальних умовах характеристики транзисторів, що входять до складу перемножувача, не є ідентичними, а прохідні характеристики транзисторів не є квадратичними, у вихідному сигналі утворюються комбінаційні складові високих порядків, а також складові з частотою вхідних сигналів.

Приймемо, що усі транзистори, які входять до складу аналогового перемножувача сигналів на основі польових транзисторів, мають однакове значення класифікаційного струму витоку I_{DC} , однакове значення порогової напруги U_P , та однакове значення напруги U_{GSC} між затвором та витокком, яка відповідає класифікаційному струму витоку. Враховуючи, що рівень одного з вхідних сигналів перемножувача, як правило, встановлюється користувачем, вважаємо, що диференційний каскад утворений транзисторами V_2 та V_5 працює на лінійній ділянці своєї амплітудної характеристики, тобто струми витоків його транзисторів визначаються виразами

$$I_{DV2} = \frac{1}{2} I_{DC} \left(\frac{I_0}{I_{DC}} - \sqrt{\frac{2I_0}{I_{DC}}} \frac{U_{S2}}{U_P - U_{GSC}} \right), \quad (4)$$

$$I_{DV5} = \frac{1}{2} I_{DC} \left(\frac{I_0}{I_{DC}} + \sqrt{\frac{2I_0}{I_{DC}}} \frac{U_{S2}}{U_P - U_{GSC}} \right). \quad (5)$$

Тоді струми витоку кожного з перехресно з'єднаних пліч диференційних каскадів на основі транзисторів V_1 , V_3 , V_4 та V_6 , після розкладу за ступенями та урахування чотирьох членів розкладу, визначаються виразами

$$I_{DV1} = \frac{1}{2} I_{DV2} - \frac{1}{2} I_{DC} \sqrt{\frac{2I_{DV2}}{I_{DC}}} \frac{U_{S1}}{U_P - U_{GSC}} + \frac{1}{4} \frac{I_{DC}}{\sqrt{\frac{2I_{DV2}}{I_{DC}}}} \left(\frac{U_{S1}}{U_P - U_{GSC}} \right)^3, \quad (6)$$

$$I_{DV3} = \frac{1}{2}I_{DV2} + \frac{1}{2}I_{DC} \sqrt{\frac{2I_{DV2}}{I_{DC}} \frac{U_{S1}}{U_P - U_{GSC}}} - \frac{1}{4} \frac{I_{DC}}{\sqrt{\frac{2I_{DV2}}{I_{DC}}}} \left(\frac{U_{S1}}{U_P - U_{GSC}} \right)^3, \quad (7)$$

$$I_{DV4} = \frac{1}{2}I_{DV5} - \frac{1}{2}I_{DC} \sqrt{\frac{2I_{DV5}}{I_{DC}} \frac{U_{S1}}{U_P - U_{GSC}}} + \frac{1}{4} \frac{I_{DC}}{\sqrt{\frac{2I_{DV5}}{I_{DC}}}} \left(\frac{U_{S1}}{U_P - U_{GSC}} \right)^3, \quad (8)$$

$$I_{DV6} = \frac{1}{2}I_{DV5} + \frac{1}{2}I_{DC} \sqrt{\frac{2I_{DV5}}{I_{DC}} \frac{U_{S1}}{U_P - U_{GSC}}} - \frac{1}{4} \frac{I_{DC}}{\sqrt{\frac{2I_{DV5}}{I_{DC}}}} \left(\frac{U_{S1}}{U_P - U_{GSC}} \right)^3. \quad (9)$$

Вихідна напруга аналогового перемножувача сигналів на основі польових транзисторів визначається за виразом:

$$U_{OUT} = R(I_{DV1} + I_{DV6} - I_{DV3} - I_{DV4}), \quad (10)$$

де

$$R = R_1 = R_2. \quad (11)$$

Підставивши (6) – (9) до (10), після перетворень отримуємо

$$U_{OUT} = R\sqrt{2I_{DC}} \left(\sqrt{I_{DV2}} - \sqrt{I_{DV5}} \right) \frac{U_{S1}}{U_P - U_{GSC}} + \frac{1}{2}RI_{DC} \sqrt{\frac{I_{DC}}{2}} \left(\frac{1}{\sqrt{I_{DV2}}} - \frac{1}{\sqrt{I_{DV5}}} \right) \left(\frac{U_{S1}}{U_P - U_{GSC}} \right)^3. \quad (12)$$

Складові цього виразу $\sqrt{I_{DV2}}$, $\sqrt{I_{DV5}}$, $\frac{1}{\sqrt{I_{DV2}}}$ та $\frac{1}{\sqrt{I_{DV5}}}$ є функціями U_{S2} . Розклавши їх за ступенями U_{S2} та обмежившись трьома членами розкладу, підставивши отримані вирази до (12), після перетворень отримуємо:

$$U_{OUT} = -\frac{4RI_{DC}}{(U_P - U_{GSC})^2} U_{S1} \cdot U_{S2} - \frac{2RI_{DC}^2}{2\sqrt{2}I_0(U_P - U_{GSC})^4} U_{S2} \cdot U_{S1}^3. \quad (13)$$

Для функціонування перемножувача, струм витоку транзисторів V_2 та V_5 у робочій точці повинен бути у два рази більшим, ніж струми витоку транзисторів V_1 , V_3 , V_4 та V_6 при однакових значеннях напруги U_{GS} . При практичній реалізації аналогового перемножувача сигналів

на основі польових транзисторів можливе паралельне увімкнення двох ідентичних V_1 , V_3 , V_4 та V_6 транзисторів, як це зроблено у [9]. Тоді можна вважати, що у схемі на рис. 2, використано польові транзистори V_2 та V_5 з крутизною прохідної вольт-амперної характеристики у два рази більшою, ніж у V_1 , V_3 , V_4 та V_6 .

При практичному використанні аналогового перемножувача сигналів, в багатьох випадках гармонійні сигнали надходять на обидва його входи, тобто

$$U_{S1} = U_{m1} \cos \omega_1 t, \quad (14)$$

$$U_{S2} = U_{m2} \cos \omega_2 t, \quad (15)$$

де U_{m1} , U_{m2} – амплітуди гармонійних сигналів; ω_1 , ω_2 – циклічні частоти гармонійних сигналів; t – час.

Підставивши (14) та (15) до (13), після перетворень отримуємо:

$$U_{OUT} = -\frac{I_{DC}U_{m1}U_{m2}R}{(U_P - U_{GSC})^2} \left(2\sqrt{2} + \frac{3I_{DC}U_{m1}^4}{8 \cdot I_0(U_P - U_{GSC})^4} \right) \times \quad (16)$$

$$\times (\cos(\omega_1 + \omega_2)t + \cos(\omega_1 - \omega_2)t) -$$

$$-\frac{I_{DC}^2U_{m2}U_{m1}^3R}{8 \cdot I_0(U_P - U_{GSC})^4} (\cos(\omega_1 + 3\omega_2)t + \cos(3\omega_2 - \omega_1)t).$$

Складові вихідного сигналу з частотами, різними сумі та різниці частот вхідних сигналів, відносяться до основного продукту перемноження. Інші складові – продукт нелінійності четвертого порядку, зумовлений нелінійною залежністю струмів в плечах диференційного каскаду від напруги вхідного сигналу.

З виразу (16) випливає, що рівень основного продукту у вихідному сигналі перемножувача лінійно залежить від U_{m2} та нелінійно залежить від U_{m1} . Це є справедливим при достатньо малому рівні сигналу U_{m2} , при якому прохідну вольт-амперну характеристику польового транзистора можна вважати лінійною в межах зміни його рівня. При отриманні виразу (16) не враховувалася відсічка струму каналу, у реальних умовах ця залежність складніша. Те саме стосується залежності рівня продуктів нелінійності четвертого порядку від рівня вхідних сигналів.

В роботі [9] розглянуто аналоговий перемножувач сигналів на польових транзисторах, елементною базою якого є транзистори типу 2ПЗ06А з нормованим значенням квадратичності прохідної вольт-амперної характеристики.

Авторами реалізовано та експериментально досліджено аналоговий перемножувач сигналів на сучасній елементній базі – транзисторах MFE120 виробництва Digatron Semiconductors [12]. Для реалізації двох екземплярів перемножувача відібрано дванадцять транзисторів за критерієм рівності значень порогової напруги та крутизни прохідної вольт-амперної характеристики при струмах витоку 2,5 мА та 5 мА.

Представимо амплітудну характеристику аналогового перемножувача сигналів як залежність рівня спектральної складової вихідного сигналу U_O , частота якої дорівнює сумі або різниці частот вхідних сигналів, від їх рівнів. На рис. 4 наведено експериментально отримані амплітудні характеристики дослідженого аналогового перемножувача сигналів на основі польових транзисторів [13].

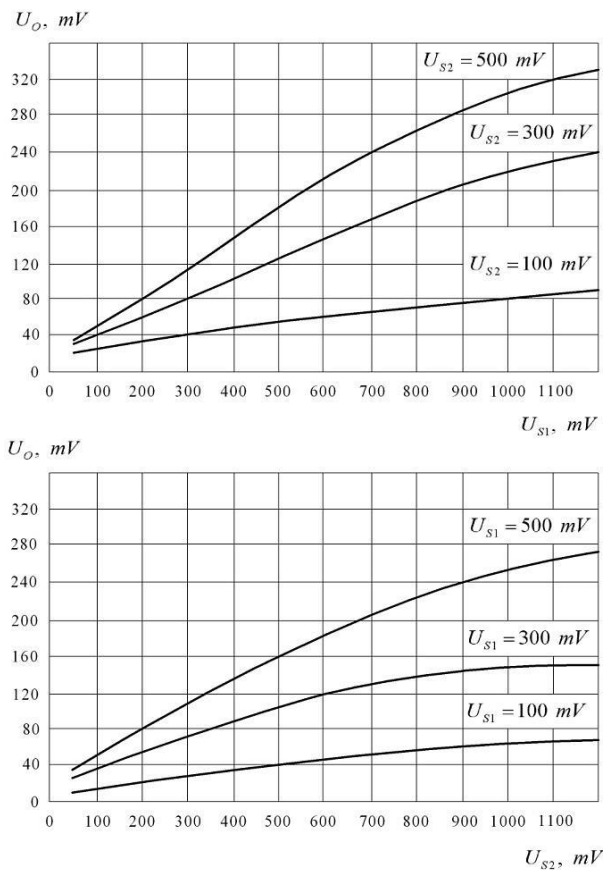


Рисунок 4 – Експериментальні амплітудні характеристики аналогового перемножувача сигналів на основі польових транзисторів

Дослідження проводились за допомогою селективного мікрровольтметра при частоті вхідних сигналів 1 МГц та струмі спокою витоку транзисторів V_1 , V_3 , V_4 та V_6 1 мА, що як довели експериментальні дослідження, відповідає середині

квадратичної ділянки прохідної вольт-амперної характеристики.

Отримані за допомогою селективного мікрровольтметра експериментальні залежності рівнів продуктів нелінійності третього, четвертого, та дев'ятого порядків у вихідному сигналі, від рівнів вхідних сигналів, наведені на рис. 5 [13].

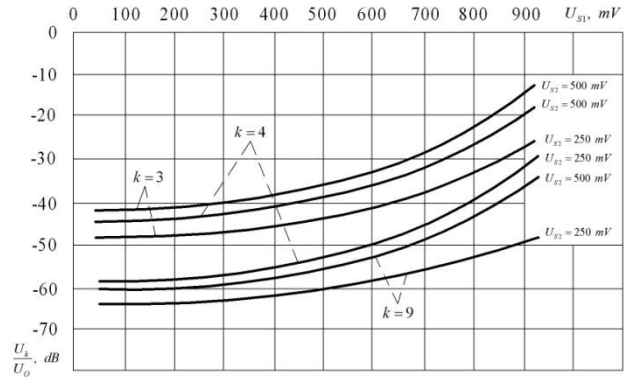


Рисунок 5 – Експериментальні залежності рівнів продуктів нелінійності у вихідному сигналі аналогового перемножувача сигналів на основі польових транзисторів від рівнів вхідних сигналів; k – порядок нелінійності; U_k – рівень комбінаційної складової.

Висновки

На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень запропонованого синхронного детектора з використанням аналогового перемножувача сигналів на основі польових транзисторів можна зробити наступні висновки:

1. Верхня границя динамічного діапазону вхідних сигналів синхронного детектора з використанням аналогового перемножувача сигналів на основі польових транзисторів складає близько 700 мВ, що значно вище, ніж у аналогів, які виконані на основі біполярних транзисторів.

2. Рівень комбінаційних складових у вихідному сигналі синхронного детектора з використанням аналогового перемножувача сигналів на основі польових транзисторів значно нижчий, ніж у аналогів на основі біполярних транзисторів.

3. Аналоговий перемножувач сигналів на основі польових транзисторів доцільно виконати у вигляді інтегральної мікросхеми, що покращить його частотні та балансні властивості.

Список використаних джерел

1. Титце У. Полупроводниковая схемотехника: Справочное руководство. Пер. с нем. / У. Титце, К. Шенк. – М.: Мир, 1982. – 512 с.

2. Гринфилд Д. Транзисторы и линейные ИС: Руководство по анализу и расчету: Пер. с англ. / Д. Гринфилд – М.: Мир, 1992. – 560 с.
3. Аналоговые интегральные микросхемы для бытовой радиоаппаратуры: Справочник / Д. И. Атаев В. А. Болотников – М.: Изд. МЭИ, 1991. – 242 с.
4. Тимонтеев В. Н. Аналоговые перемножители сигналов в радиоэлектронной аппаратуре / Тимонтеев В. Н., Величко Л. М., Ткаченко В. А. – М.: Радио и связь, 1982. – 112 с.
5. Riewruja, V. Analog multiplier using operational amplifiers / Riewruja V., Rerkratn A. // Indian Journal of Pure & Applied Physics. – 2010. – Vol. 48. – P. 67–70.
6. Soo, D. C. A four-quadrant NMOS analog multiplier / D. C. Soo, R. G. Meyer // IEEE J. Solid-State Circuits, vol. SC-17, no. 6, December, 1982. – pp. 1174–1178.
7. Babanezhad, J. N. A 20-V four-quadrant CMOS analog multiplier / J. N. Babanezhad, G. C. Temes // IEEE J. Solid-State Circuits, vol. SC-20, no. 6, December, 1985. – pp. 1158–1168.
8. S. C. Qin, S. C. A ± 5 -V CMOS analog multiplier / S. C. Qin, R. L. Geiger // IEEE J. Solid-State Circuits, vol. SC-22, no. 6, December, 1987. – pp. 1143–1146.
9. Курков С. А. Математический анализ и экспериментальные исследования аналогового перемножителя сигналов на основе полевых транзисторов / С. А. Курков, П. И. Кулаков, С. В. Рябцев // Деп. в ГНТБ Украины 06.07.95. № 1724 – Ук. 95. УДКДР 621.316.7 Винниц. гос. техн. ун. – Винница. – 1995. – 11 с. – ил. – Библиогр.: 3 назв. – Рус.
10. Analog Devices / Analog Devices Inc. – Режим доступа: <http://www.analog.com/static/imported-files/tutorials/MT079.pdf>.
11. Analog Devices / Analog Devices Inc. – Режим доступа: <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD834.pdf>.
12. Digitron Semiconductors / Digitron Semiconductors. – Режим доступа: <http://www.digitroncorp.com/Documents/Datasheets/MFE120-MFE122.aspx?ext=.pdf>.
13. Kurytnik, I. P. Experimental Research of the Analog Multiplier based on Field-effect Transistors // I. P. Kurytnik, V. Kucheruk, P. Kulakov, O. Vasilevskyi // Przegląd elektrotechniczny, ISSN 0033-2097, R. 93 NR 11/2017, p. 190 – 193, DOI: 10.15199/48.2017.11.39.

Надійшла до редакції 25.10.2017

Рецензент: д.т.н., професор Осадчук О. В., Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

В. Ю. Кучерук, д.т.н., П. И. Кулаков, д.т.н., Д. В. Мостовой, А. П. Кулакова

СИНХРОННЫЙ ДЕТЕКТОР С РАСШИРЕННЫМ ДИНАМИЧЕСКИМ ДИАПАЗОНОМ ВХОДНЫХ СИГНАЛОВ

В работе рассмотрен вариант реализации синхронного детектора, в состав которого входит аналоговый перемножитель сигналов на основе полевых транзисторов. Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований предложенного синхронного детектора. Установлено, что верхняя граница динамического диапазона его входных сигналов значительно выше, чем у аналогов, выполненных на основе биполярных транзисторов. Уровень комбинационных составляющих в его выходном сигнале значительно ниже, чем у аналогов на основе биполярных транзисторов.

Ключевые слова: синхронный детектор, аналоговый перемножитель сигналов, динамический диапазон, детектор, полевой транзистор.

Kucheruk V. Y., DSc, Kulakov P. I., DSc, Mostovoy D. V., Kulakova A. P.

SYNCHRONOUS DETECTOR WITH ADVANCED DYNAMIC RANGE OF INPUT SIGNALS

In this article the synchronous detector, which includes an analog signals multiplier based on field-effect transistors, is considered. The results of theoretical and experimental studies of the proposed synchronous detector are presented. It is established that the upper limit of the dynamic range of its input signals is much higher than that of the analogs based on bipolar transistors. The level of combinational components in its output signal is much lower than that of analogs based on bipolar transistors.

Keywords: synchronous detector, analog multiplier signals, dynamic range, detector, field effect transistor.

H. D. Bratchenko, Dsc, H. H. Smaglyuk, D. V. Grygoriev, A. I. Plotnik*Odesa State Academy of Technical Regulation and Quality, c. Odesa***3D POSITION MEASUREMENT SIMULATION OF AIR TARGET'S SCATTERERS IN INTERFEROMETRIC ISAR**

If one introduces an additional antenna spaced apart in height in inverse synthetic aperture radar (ISAR) it is possible to carry out an interferometric measurement of the scatterers heights. The theoretical relation for estimating the accuracy of the scatterer height measurement is obtained. A simulation model for obtaining the three-dimensional radar images (RI) of air objects in interferometric ISAR was developed. The comparison of the scatterer height measurements accuracy by theoretical relation and the results of simulation at different SNRs is performed.

Keywords: ISAR, interferometric measurement, 3D image, signal-to-noise ratio, measurement accuracy.

Introduction. Capability of the air objects (targets) recognition is one of the requirements to future radars. This capability involves measuring of various radar characteristics of targets, the choice of informative and robust features, teaching the recognition device and subsequently making decisions about the affiliation of the objects being observed to a particular class (type).

The most informative are the signal signatures that are associated with the form of the target. Examples of such signatures are the high range resolution profile (HRRP) which is a one-dimensional target image, and a two-dimensional (2D) radar image (RI) that is obtained by processing of complex HRRP's consequence in the inverse synthetic aperture radar (ISAR) [1-4].

If reflections from target's bright points (BP) are located in space, then it is possible to obtain three-dimensional (3D) RI, which can improve the quality of the target recognition and study its reflectivity.

Analysis of recent research and publications

For today, the problem of 2D ISAR imaging with further measurement of the spatial coordinates of the separated BP is actively explored in the world. In order to solve the problem of 3D imaging of targets in ISAR, a considerable attention has been paid in recent years to the study of the possibility of applying a phase measurement method in the interferometric ISAR (InISAR) [5-13, 14-18]. To measure the height of the BT, this method requires at least two antennas spaced in height. The results of simulation and field experiments confirming the fundamental feasibility of measuring the height of BT which were previously separated by ISAR imaging technique are known [9-13].

In the classic scheme of the ISAR to obtain the high cross-range resolution the discrete Fourier transform (DFT) is used. Before performing the

Fourier transform, it is necessary to align HRRPs by range along the line of sight (LOS) and eliminate the random phase term in the reflected signal caused by the radial motion of the target and the instabilities of the transmitter and receiver [1, 9, 15, etc.].

An important task of InISAR is the correct implementation of phase measurements between peaks on complex 2D RI obtained by several channels with corresponding antennas. The relative shift of peaks leads to significant errors in the measurement of phase differences between two RI and, accordingly, the measuring of BT's spatial coordinates. In [5, 15], the possibility of a comprehensive account of BT's shift differences in different channels is investigated and bringing to the position of one reference channel to compensate for the differences in scatterers motion on different RI, or 3D focusing. In [16], simulation of the target motion effect is performed at the interferometric restoration of ISAR images in the realistic scenario of the marine target movement with complex dynamics. In [16], simulation of the target motion influence at the restoration of InISAR images is performed in the realistic scenario of the marine target movement with complex dynamics. However, the interpretation of ISAR images remains problematic for several reasons. One of them is the fact that the image plane can't be determined by the user, but depends on its own motion of the target and its position relative to the radar. In order to overcome the problem of interpretation of 2D ISAR images in [17] a method was presented for 3D reconstruction of moving objects. This method is based on the use of an InISAR with a system of antennas spaced in vertical and horizontal planes.

In [18] is offered processing of multichannel data fusion for ISAR imaging, which improves the performance of the height estimate unlike the case of independent processing.

When using a phase (interferometric) method, much attention is paid to the measurement accuracy of the harmonics phase difference. It is also necessary to take into account the possible impact of neighboring harmonics (scatterers) on one another. A separate issue is the choice of the method of spectral analysis to measure the phase difference in the case of the BP convergence.

However, the influence of various destabilizing factors on the measurement accuracy of the BP height remains insufficiently investigated. Among such factors, the most important are the influence of noise and interference and the influence of the spectral analysis procedure in the ISAR, depending on the location of the BT relative to other bright points. In ISAR, the most common method of spectral analysis is the DFT, which has computational advantages, especially in the application of fast algorithms for its implementation.

The aim of the article is developing the model for measuring the spatial position of bright points and obtaining 3D radar images of air targets, and assessing the accuracy of BP positions measurement under the influence of destabilizing factors.

Main part

The general case of the target irradiation by signals from two antennas is shown in Fig. 1, where H is the height of the target, h is antenna height (distance between two antennas), R_{11} and R_{21} is distance from the first and second antennas to the first BP along the line of sight.

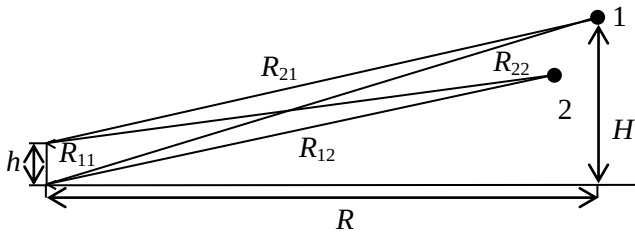


Figure 1 – Observation of two BP with two antennas

In this case the point's height can be expressed through the phase difference of the reflected signals

$$H = \frac{\lambda(\varphi_{11} - \varphi_{21})(R_{11} + R_{21})}{4\pi \cdot 2h} + \frac{h}{2} \quad (1)$$

where H is the height of BP, λ is the radar wavelength, φ_{11} and φ_{21} is the measured initial phases of the BP for the first and second RI. It is taken into account here that the phase difference of the received signals depends on the difference of ranges to the BP from the upper and lower antennas as

$$(\varphi_{11} - \varphi_{21}) = \frac{4\pi}{\lambda}(R_{11} - R_{21}).$$

When measuring the height of BP, this method requires measuring a very small phase difference (units of degrees). The accuracy of measurements of phase difference will be significantly influenced by the signal-to-noise ratio (SNR) of the received signal.

To find the mean squared errors (MSE) of the BP heights measurement, we introduce the vector of the current values of the measured quantities

$$\mathbf{B} = (\varphi_1 \quad \varphi_2 \quad R_1 \quad R_2)^T$$

and the absolute errors vector of measurements

$$\Delta \mathbf{B} = (\Delta \varphi_1 \quad \Delta \varphi_2 \quad \Delta R_1 \quad \Delta R_2)^T$$

in relation to their true values

$$\mathbf{B}^0 = (\varphi_1^0 \quad \varphi_2^0 \quad R_1^0 \quad R_2^0)^T.$$

In this case, the value of height can be represented as a function $H(\mathbf{B})$, which is decomposed into a Taylor series, with the preservation of only the first term of expansion as follows

$$H(\mathbf{B}) = H(\mathbf{B}^0 + \Delta \mathbf{B}) \approx H(\mathbf{B}^0) + \mathbf{J}_0(\mathbf{B} - \mathbf{B}^0) \quad (2)$$

where $\mathbf{J}_0$ is the Jacobi matrix at the point $\mathbf{B}^0$. In this case, it is a column vector of partial derivatives

$$\mathbf{J}_0 = \left(\frac{\partial H}{\partial \varphi_1} \quad \frac{\partial H}{\partial \varphi_2} \quad \frac{\partial H}{\partial R_1} \quad \frac{\partial H}{\partial R_2} \right)^T.$$

Elements of the vector $\mathbf{J}_0$ we find by the differentiation of expression (1).

Proceeding from the approximation (2), and denoting a probability distribution of the phases and ranges measurements $P(\varphi_1, \varphi_2, R_1, R_2)$, the estimate of H variance near the point $\mathbf{B}^0$ can be written as

$$\sigma_H^2 = \int_{-\infty}^{\infty} \Delta H^2 \cdot P(\varphi_1, \varphi_2, R_1, R_2) d(\varphi_1, \varphi_2, R_1, R_2).$$

In the assumption of the measurement errors independence as applied to values $\varphi_1, \varphi_2, R_1, R_2$, the obtained expression may be integrated. As a result of the integration, we obtain the variance of the height measurements H

$$\sigma_H^2 = \left(\frac{\sqrt{2} \cdot \lambda}{8 \cdot \pi \cdot h} \right)^2 \cdot \left(\sigma_\varphi^2 \cdot (R_2 + R_1)^2 + \sigma_R^2 \cdot (\varphi_2 - \varphi_1)^2 \right).$$

According to this expression, with a constant phase difference $\varphi_2 - \varphi_1 = 0,03638$, which corresponds to the expected value of the BP height #1 $H = 8$ м (for the following target conditions of observation), we construct the theoretical graph of the change in the standard deviation (SD) of the BP height from the signal-to-noise ratio (Fig. 2).

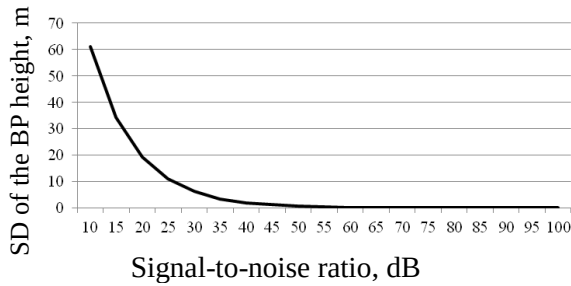


Figure 2 – Theoretical dependence of the standard deviation of the BP height of the SNR

When constructing this graph of SD, a measurement of the phase σ_φ was calculated as follows

$$\sigma_\varphi = 1/q$$

where q is the signal-to-noise ratio for the selected BP.

The SD of the range measurement to BP has the form

$$\sigma_R = \sqrt{\sigma_{Rp}^2 + \sigma_{Rd}^2}$$

where σ_{Rp} is the potential component of the error, which depends on the effective width of the signal spectrum Π_{eff} . When calculating we assumed that a chirp pulse with frequency deviation $\Delta f = 150$ МГц, $\Pi_{eff} = 1,8\Delta f$ is used

$$\sigma_{Rp} = \frac{c}{2 \cdot q \cdot \Pi_{eff}},$$

where c is a speed of light, σ_{Rd} is sampling error

$$\sigma_R = \frac{\Delta r}{2\sqrt{3}}, \text{ where } \Delta r \text{ is the discreteness of range}$$

samples with taking into account that the resolution of the signal about 1 m, was set to 0.5 m.

Simulation of BP heights measurements and estimation of their errors are also carried out. For simulation of BP height measurements, and BP place-

ment on the 3D target's image, the model [19] was supplemented by the block of the RI recovery unit and the block of the BP phase difference measurement on the RI and the calculation of their heights.

As the first simulation model, a cube was chosen, with a 16 m edge, which had two point scatterers on the front face, two on the back and one in the geometric center. The initial of the object to radar was 110 km, the height 8 km, the observation angle was 90°, the target flight speed was 750 km/h, and its observation time was 8 s. During the observation, 1024 complex HRRPs were taken; the antenna height was chosen 1.75 m. Two 2D RI were obtained using the ISAR with the following parameters: the wavelength is 3 cm; chirp probing pulse with rectangular envelop (pulsewidth was 13.65 μs, frequency deviation was 150 MHz); the signal-to-noise ratio was set to 100 dB; the signal-to-noise ratio was set to 100 dB; the signal processing included a matched filtration and additional using of the Hamming filter both in cross-range and in range. The radar images of the two antennas were restored using a fast Fourier transform to store the phase information of each BP. For a better choice of BP under conditions of destabilizing factors for the restoration of RI it is possible to use parametric methods, for example, the method of maximum entropy or the Capon method. Before obtaining of RI, the procedure for finding the dominant scatterer (the dominant scatterer algorithm (DSA) by Steinberg [20]) is used. Relatively to BP in the selected distance separation element, both RIs are focused. After this procedure, on this BP the perpendicular is directed from a point in the middle between two radar antennas.

In the simulation a scatterer in the geometric center of the cube was selected as the reference. In this case the results of BP heights measuring are obtained not in relation to the ground, but in relation to the focusing center of the image. Examples of two-dimensional RI and placement of BP in space based on phase measurements are presented in Fig. 3, a and Fig. 3, b, respectively.

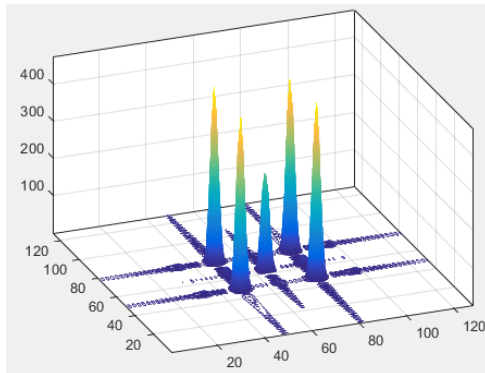
They are obtained with a signal-to-noise ratio of 100 dB per HRRP. When the target model approaching to the radar, the projections of the BP on the line of sight are converge, which may affect the accuracy of the measurement of phase differences (Fig. 3, b, c).

To estimate the position of scatterers, based on geometric transformations, we obtain the relations:

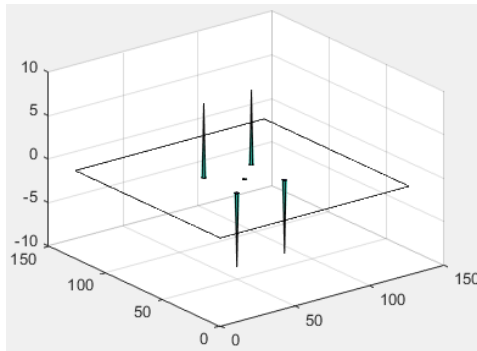
$$h_s = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot H \cdot \cos \left[\frac{\pi}{4} - \arctg \left(\frac{H}{R} \right) \right];$$

$$r = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot H \cdot \cos \left[\frac{\pi}{4} + \arctg \left(\frac{H}{R} \right) \right]$$

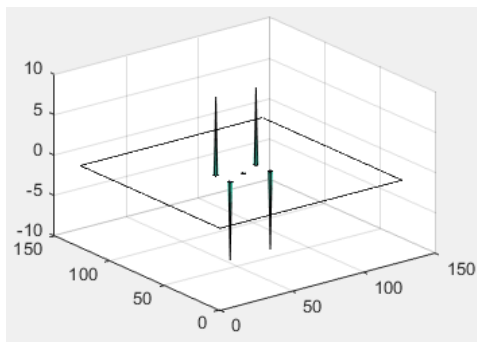
where h_s is the height of the BP over the plane perpendicular to the plane of sight (plane of sight includes the line of sight and the vertical line, r is the distance between the projection of the BP and the focusing center on the line of sight; H , R is the height of the target relative to the horizontal plane and the range to the target along this plane.



a)



b)



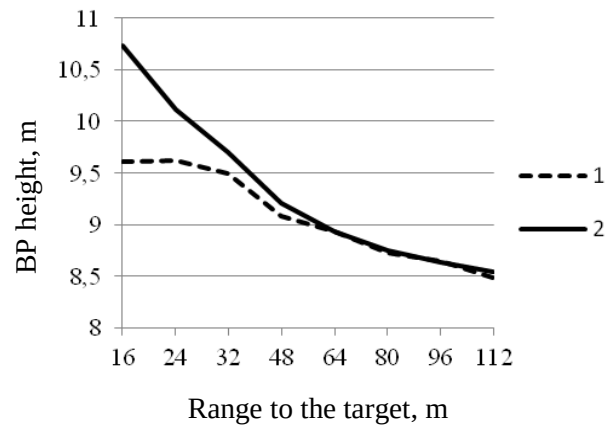
c)

Figure 3 – Focused two-dimensional image (a) and placement of BP in a range of 64 km (b) and 16 km (c) distances (scale points on the axes in the horizontal plane go through 0.5 m)

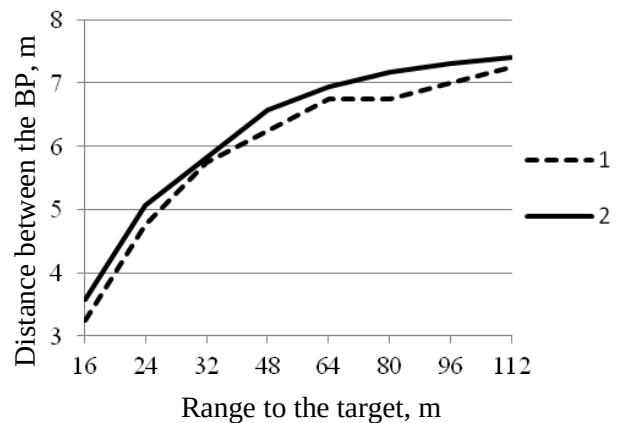
The verification of these formulas was carried out under the following conditions: the target flight height of 8 km, the range to the target varied from

16 to 112 km through every 16 km. The heights of the BP were measured by the phase method, the distance between the BP of cube was calculated according to the numbers of the resolved elements by range (Fig. 4).

From the graph on Fig. 4, a it is clear that when the target is matched to the locator, the results of measurements differ from those calculated. The reason for this may be the overlap of the side lobes of one BP with the main peak of the other with their convergence, which distorts the measurement results. Also we received dependences of the BP height deviation from the true value when the signal-to-noise ratio is changed from 10 dB to 100 dB for alone HRRP. When receiving RI, a DFT with a Hamming window and without it was used (Fig. 5).



a)



б)

Figure 4 – Dependences of the points height relative to the line of sight (a) and the distance between the BP in the direction of the line of sight (b) on the range to the radar (1 – theoretical calculations, 2 – the results of simulation of measurements)

In the absence of a reference point, instead of the DSA, it is possible to focus the image using a multiple scatterer algorithm (MSA) [1]. After focusing the image to correctly measure the heights of the BP, one of them must be selected as reference, and the height of other BP will be calculated relative to it. Verifying the measurement of BP heights using the MSA algorithm on the model described above showed similar results to the use of the DSA algorithm.

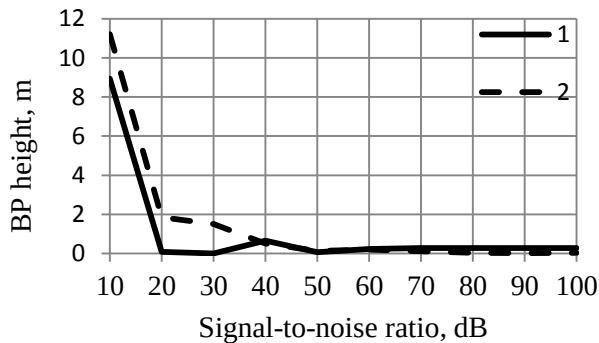


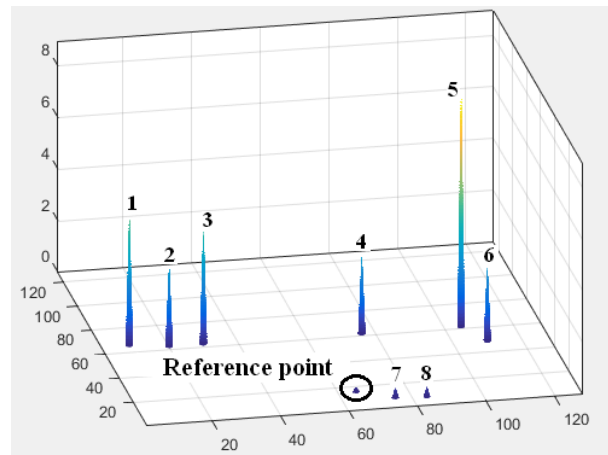
Figure 5 – The dependence of the difference between the BP height of the SNR based on the results of simulation and theoretical calculation: 1 – without Hemming filtration; 2 – with Hamming filtration

Radar Target Backscattering Simulation (RTBS) [21] was used to test the technique on models that were closer to real targets. It allows simulating reflected signals from several types of air targets in straight-line motion under the influence of atmospheric turbulences at irradiation of targets with wideband chip signal. As a research object, the B-52 bomber was selected.

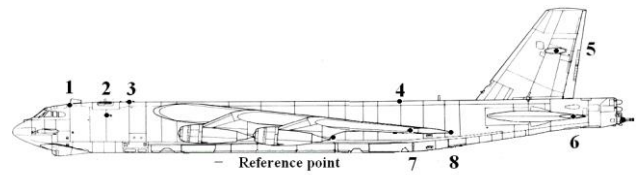
Its parameters of motion and monitoring parameters were chosen similar to the previous point model of the target, the range of observation was set to 100 km. To calculate the heights of the BP and the errors of their measurements, simulation of 10 measurements under unchanged conditions of observation was performed. The obtained BP heights are shown in Fig. 6, a. Fig. 6, b shows the approximate location of the BP in the aircraft drawing.

Based on the obtained heights, the mean values of the heights of the points were calculated, and the absolute errors were measured (Fig. 7).

Also, based on the obtained data, the graphs of the dependencies of the BP heights standard deviation were constructed, analysis of which showed their proximity to the theoretical dependencies (Fig. 8).



a)



b)

Figure 6 – The radar image of the B-52 (a) and the bright points in his drawing (b)

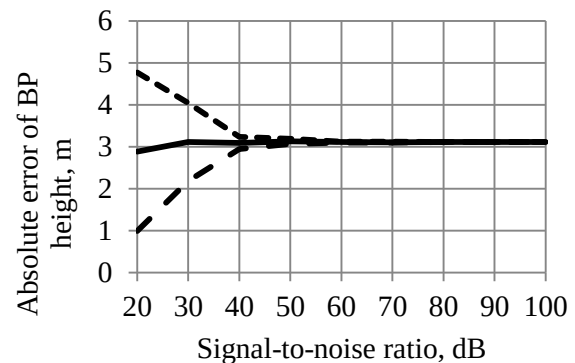


Figure 7 – Absolute error of BP # 2 height measurement in relative to its average value in dependence of the SNR per alone HRRP

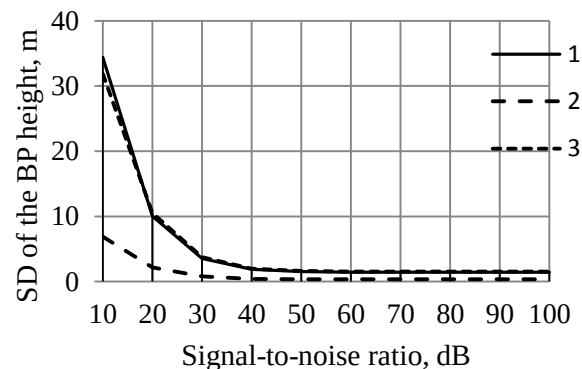


Figure 8 – Calculated values of the BP #1 – #3 height SD

Conclusions

The simulation model of interferometric ISAR are developed. The dependences of standard deviations and absolute errors of measurements of the BP height on the signal-to-noise ratio were obtained based on the obtained theoretically correlation and standard deviation the results of simulation. They are close. Sufficient accuracy of measurements by the phase method for BP on RI is achieved when SNR ratio for one HRRP is about 40 ... 50 dB.

References

1. Ширман Я. Д. Методы радиолокационного распознавания и их моделирование / Я. Д. Ширман, С. А. Горшков, С. П. Лещенко, Г. Д. Братченко, В. М. Орленко // Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники. – 1996. – № 11. – С. 3–63.
2. Орленко В. М. Метод отримання двовимірних радіолокаційних зображень літаків на основі часово-частотного перетворення Габора / В. М. Орленко // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2012. – № 2(8). – С. 73–78.
3. Братченко Г. Д. Математичне моделювання розпізнавання повітряних цілей по двовимірних радіозображеннях на бічних ракурсах / Г. Д. Братченко // Системи обробки інформації. – 2008. – Випуск 3(70). – С. 18–21.
4. Bratchenko H. D. Method for ISAR Imaging Objects with 3D Rotational Motion // H. D. Bratchenko, H. H. Smaglyuk, D. V. Grygoriev // Збірник наукових праць Одеської державної академії технічного регулювання та якості. – Одеса, 2016. – Випуск 2(9). – С. 71–78.
5. Liu Y., Song M., Wu K., Wang R., and Deng Y. High quality 3D InISAR imaging of maneuvering target based on combined processing approach, IEEE Geosci. Remote Sens. Lett., vol. 10, no. 5, Sep. 2013, pp. 1036–1040.
6. Ma C. Z., Yeo T. S., Tan H. S., Three-dimensional ISAR imaging using a two-dimensional sparse antenna array, IEEE Geosci. Remote Sens. Lett., vol. 5, no. 3, pp. 378–382, Jul. 2008.
7. Wang G., Xia X., Chen V. C. Three-dimensional ISAR imaging of maneuvering target using three receivers, IEEE Trans. Image Process., vol. 10, no. 3, Mar. 2001, pp. 436–447.
8. Xu X., Narayanan R. M. Three dimensional interferometric ISAR imaging for target scattering diagnosis and modeling, IEEE Trans. Image Process., vol. 10, no. 7, Jul. 2001, pp. 1094–1102.
9. Salvetti, F. (2015). Multi-channel techniques for 3D ISAR (Doctoral thesis). University of Adelaide, School of Electrical and Electronic Engineering, Adelaide, South Australia.
10. Soumekh M. Automatic Aircraft Landing Using Interferometric Inverse Synthetic Aperture Radar Imaging, IEEE Trans. Image Process., September 1996, 5, (9), pp. 1335–1345.
11. Xiaojian Xu, Ram M. Narayanan, Three-Dimensional Interferometric ISAR Imaging for Target Scattering Diagnosis and Modeling, IEEE Trans. on Image Process., July 2001, 10, (7), pp. 1094–1102.
12. Liu C. L., Gao X. Z., Jiang W. D., Li X.. Interferometric ISAR Three-dimensional Imaging using one Antenna, Progress In Electromagnetics Research M., 2011, 21, pp. 33–45.
13. Felguera-Martín D., González-Partida J.-T., Almorox-González P., Burgos-García M., Dorta-Naranjo B.-P. Interferometric inverse synthetic aperture radar experiment using an interferometric linear frequency modulated continuous wave millimetre-wave radar, The Institution of Engineering and Technology, 2011, pp. 39–47.
14. Li J., Wu R., Chen V. C. Robust autofocus algorithm for ISAR imaging of moving targets, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, Jul 2001, 37, (3), pp. 1056–1069.
15. Zhang Q., Yeo T. S., Du G., Zhang S. Estimation of Three-dimensional Motion Parameters in Interferometric ISAR Imaging, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Feb. 2004, 42, (2), pp. 292–300.
16. Felguera-Martin D., Gonzalez-Partida J.-T., and Burgos-Garcia M. Interferometric ISAR Imaging on Maritime Target Applications: Simulation of Realistic Targets and Dynamics, Progress In Electromagnetics Research, 2012, 132, pp. 571–586.
17. Martorella M., Stagliano D., Salvetti F., Battisti N. 3D Interferometric ISAR Imaging of Noncooperative Targets, IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst., 2014, 50, pp. 3102–3114.
18. Bacci A., Stagliano D., Giusti E., Tomei S., Berizzi F., Martorella M. 3D Interferometric ISAR Via Compressive Sensing, European Radar Conference (EuRAD), 8-10 Oct. 2014, pp. 233–236.
19. Братченко Г. Д. Моделювання впливу дестабілізуючих факторів на форму дальнісних портретів в радіолокаційних системах з антенними решітками / Г. Д. Братченко, Г. Г. Смаглюк // Збірник наукових праць Одеської державної академії технічного регулювання та якості. – Випуск 1(6). – 2015. – С. 119–124.

20. Стайнберг Б. Д. Формирование радиолокационного изображения самолета в диапазоне СВЧ / Б. Д. Стайнберг // ТИИЭР. – 1988. – т. 76, № 12. – С. 26–46.

Artech House, 2002. – 71 p.

Надійшла до редакції 08.11.2017

21. Radar Target Backscattering Simulation Software and User's Manual / S. A. Gorshkov, S. P. Leshchenko, V. M. Orlenko, S. Yu Sedyshev, Y. D. Shirman – Boston-London:

Рецензент: д.т.н., доц. Банзак О. В., Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса.

Г. Д. Братченко, д.т.н., Г. Г. Смаглюк, Д. В. Григор'єв, А. І. Плотнік

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВИМІРЮВАННЯ ПРОСТОРОВОГО ПОЛОЖЕННЯ БЛИСКУЧИХ ТОЧОК ПОВІТРЯНОЇ ЦІЛІ ФАЗОВИМ МЕТОДОМ В РЛС З ІСА

В РЛС з інверсним синтезуванням апертури (ІСА) при введенні додаткової антени рознесеної за висотою існує принципова можливість застосування фазового метода для вимірювань висоти блискучих точок (БТ). Отримане теоретичне співвідношення для оцінювання точності вимірювань висоти БТ. Розроблена імітаційна модель відновлення тривимірних радіозображень (РЗ) повітряних об'єктів в РЛС з ІСА із застосуванням фазового метода вимірювань. Виконане порівняння точності вимірювань висоти БТ за теоретичним співвідношенням та за результатами імітаційного моделювання при різних відношеннях сигнал-шум.

Ключові слова: РЛС з інверсним синтезуванням апертури, фазовий (інтерферометричний) метод вимірювань, тривимірне радіозображення, відношення сигнал-шум, точність вимірювань.

Г. Д. Братченко, д.т.н., Г. Г. Смаглюк, Д. В. Григорьев, А. И. Плотник

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕРЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПОЛОЖЕНИЯ БЛЕСТЯЩИХ ТОЧЕК ВОЗДУШНОЙ ЦЕЛИ ФАЗОВЫМ МЕТОДОМ В РЛС С ИСА

В РЛС с инверсным синтезированием апертуры при введении дополнительной антенны разнесенной по высоте существует принципиальная возможность применения фазового метода для измерений высоты блестящих точек (БТ). Получено теоретическое соотношение для оценки точности измерений высоты БТ. Разработана имитационная модель восстановления трехмерных радиоизображений воздушных объектов в РЛС с ИСА и применении фазового метода измерений. Выполнено сравнение точности измерений высоты БТ по теоретическим соотношением и по результатам имитационного моделирования при различных отношениях сигнал-шум.

Ключевые слова: РЛС с инверсным синтезированием апертуры, фазовый (интерферометрический) метод измерений, трехмерное радиоизображение, отношение сигнал-шум, точность измерений.

ЗАДАЧА РОЗРОБКИ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТУ ТЕХНІЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ

Розглядається постановка задачі на розробку математичної моделі технічного діагностування автоматизованої (інформаційної) системи. Наукова новизна полягає у використанні запропонованого понятійного апарату моделі «мережа однотипних програмно-апаратних засобів» для формалізації ключових логічних залежностей функцій об'єкту.

Ключові слова: модель об'єкта технічного діагностування, мережа однотипних програмно-апаратних засобів, автоматизована (інформаційна) система.

Вступ

Аналіз стану практики вирішення задач технічної діагностики на сьогодні свідчить про відсутність методології оцінки технічного стану складних програмно-апаратних систем (об'єктів) які відносяться до класу автоматизованих (інформаційних) систем (АІС). Особливої актуальності це питання набуває у військовій справі. До названого класу систем слід віднести:

- інформаційні системи пунктів управління, установ, підрозділів;
- програмно-апаратні комплекси розвідки і ціле вказування;
- інформаційні системи управління телекомунікаційною мережею і т. ін.

Ефективна система оцінка технічного стану є визначальною умовою для забезпечення та організації процесів відновлення працездатності, директивних значень комплексних показників надійності (готовності, оперативної готовності, технічного використання, простою) АІС, у тому числі, спеціального призначення.

Аналіз останніх публікацій

Згідно [1], засоби і об'єкти контролю (технічного діагностування) утворюють систему діагностування, яка реалізує встановлений (обраний) алгоритм діагностування (тестовий або функціональний). Розробка алгоритму діагностування обумовлює наявність математичної моделі об'єкту контролю (математичної моделі станів об'єкту технічного діагностування), яка створюється на основі її функціональної схеми та є методологічним базисом організації його діагностичного забезпечення.

На підставі [2-5] можна стверджувати, що основною рисою програмно-апаратної системи (класу АІС) слід вважати наявність функцій обчислювальної складової типових елементів, які входять до визначеного об'єкту контролю. Синтез математичної моделі об'єкту контролю потребує введення нового понятійно-формального апарату (внаслідок непридатності існуючих ме-

тодологічних підходів) для врахування у повній мірі характерних рис предметної галузі.

Загальна організація та особливості діагностичного забезпечення програмно-апаратних засобів систем спеціального призначення визначається внутрішніми нормативно-правовими актами, конструкторською та експлуатаційною документацією, як правило, закритого характеру. При цьому ключовими аспектами діагностичного забезпечення засобів зв'язку та автоматизації управління слід вважати:

- виконання робіт з оцінки (контролю) технічного стану зразка покладається на відповідальних за його експлуатацію посадових осіб (згідно обов'язків з організації і керівництва технічним забезпеченням);
- оцінка технічного стану здійснюється під час планово-попереджувальних заходів на об'єкті контролю (відповідно до вимог діючої системи технічного обслуговування і ремонту (ТОіР));
- корегування послідовностей операцій за планами виконання заходів ТОіР (у відповідності фактичному технічному стану зразку) має значну складову суб'єктивності відповідальних посадових осіб;
- тактико-технічні характеристики існуючих систем діагностування сукупності засобів з яких утворена програмно-апаратна система спеціального призначення (класу АІС) не дозволяють об'єктивно оцінити її фактичний технічний стан.

Таким чином, необхідна розробка методології (діагностичної моделі, методів, методик) діагностичного забезпечення програмно-апаратної системи спеціального призначення (класу АІС) з елементами підтримки прийняття рішень посадової особи. Наявність такої методології дозволить якісно та об'єктивно, за короткий (встановлений) час оцінити фактичний технічний стан об'єкту контролю, а в разі необхідності – сформувати план відновлення працездатності (усу-

нення дефектів). Розробка математичної моделі об'єкту контролю (технічного діагностування) повинна здійснюватися з урахуванням наступних тенденцій:

- типізація (стандартизація, уніфікація) програмного (протоколів, функцій), апаратного (інтерфейсів, каналів) забезпечення інформаційної взаємодії елементів автоматизованих (інформаційних) систем;
- інтегративна залежність працездатності пристроїв апаратного забезпечення, функцій обчислювальної складової програмно-апаратних засобів;
- врахування топології зв'язків однорідних структур значної розмірності;
- необхідність переходу до сучасних видів системи ТОіР на основі визначення фактичного технічного стану.

Постановка завдання

Виходячи з викладеного, має місце наступна науково-технічна проблема: існуюче діагностичне забезпечення засобів зв'язку та автоматизації непридатне для формування об'єктивного рішення відповідальною особою в процесі оцінювання технічного стану складного технічного об'єкту класу АІС та подальшого вироблення плану відновлення працездатності (усунення дефектів) в умовах часових обмежень планових заходів (військової) системи ТОіР.

Вирішення проблеми полягає у необхідності розробки методології діагностичного забезпечення програмно-апаратної системи спеціального призначення (класу АІС) на основі практичної реалізації концепції АА СД з елементами підтримки прийняття рішень посадових осіб (подальшому практичному розвитку концепції автономної автоматизованої системи діагностування (АА СД) з елементами підтримки прийняття рішень для вироблення плану відновлення працездатності (усунення дефектів) програмно-

апаратної системи спеціального призначення (класу АІС) як об'єкту контролю (технічного діагностування).

Метою статті є постановка задачі на розробку математичної моделі технічного діагностування програмно-апаратної системи (класу АІС).

Основна частина

В якості термінологічного (понятійного) базису технічного діагностування програмно-апаратної системи (класу АІС) пропонується логічна модель «мережа однотипних програмно-апаратних засобів». Вона дозволяє ввести ключові аспекти науково-методологічного апарату діагностичного забезпечення абстрагуючись від технологічних особливостей, але з урахуванням інтегративної залежності компонентів (пристроїв) апаратного забезпечення, обчислювальної складової типового програмно-апаратного засобу системи, а саме:

– «мережа» є найбільш придатним модельним узагальненням взаємно-однозначного відображення структури відношень між формальними об'єктами моделі поданої у термінах понятійного апарату теорії множин, теорії графів (граф, гіперграф, мережа, вузол мережі, ребро, дуга, вага дуги, вага вузла, інцидентність, суміжність, ланцюг, шлях, маршрут, зв'язність, ступінь вузла і т. ін.), математичної логіки, теорії моделей [6-8];

– припущення про «однотипність» прийнято на підставі аналізу об'єктивних сучасних тенденцій практичної реалізації принципів архітектурної побудови (модульність, багаторівневість, уніфікація) програмного, апаратного забезпечення, обчислювальної складової функціонування програмно-апаратних засобів.

Розглянемо роль та місце функціональних складових типового програмно-апаратного засобу (рис. 1).

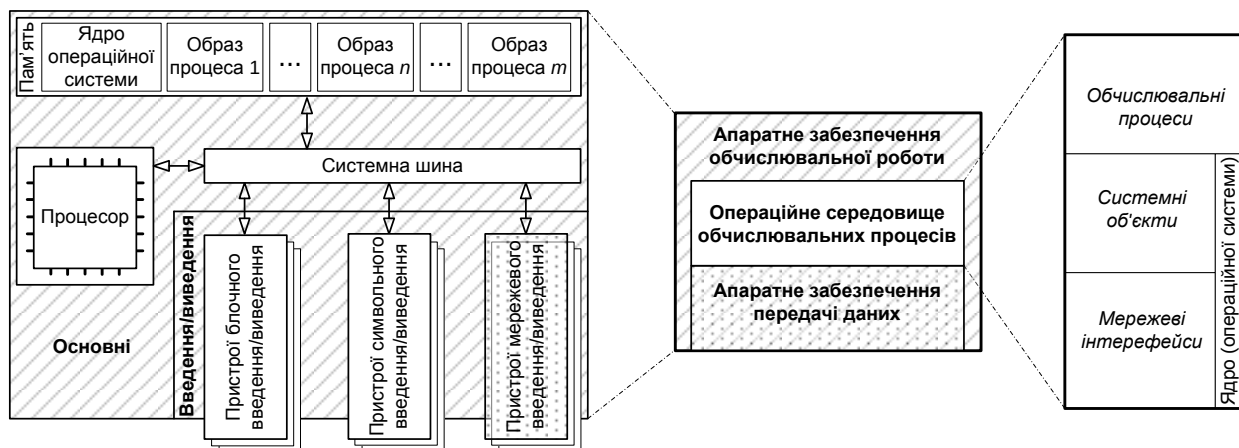


Рисунок 1 – Ілюстрація «однотипності» програмно-апаратних засобів

На рисунку позначено:

Апаратне забезпечення обчислювальної роботи – типовий набір апаратних компонентів для організації і забезпечення виконання одиниць обчислювальної роботи програмно-апаратного засобу: процесор, пам'ять, системна шина, система переривань, таймер і т. ін.

Апаратне забезпечення передачі даних – пристрої мережевого введення/виведення (організації і забезпечення каналів передачі даних через фізичне середовище).

Операційне середовище обчислювальних процесів (далі також – ОСП) – сукупність обчислювальних процесів, які виконуються під управлінням ядра (операційної системи) – обчислювальна складова функціонування програмно-апаратного засобу. *Ядро* (операційної системи) – основний компонент системного програмного забезпечення, який, у ході свого нормального функціонування, забезпечує виконання функцій організації обчислювальної роботи програмно-апаратного засобу.

Мережа однотипних програмно-апаратних засобів (далі також – МЗ) – логічна модель заснована на взаємно-однозначному відображенні структури алгоритмічної, інформаційної, фізичної зв'язності формальних об'єктів операційного середовища обчислювальних процесів множини програмно-апаратних засобів технічного об'єкту на множину вузлів гіперграфу та відповідних типів відношень між ними:

$$M = \langle V, W, D, L \rangle, \quad (1)$$

де $V = \{v_i\}$ – множина вузлів МЗ, W, D, L – предикатні символи бінарних відношень зв'язності формальних об'єктів ОСП вузлів МЗ.

Операційне середовище обчислювальних процесів i -го вузла МЗ (далі також – ОСП) – семантична мережа відношень між обчислювальними процесами, системними об'єктами та мережевими інтерфейсами (операційного середовища обчислювальних процесів програмно-апаратного засобу) i -го вузла МЗ, $i = \overline{1, |V|}$:

$$v_i = \langle A^i, O^i, G^i, X, Y, Z \rangle, \quad (2)$$

де $A^i = \{a_{nb}^i\}$ – множина обчислювальних процесів i -го вузла МЗ, $O^i = \{o_{eu}^i\}$ – множина системних об'єктів i -го вузла МЗ, $G^i = \{g_{hk}^i\}$ – множина мережеских інтерфейсів i -го вузла МЗ,

$n = \overline{1, |A^i|}$, $e = \overline{1, |O^i|}$, $h = \overline{1, |G^i|}$, $b \in B$, $u \in U$, $k \in K$, B, U, K – множина типів відповідних класів формальних об'єктів, X, Y, Z – предикатні символи бінарних відношень зв'язності формальних об'єктів ОСП i -го вузла МЗ.

Обчислювальний процес – одиниця обчислювальної роботи, суб'єкт доступу до системних об'єктів та оперування ними.

Системний об'єкт – логічне представлення ядром (операційної системи) джерела/адресата в операціях читання/запису даних за межами адресного простору пам'яті виділеного обчислювальному процесу.

Мережеский інтерфейс – системний об'єкт ядра (операційної системи) який забезпечує функціональність мережевого, каналного, фізичного рівня еталонної моделі взаємодії відкритих систем (від англ. Open System Interconnection, OSI) щодо своєчасного і безпомилкового транспортування інформаційних потоків між системними об'єктами ОСП програмно-апаратних засобів.

На рис. 2, а представлено ілюстрацію системи бінарних відношень (табл. 1) зв'язності формальних об'єктів ОСП вузлів МЗ, а також (рис. 2, б) – r -го, j -го при посередництві i -го вузла МЗ щодо забезпечення фізичної зв'язності $v_i, v_j, v_r \in V$, $i, j, r = \overline{1, |V|}$, $i \neq j \neq r$.

Фізична зв'язність (рис. 2, б) мережеских інтерфейсів r -го, j -го вузла МЗ при посередництві i -го описується предикатом $L_{rj}(g_{hk}^r, g_{hk}^j)$ висловлювання про істинність/хибність композиції бінарних відношень

$$\rho(L_{rj}) = \rho(L_{ri}) \circ \rho(Z_{rj}^i) \circ \rho(L_{ij}),$$

де $\rho(L_{ri}) \subseteq G^r \times G_r^i$, $\rho(Z_{rj}^i) \subseteq G_r^i \times G_j^i$, $\rho(L_{ij}) \subseteq G^i \times G^j$ (відповідних впорядкованих пар результатів декартового добутку), $G^i = G_r^i \cup G_j^i$, $G_r^i \cap G_j^i = \emptyset$.

Відображення бінарних відношень зв'язності формальних об'єктів ОСП вузлів МЗ (табл. 1), які мають місце (дійсних) у деякий момент спостереження визначеного об'єкта контролю (технічного діагностування), досягається працездатністю і правильним функціонуванням відповідного набору функцій обчислювальної складової задіяних у відношеннях програмно-апаратних засобів системи.

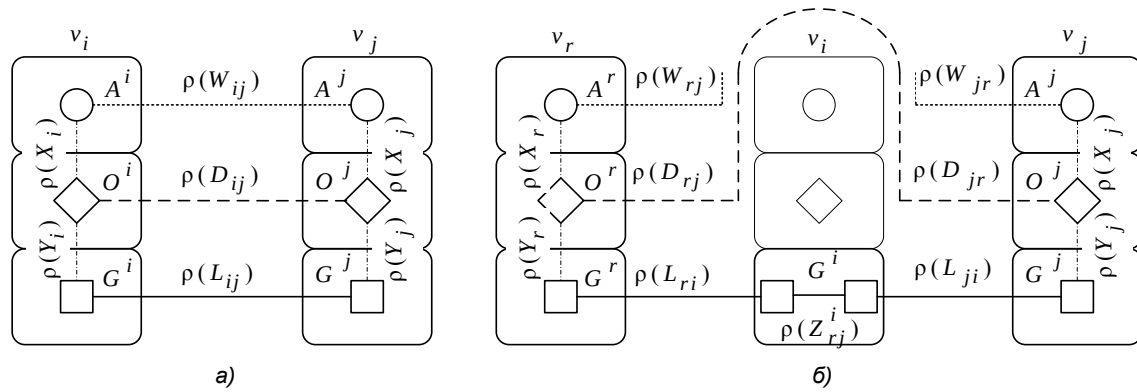


Рисунок 2 – Фрагменти моделі «мережа однотипних програмно-апаратних засобів»

Таблиця 1 – Бінарні відношення зв'язності формальних об'єктів i -го вузла моделі «мережа однотипних програмно-апаратних засобів»

Тип зв'язності	Відношення	Предикат існування відношення
Алгоритмічна (взаємодія обчислювальних процесів у контексті виконання алгоритмів функцій автоматизованої обробки інформації прикладних задач)	$\rho(W) \subseteq A^i \times A^j$	$W(a_{nb}^i, a_{nb}^j)$
Операційна (доступ обчислювального процесу до системного об'єкту та оперування ним)	$\rho(X) \subseteq A^i \times O^i$	$X(a_{nb}^i, o_{eu}^i)$
Інформаційна (своєчасне та безпомилкове транспортування інформаційного потоку між системними об'єктами)	$\rho(D) \subseteq O^i \times O^j$	$D(o_{eu}^i, o_{eu}^j)$
Системна (відображення операцій обчислювального процесу з системним об'єктом на операції прийому/передачі даних через мережевий інтерфейс)	$\rho(Y) \subseteq O^i \times G^i$	$Y(o_{eu}^i, g_{hk}^i)$
Фізична (своєчасне та безпомилкова передача даних через фізичне середовище між мережевими інтерфейсами різних вузлів)	$\rho(L) \subseteq G^i \times G^j$	$L(g_{hk}^i, g_{hk}^j)$
Трансляційна (своєчасне та безпомилкова передача даних між мережевими інтерфейсами вузла)	$\rho(Z) \subseteq G_r^i \times G_j^i$	$Z(g_{hk}^{ir}, g_{hk}^{ij})$

Згідно [8], функція може розглядатися як відображення деякої існуючої (дійсної) пари декартового добутку бінарного відношення. Впорядкована множина результуючих пар декартового добутку бінарного відношення зв'язності ОСП вузлів МЗ певного типу утворює множину функцій обчислювальної складової відповідного класу типового програмно-апаратного засобу системи як об'єкту контролю (технічного діагностування). На підставі аналізу було визначено і пропонується до розгляду шість класів функцій обчислювальної складової програмно-апаратного засобу призначених для забезпечення відношень формальних об'єктів ОСП вузлів МЗ (табл. 2).

Множина F_i^w утворюється усіма функціями автоматизованої обробки інформації (прикладних задач) працюючими у складі обчислювальних процесів A^i ОСП i -го програмно-апаратного засобу, алгоритми виконання яких передбачають транспортування інформаційних

потоків (у контексті алгоритмічної зв'язності обчислювальних процесів). Транспортування інформаційних потоків (між ізольованими адресними просторами пам'яті обчислювальних процесів) є однією з обов'язкових функціональних послуг передбачених розробниками ядер сучасних операційних систем. Основною формою логічного подання функціональної послуги ядра (операційної системи) є системний об'єкт.

Виконання утворених множин функцій ядра (операційної системи) ОСП i -го програмно-апаратного засобу (табл. 2) необхідно для забезпечення транспортування інформаційних потоків автоматизованої обробки інформації (прикладних задач) обчислювальних процесів $a_{nb}^i \in A^i$ (рис. 3):

– незалежні примірники функцій (процедур) виконання системних викликів доступу обчислювальних процесів $a_{nb}^i \in A^i$ до (асоційованих з функціональною послугою) системних об'єктів $o_{eu}^i \in O^i$ утворюють F_i^x ;

– незалежні примірники функцій (процедур) управління виконанням елементарних операцій (одержання функціональної послуги) обчислювальними процесами $a_{nb}^i \in A^i$ стосовно (асо-

ційованих з функціональною послугою) системних об'єктів $o_{eu}^i \in O^i$ утворюють F_i^D .

Таблиця 2 – Класи функцій обчислювальної складової i -го програмно-апаратного засобу об'єкту контролю (технічного діагностування) в інтерпретації відношень формальних об'єктів моделі «мережа однотипних програмно-апаратних засобів»

Клас функцій	Місце реалізації у багатопаровій архітектурі ОСП	Множина класу функцій, утворена дійними відношеннями зв'язності	Предикат твердження про дійсність функції
Автоматизованої обробки інформації	Обчислювальний процес	$F_i^W = \{f_{ijw} : a_{nb}^i \xrightarrow{w} a_{nb}^j\}$	$W(f_{ijw})$
Доступу обчислювальних процесів до системних об'єктів та оперування ними	Інтерфейс системних викликів	$F_i^X = \{f_{ix} : a_{nb}^i \xrightarrow{x} o_{eu}^i\}$	$X(f_{ix})$
Транспортування інформаційного потоку між системними об'єктами	Менеджери ресурсів	$F_i^D = \{f_{ijd} : o_{eu}^i \xrightarrow{d} o_{eu}^j\}$	$D(f_{ijd})$
Відображення операцій з системними об'єктами на операції передачі/прийому даних через мережеві інтерфейси	Процедурно-орієнтована частина примітивів ядра	$F_i^Y = \{f_{iy} : o_{eu}^i \xrightarrow{y} g_{hk}^i\}$	$Y(f_{iy})$
Передачі/прийому даних через мережеві інтерфейси	Машинно-орієнтована частина примітивів ядра	$F_i^L = \{f_{ijl} : g_{hk}^i \xrightarrow{l} g_{hk}^j\}$	$L(f_{ijl})$
Трансляції даних між мережевими інтерфейсами	Процедурно-орієнтована частина примітивів ядра	$F_i^Z = \{f_{irjz} : g_{hk}^{ir} \xrightarrow{z} g_{hk}^{ij}\}$	$Z(f_{irjz})$

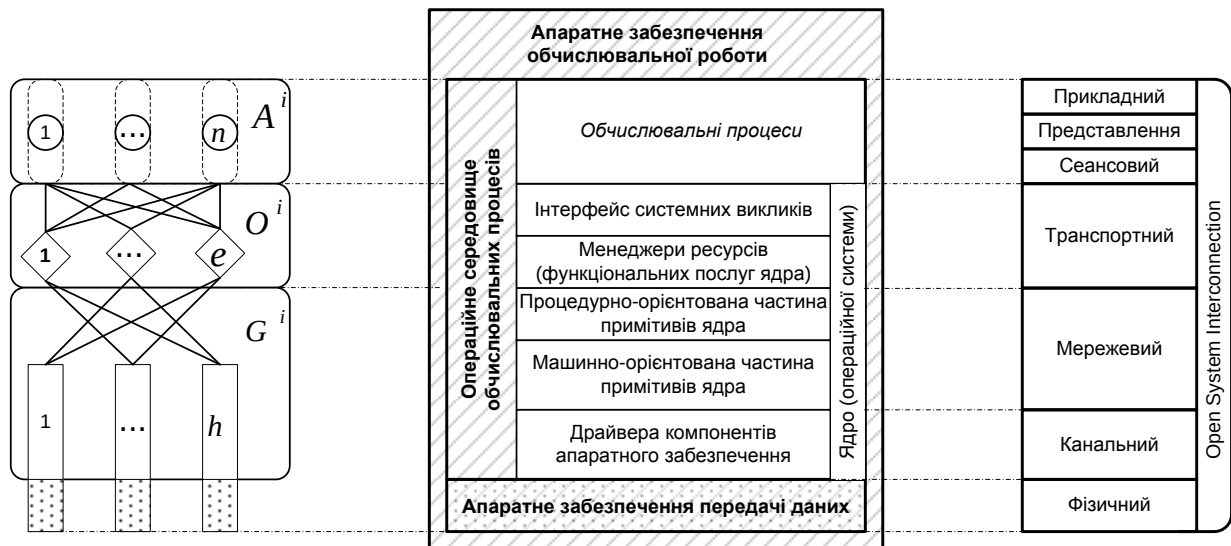


Рисунок 3 – Структуризація операційного середовища обчислювальних процесів

Інтерфейс системних викликів – сукупність функцій (процедур) доступу обчислювальних процесів до системних об'єктів (функціональних послуг ядра) та оперування ними (у формі читання/запису/модифікації даних, атрибутів системних об'єктів).

Менеджери ресурсів – сукупність функцій (процедур) надання функціональних послуг ядра (операційної системи) у формі управління виконанням елементарних операцій обчислювальних процесів (примітивів) щодо системних об'єктів (читання/запис/модифікація даних, атрибутів

системних об'єктів).

Примітиви ядра – сукупність функцій (процедур) забезпечення виконання елементарних операцій (примітивів) надання обчислювальним процесам функціональних послуг ядра (операційної системи) у формі оперування відповідними системними об'єктами (читання/запис/модифікація даних, атрибутів системних об'єктів). В процедурно-орієнтованій частині (примітивів ядра) зосереджені функції (процедури) поступового наближення (відображення) логічної інтерпретації оперування системними об'єктами до машинно-орієнтованих мікропрограм взаємодії з драйверами компонентів апаратного забезпечення.

Виконання утворених множин функцій примітивів ядра (операційної системи) ОСП i -го програмно-апаратного засобу (табл. 2), необхідно для забезпечення елементарних операцій обчислювальних процесів $a_{nb}^i \in A^i$ стосовно системних об'єктів $o_{eu}^i \in O^i$ при транспортуванні інформаційних потоків (у контексті алгоритмічної зв'язності) через мережеві інтерфейси $g_{hk}^i \in G^i$ каналів передачі даних, а також при транзитній передачі даних (трансляція) між ними:

– незалежні, процедурно-орієнтовані примірники виконання функцій (процедур) відображення операцій обчислювальних процесів $a_{nb}^i \in A^i$ стосовно системних об'єктів $o_{eu}^i \in O^i$ на

операції передачі/прийому даних через мережеві інтерфейси $g_{hk}^i \in G^i$ каналів передачі даних утворюють F_i^V ;

– незалежні, машино-орієнтовані примірники виконання функцій (процедур) управління драйверами пристроїв мережевого введення/виведення (передачі даних через фізичне середовище) для реалізації операцій передачі/прийому даних через мережеві інтерфейси $g_{hk}^i \in G^i$ (каналів передачі даних) утворюють F_i^L ;

– незалежні, процедурно-орієнтовані примірники виконання функцій (процедур) трансляції даних (множини інформаційних потоків) між мережевими інтерфейсами $g_{hk}^i \in G^i$ каналів передачі даних утворюють F_i^Z .

На рис. 4 представлено роль та місце функцій обчислювальної складової на прикладі алгоритмічної, інформаційної, фізичної зв'язності i -го, j -го, r -го типового програмно-апаратного засобу системи (класу АІС), подану у термінах понятійного апарату забезпечення дійсних бінарних відношень формальних об'єктів (табл. 1, 2) ОСП вузлів МЗ, $v_i, v_j, v_r \in V$, $i, j, r = \overline{1, |V|}$, $i \neq j \neq r$.

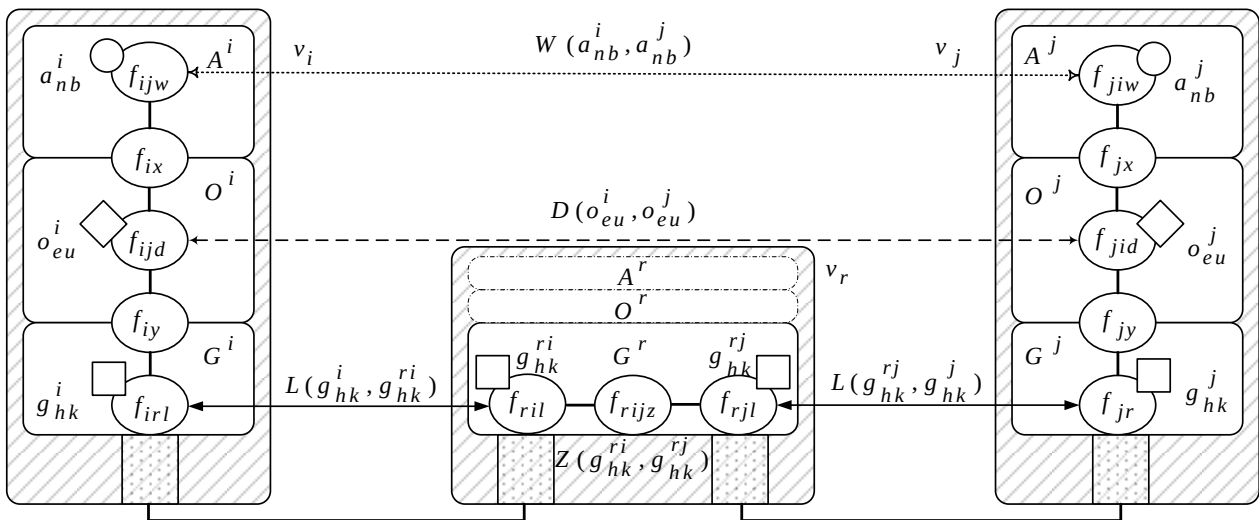


Рисунок 4 – Функціональна структура об'єкту контролю (технічного діагностування)

Так, алгоритмічна зв'язність $a_{nb}^i \in A^i$, $a_{nb}^j \in A^j$ логічно еквівалентна дійсності (необхідність існування) функцій $f_{ijw} \in F_i^W$, $f_{jiw} \in F_j^W$ і може бути описана формулою:

$$W(a_{nb}^i, a_{nb}^j) \equiv [W(f_{ijw}) \wedge W(f_{jiw})], w = \overline{1, |F_*^W|}. \quad (3)$$

За аналогією, інформаційна зв'язність $o_{eu}^i \in O^i$, $o_{eu}^j \in O^j$ логічно еквівалентна дійсності функцій $f_{ijd} \in F_i^D$, $f_{jid} \in F_j^D$, а її формальний опис логічної формули

$$D(o_{eu}^i, o_{eu}^j) \equiv [D(f_{ijd}) \wedge D(f_{jid})], d = 1, \overline{|F_*^D|}. (4)$$

Фізична зв'язність i -го, j -го програмно-апаратного засобу є логічним висловлюванням еквівалентності

$$L(g_{hk}^i, g_{hk}^j) \equiv L(g_{hk}^i, g_{hk}^{ri}) \wedge Z(g_{hk}^{ri}, g_{hk}^{rj}) \wedge L(g_{hk}^{rj}, g_{hk}^j), (5)$$

$$\text{де } L(g_{hk}^i, g_{hk}^{ri}) \equiv [L(f_{irj}) \wedge L(f_{ril})],$$

$$L(g_{hk}^{rj}, g_{hk}^j) \equiv [L(f_{rjl}) \wedge L(f_{jrl})] - \text{формули}$$

еквівалентності фізичної зв'язності мережових інтерфейсів i -го, j -го при посередництві r -го програмно-апаратного засобу

$$Z(g_{hk}^{ri}, g_{hk}^{rj}) \equiv [L(f_{ril}) \wedge L(f_{rjl}) \wedge L(f_{jrl})], l = 1, \overline{|F_*^L|}.$$

Виходячи з викладеного, задача на розробку математичної моделі програмно-апаратної системи спеціального призначення (класу АІС) як об'єкту контролю (технічного діагностування) виглядає наступним чином.

Дано: модель «мережа однотипних програмно-апаратних засобів» (1 – 2), система бінарних відношень зв'язності формальних об'єктів операційного середовища обчислювальних процесів (табл. 1), класи функцій (табл. 2) залежності (3 – 5).

Необхідно: розробити математичну модель об'єкта контролю (технічного діагностування) для визначення фактичного технічного стану програмно-апаратної системи спеціального призначення (класу АІС) на основі оцінки значень діагностичного параметра як реакції функцій обчислювальної складової програмно-апаратного засобу на тестові послідовності. Діагностичний параметр повинен бути вимірюваним, інваріантним, інформативним для оцінювання фактичного та прогнозного технічного стану. Математична модель об'єкта контролю (технічного діагностування) у контексті розробки діагностичного забезпечення з елементами підтримки прийняття рішень повинна бути придатна для моделювання варіантів плану відновлення працездатності (усунення дефектів).

Висновки

Понятійний апарат моделі «мережа однотипних програмно-апаратних засобів» виявив найкращу придатність при постановці задачі на розробку математичної моделі програмно-апаратної системи (класу АІС) як об'єкту контролю (технічного діагностування). Подальші дослідження

спрямовані на обґрунтування діагностичного параметру оцінювання реакції функцій обчислювальної складової програмно-апаратного засобу при обробці тестових даних.

Список використаних джерел

1. Фізичні основи теорії надійності : підручник / М. К. Жердев, С. В. Ленков, Б. П. Креденцер та ін.; за ред. М. К. Жердева. – К.: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2008. – 215 с.
2. Азаренко Е. В. Проектирование автоматизированных систем управления на компьютерных сетях: Монография / Е. В. Азаренко, Б. М. Герасимов, Б. П. Шохин. – Севастополь: Гос. Океанариум, 2007. – 272 с.: ил.
3. Хусаинов П. В. Основы побудови операційних систем, комплексів та засобів автоматизації управління військами: Навчальний посібник / П. В. Хусаинов, І. Ю. Субач, О. В. Сілко, С. В. Любарський. – К.: ВІТІ, 2016. – 220 с.
4. Кузавков В. В. Шляхи вдосконалення системи технічного обслуговування / В. В. Кузавков, Г. І. Гайдур, Л. Т. Коваль // Системи управління, навігації та зв'язку. – Харків: Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, 2014. – № 4(32). – С. 86–91.
5. Жердев М. К. Узагальнена методика діагностування цифрових блоків радіоелектронного озброєння автономною автоматизованою системою / М. К. Жердев, Б. П. Креденцер, В. В. Кузавков // Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України імені Б. Хмельницького. – Хмельницький, 2015. – № 1(63). – С. 223–236.
6. Оре О. Теория графов. – 2-е изд. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1980. – 336 с.
7. Эдельман С. Л. Математическая логика. Учеб. пособие для ин-тов. М., «Высшая школа», 1975. – 176 с.
8. Герасимов Б. М. Математические основы исследования операций. Ч. 1. Дискретные структуры: Учебное пособие / Б. М. Герасимов, С. Д. Эдельман, З. Ф. Сирченко, Б. М. Шуман. Под ред. проф. С. Д. Эдельмана. – Киев: КВИРТУ ПВО, 1989. – 324 с.

Надійшла до редакції 22.11.2017

Рецензент: д.т.н., професор Скачков В. В., Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса.

П. В. Хусаинов, к.т.н.

ЗАДАЧА РАЗРАБОТКИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОБЪЕКТА ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

Рассматривается постановка задачи на разработку математической модели технического диагностирования автоматизированной (информационной) системы. Научная новизна заключается в использовании предложенного понятийного аппарата модели «сеть однотипных программно-аппаратных средств» для формализации ключевых логических зависимостей функций объекта.

Ключевые слова: модель объекта технического диагностирования, сеть однотипных программно-аппаратных средств, автоматизированная (информационная) система.

P. V. Khusainov, PhD

THE PROBLEM OF THE MATHEMATICAL MODEL DEVELOPMENT OF THE OBJECT TECHNICAL DIAGNOSTICS

The formulation of the problem of the development of a mathematical model for the technical diagnosis of an automated (information) system is considered. Scientific novelty lies in using the proposed conceptual apparatus of the so called «a network of software and hardware of the same type» model to formalize the key logical dependencies of the functions of the object.

Keywords: model of object of technical diagnosing, network of the same type of firmware, automated (information) system.

УДК 681.35

В. В. Кузавков¹, д.т.н., А. О. Зарубенко¹, О. Г. Янковський², к.т.н.

¹Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації, м. Київ

²Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса

МЕТОДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ, РОЗТАШОВАНИХ НА ЛОКАЛЬНОМУ ОБ'ЄКТІ

Розглянуто основні методи забезпечення електромагнітної сумісності радіоелектронних засобів, розташованих на локальному об'єкті, здійснено аналіз неосновних випромінювань та каналів їхнього прийому. Розглянуто методику розрахунку ширини смуги випромінювання на прикладі імпульсу дзвіноподібної форми.

Ключові слова: електромагнітна сумісність, радіоелектронні засоби, неосновні випромінювання, канали прийому, випромінювання, гетеродин, приймач, передавач, конструктивне удосконалення, правильна експлуатація, ширина смуги випромінювання.

Вступ

Розвиток та впровадження новітніх способів побудови системи зв'язку Збройних Сил України характеризується постійним зростанням кількості сучасних радіоелектронних засобів (РЕЗ), зростанням випромінюваних потужностей і чутливості прийомних пристроїв [1].

Діапазон робочих частот РЕЗ – обмежений. Це обумовлено особливостями розподілу частотного ресурсу, тому неминуче виникають взаємні перешкоди, вплив яких на якість організації передачі інформації в радіодіапазоні значно посилюється в період з 2014 по 2017 роки і, безумовно, буде зростати і надалі [1]. Це пов'язано не тільки зі збільшенням загального числа одночасно пра-

цюючих РЕЗ різного призначення, а й із необхідністю локального розташування РЕЗ (розміщення та одночасне використання приймально-передавальної апаратури (радіостанцій) на транспортній базі, локальному об'єкті) та з застосуванням радіоелектронних комплексів придушення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій
Аналіз джерел [1-6] виявив, що ефективність функціонування радіоелектронних засобів, в тому числі і військового призначення, які можуть бути розміщені на локальному об'єкті, в повній мірі залежить від електромагнітної сумісності цих засобів. Стаття присвячена аналізу основних методів забезпечення електромагнітної

сумісності РЕЗ.

Постановка завдання. Наявність взаємних перешкод змушує пред'являти особливі вимоги до РЕЗ, які входять до складу командно-штабних машин та мобільних пунктів управління [2]. Невиконання цих вимог може призвести до погіршення характеристик радіоліній аж до повної втрати ними працездатності. Значну увагу слід приділити питанням забезпечення електромагнітної сумісності (ЕМС) РЕЗ (проекування, конструктивні рішення, організація експлуатації), розташованих на локальному об'єкті військового призначення, для яких характерні складні умови електромагнітної обстановки [2, 3].

Виклад основного матеріалу

Здатність спільної роботи РЕЗ без зниження до деякого допустимого рівня ефективності зветься електромагнітною сумісністю РЕЗ.

Одним із варіантів забезпечення ЕМС під час спільної роботи РЕЗ є підвищення завадостійкості приймача (приймачів) РЕЗ. Ефективними слід вважати ті варіанти забезпечення ЕМС, застосування яких зменшить рівень впливу зовнішніх завад на приймач не за рахунок підвищення завадостійкості, а в результаті застосування способів конструктивного вдосконалення (зміни конструктиву) та правильної експлуатації РЕЗ [4].

Розглянемо два основні методи забезпечення ЕМС [2, 4] та заходи, які вони передбачають:

- конструктивне вдосконалення радіоелектронної апаратури та антенних систем (зниження рівнів неосновних випромінювань, зниження рівня бокових пелюстків діаграми спрямованості, зменшення числа позасмугових каналів прийому);

- організаційні методи (правильна експлуатація РЕЗ – вибір частот (частотної смуги), розміщення РЕЗ та антенних систем, вибір режиму роботи).

Організаційний метод забезпечення (покращення) ЕМС передбачає дотримання та контроль угод щодо забезпечення ЕМС на міжнародному, міжвідомчому та регіональному рівнях. Цей спосіб включає в себе наступні заходи:

- планування використання спектру частот, що пов'язане з тим, що окремі полоси діапазонів радіочастот розподілені між відомствами (міністерство, служба та інші);

- призначення робочих частот РЕЗ, що направлене на забезпечення частотно-територіального розносу РЕЗ, особливо несумісних. Для виконання цього заходу спільно узгоджуються наступні питання: взаємне віддалення, робочі частоти, орієнтація характеристик направленості, використання екрануючих властивостей місцевості, обмеження режимів робочих час-

тот;

- обмеження режимів роботи РЕЗ. Ці заходи мають на меті виключити недоцільне використання РЕЗ за часом, частотою, потужністю випромінювання. Можливе встановлення заборони на використання РЕЗ, які є джерелом завад для більш пріоритетних РЕЗ в деякі моменти часу та на певних частотах.

Технічний метод це:

- розробка диференційних вимог до передаючих та приймальних (особливо антенних систем) пристроїв різного класу. Цей захід передбачає практичне усунення чи суттєве ослаблення заважаючих ефектів (неосновні, побічні випромінювання). Це досягається наступними шляхами: підвищення якості екранування, підвищення вибіркової лінійних ланцюгів, обмеження числа перетворення частоти в приймачах та передавачах, підбор частот гетеродинних коливальників.

- створення РЕЗ, які задовольняють вимогам ЕМС, впровадження заходів щодо ослаблення впливу неавтономних завад на РЕЗ. Комплекс цих заходів спрямований на покращення вибору та обробки корисних сигналів.

Організаційні методи передбачають виконання чітких інструкцій та вимог керівних документів, тому можливості цих методів обмежені. В свою чергу, конструктивне вдосконалення РЕЗ можливе постійно (відповідно до розвитку науки, технологій та конкретних умов використання РЕЗ). Застосування цих методів дозволить підвищити ефективність РЕЗ.

Розглянемо причини виникнення неосновних випромінювань і каналів прийому для випадку, коли РЕЗ, які створюють завади, розташовані в дальній зоні і завади потрапляють в приймач РЕЗ через антенну систему.

До неосновних випромінювань відносяться [4, 5]:

- випромінювання передавачів на частотах поза необхідною смугою випромінювань;

- випромінювання гетеродинів приймачів та інших джерел високочастотних коливань.

Неосновні випромінювання передавачів поділяють на позасмугові та побічні.

Позасмугові – це випромінювання на частотах, які примикають до спектру інформаційного сигналу. Вони є результатом модуляції несучої частоти. Всі інші неосновні випромінювання відносяться до побічних. Вони не пов'язані з процесами модуляції і включають в свій склад випромінювання на гармоніках, комбінаційні, паразитні, інтермодуляційні і шумові, випромінювання гетеродинів і інших генераторів високочастотних коливань.

Поява позасмугових випромінювань викли-

кана тим, що кінцевий в часі сигнал має нескінченну ширину спектра. При обмеженні спектра випромінюваного сигналу виникають спотворення. Допустимий рівень спотворень визначає необхідну ширину смуги випромінювання (ШСВ). Для покращення ЕМС займана ШСВ повинна бути мінімальною, а для отримання найменших спотворень – максимальною. Це протиріччя вирішується шляхом використання спеціальних видів модуляції і форм модульованих сигналів. Наприклад, для імпульсних сигналів важливо правильно обрати їх форму. Зкруглення форми імпульсів дозволяє істотно зменшити рівень позасмугових випромінювань.

Якщо під тривалістю імпульсу τ розуміти проміжок часу, в якому зосереджено 99 % енергії, а під ШСВ – частотний інтервал, якій містить 99 % енергії, то при однаковому значенні τ імпульси різної форми матимуть різну ШСВ F_e [4]. Для прямокутного імпульсу ШСВ найбільша і дорівнює $20/\tau$, для косинусоїдального імпульсу вона становить $2,5/\tau$.

Розглянемо методику розрахунку ШСВ на прикладі перспективного з точки зору ЕМС імпульсу дзвіноподібної форми. Для цього сигнал представимо у вигляді комплексного коливання

$$a(t) = A \exp(-\beta^2 t^2),$$

де A – комплексна амплітуда, коефіцієнт β визначає форму імпульсу, t – тривалість імпульсу.

Спектр цього імпульсу визначається виразом

$$S(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} a(t) \exp(-j\omega t) dt = \frac{\sqrt{\pi}}{\beta} A \exp\left(\frac{-\omega^2}{4\beta^2}\right).$$

Оскільки

$$\int_{-F_e/2}^{F_e/2} (S(j2\pi f))^2 df = 0,99 \int_{-\infty}^{\infty} (S(j2\pi f))^2 df,$$

тоді, ШСВ становить

$$F_e = 1,16\beta. \quad (1)$$

Також, тривалість імпульсу можна визначити з рівняння

$$\int_{-T_e/2}^{T_e/2} a^2(t) dt = 0,99 \int_{-\infty}^{\infty} a^2(t) dt,$$

звідси

$$T_e = 2,58\beta. \quad (2)$$

Вирішуючи спільно рівняння (1) і (2), остаточно знаходимо, що

$$F_e \approx 3T_e.$$

Отже, змінюючи форму імпульсу, можна мінімізувати значення F_e . У радіозасобах мінімальна ШСВ забезпечується відповідним кодуванням інформаційного сигналу і спеціальними видами модуляції.

Коротко розглянемо основні причини виникнення побічних випромінювань.

По-перше, це випромінювання на гармоніках. Вони відбуваються на частотах, ої кратні робочим частотам передавача. Їхня поява пов'язана з нелінійними спотвореннями сигналу, якій випромінюється. Для зменшення рівня гармонік застосовують фільтри (рис. 1 елем. 10, 13, 15), які розташовують безпосередньо перед антенною системою [4, 5].

Виникнення паразитних коливань обумовлено виконанням умов самозбудження (балансу фаз і балансу амплітуд) на частотах, відмінних від несучої частоти сигналу. Ці випромінювання є результатом помилок в конструкції або порушень режиму роботи електронних схем.

Комбінаційні випромінювання виникають в наслідок взаємодії сигналів (частот), які беруть участь у формуванні робочої частоти. Найбільш характерні комбінаційні випромінювання для передавача, робоча частота якого утворюється з дискретної кількості частот шляхом множення, ділення та додавання частот опорних генераторів (рис. 1 елем. 7–9). Зменшення рівня комбінаційних випромінювань забезпечується правильним вибором сітки частот.

Інтермодуляційне випромінювання виникає внаслідок попадання через антену сигналів від сусідніх передавачів. Зменшити інтермодуляційні випромінювання можливо шляхом застосування спеціальних пристроїв узгодження, розв'язуючих пристроїв (рис. 1 елем. 11, 12, 14) і екрануванням. Також можливо послабити їх вплив на приймальний тракт радіостанції шляхом підбору нелінійних елементів з оптимальними характеристиками для вхідних ланцюгів тракту і оптимізації смуги пропускання вхідного ланцюга (рис. 1 елем. 1 – 5).

Шумове випромінювання створює модуляція несучої частоти шумом, який виникає в каскадах передавача за рахунок дробового ефекту. Спектр шумового випромінювання теоретично необмежений, хоча рівень дуже малий. Тому в смузі основного випромінювання шумове випромінювання практично не впливає на корис-

ний сигнал. Однак, поза смугою основного випромінювання шумові випромінювання можуть здійснювати помітний вплив на приймальні пристрої, які знаходяться в безпосередній близькості. Їх (шумові випромінювання) можливо зменшити шляхом покращення вибіркової каскадів тракту, а також правильно встановивши режими роботи каскадів.

До неосновних випромінювань можна віднести випромінювання гетеродинів приймачів, електронних обчислювальних пристроїв, а також інших генераторів височастотних коливань. Основні методи боротьби з ними – екранування і застосування фільтрів в ланцюгах живлення.

Канали прийому, як і канали передачі (ви-

промінювання), діляться на основні і неосновні. Наявність неосновних каналів прийому обумовлена неідеальністю частотних характеристик фільтрів, наявністю нелінійностей в тракті прийому, а також особливостями роботи супергетеродинних приймачів. За аналогією з каналами випромінювання, неосновні канали прийому поділяються на позасмугові і побічні.

До позасмугових каналів прийому відноситься смуга частот, яка безпосередньо примикає до спектру корисного сигналу. Проходження завад в цій смузі частот пов'язане з неідеальністю частотних характеристик вибіркового фільтрів перед демодулятором (рис. 1, елем. 1, 3, 4).

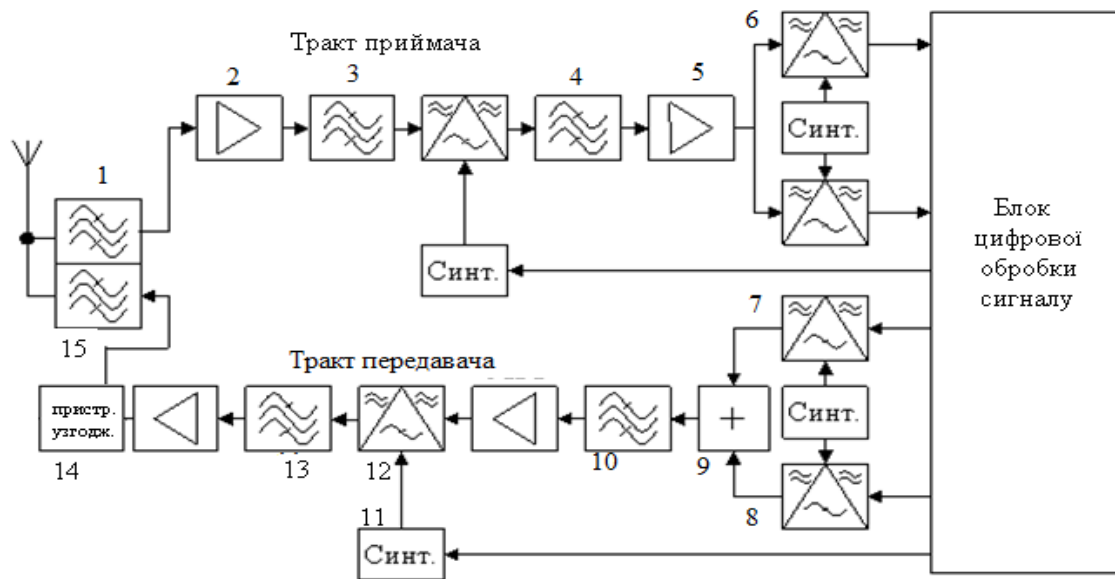


Рисунок 1 – Варіант структурної схеми цифрової радіостанції

Реальний приймач містить підсилювачі і перемножувач з обмеженим динамічним діапазоном (рис. 1, елем. 2, 5, 6). Тому не можна допустити, щоб на їх вході діяла завада в необмеженому частотному діапазоні (з необмеженою потужністю). Перешкоди з рівнем, що більший за динамічний діапазон приймача, впливаючи разом з корисним сигналом на нелінійності приймального тракту та призводять до зменшення відношення сигнал-шум.

Побічні канали прийому з'являються в результаті перетворення частот в супергетеродинному приймачі. Як відомо, проміжна частота f_{np} , утворюється у відповідності з одним із наступних співвідношень частот гетеродина f_z і сигналу:

$$f_{np} : f_{np} = f_c - f_z, f_{np} = f_z - f_c, f_{np} = f_z + f_c.$$

Наприклад, якщо проміжна частота, утворю-

ється відповідно до співвідношення $f_{np} = f_c - f_z$, то два інших співвідношення вказують дзеркальні канали побічного прийому.

Для ослаблення дзеркальної перешкоди на вході перетворювача додають вибіркового (смуговий) фільтр, а також використовують спеціальні схеми перетворювачів.

Крім дзеркального каналу, можливий прийом завад на проміжній частоті, а також на комбінаційних частотах $f_{np} = \pm m f_c \pm n f_z$.

Заходами, які дозволяють зменшити завади на побічних каналах, є висока вибірковість фільтрів до першого нелінійного елемента і раціональний вибір проміжної частоти (рис. 1, елем. 1, 3, 4).

Таким чином, аналізуючи причини виникнення і характер впливу завад, можна стверджувати, що основними методами забезпечення (покращення) ЕМС слід вважати: технічний (конструктивне вдосконалення апаратури) та органі-

заційний (правильна експлуатація) [7]. При цьому, максимального ефекту щодо забезпечення ЕМС можливо досягнути лише комплексно використовуючи перераховані методи.

Висновки

Електромагнітна сумісність забезпечується технічними та організаційними методами [2-6]. Розглянуті технічні заходи були в основному спрямовані на забезпечення частотної вибіркової сигналу. На ЕМС також помітно впливає просторова і часова вибірковість сигналів, просторове рознесення приймальних та передавальних антен. Часова вибірковість забезпечується синхронізацією роботи станцій мережі, що дозволяє зменшити число одночасно працюючих передавачів. Застосування направлених антен дозволяє зменшити не тільки рівень сигналу, що створює заваду, а й випромінюваного корисного сигналу, що в свою чергу знижує загальний рівень завад. Але суттєвого результату щодо забезпечення ЕМС РЕЗ, розташованих на локальному об'єкті можливо досягнути лише за рахунок конструктивного вдосконалення антенних систем [7].

Напрямок подальших досліджень. Напрямо подальшого дослідження є розробка методики забезпечення ЕМС РЕЗ розміщених на локальному об'єкті з науково обґрунтованими технічними рішеннями.

Список використаних джерел

1. Телеком военная связь. – Київ, 04.2017. – С. 4; 8, 45, 49. – С. 84–89.
2. Кечиев Л. Н. Зарубежные военные стандарты в области ЭМС / Л. Н. Кечиев, Н. В. Балюк. – М.: Грифон, 2014 – 448 с.
3. Акбашев Б. Б. Защита объектов телекоммуникаций от электромагнитных воздействий / Б. Б. Акбашев, Н. В. Балюк, Л. Н. Кечиев. – М.: Грифон, 2014. – 472 с.
4. Радиотехнические системы передачи информации: Учебное пособие для вузов / Под ред. В. В. Калмыков – М.: Радио и связь, 1990. – 304 с.
5. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств: Учебное пособие / Под ред. Ю. Е. Седельникова – Казань: ООО «Новое знание», 2016. – 344 с.
6. П. А. Николаев. Электромагнитная совместимость автотранспортных средств / Николаев П. А., Кечиев Л. Н. / Под ред. Л. Н. Кечиева – М.: Грифон, 2015. – 424 с.
7. Радиоэлектронные системы: основы построения и теория / Под ред. Я. Д. Ширмана. – М.: ЗАО «МАКВИС», 1998. – 828 с.: ил. библи. 539 назв.

Надійшла до редакції 13.11.2017

Рецензент: д.т.н., професор Скачков В. В., Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса.

В. В. Кузавков, д.т.н., А. О. Зарубенко, О. Г. Янковский, к.т.н.

МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ, РАСПОЛОЖЕННЫХ НА ЛОКАЛЬНОМ ОБЪЕКТЕ

Рассматривается метод собственного излучения для определения технического состояния радиоэлектронных блоков. Данный метод позволяет проводить измерение диагностических параметров путем регистрации электромагнитного поля в инфракрасном диапазоне волн, которое возникает при подаче на радиоэлектронный блок тестового воздействия.

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, радиоэлектронные средства, неосновные излучения, каналы приема, излучение, гетеродин, приемник, передатчик, конструктивное усовершенствование, правильная эксплуатация, ширина полосы излучения.

Kuzavkov V. V., DSc, Zarubenko A. O., Yankovskii O. H., PhD

METHODS OF PROVIDING OF ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY OF RADIOELECTRONIC MEANS LOCATED ON A LOCAL OBJECT

The method of intrinsic radiation for determining the technical state of radioelectronic units is considered. This method makes it possible to measure the diagnostic parameters by recording an electromagnetic field in the infrared wave-range, which occurs when a test influence is applied to an electronic unit.

Keywords: electromagnetic compatibility, radioelectronic facilities, minor radiation, reception channels, radiation, heterodyne, receiver, transmitter, constructive improvement, proper operation, radiation bandwidth.

МАРКІВСЬКА МОДЕЛЬ ОЦІНКИ ЯКІСНОГО СТАНУ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ І УПРАВЛІННЯ

У статті запропонована марківська модель оцінки якісного стану автоматизованих систем контролю і управління. Показано що: джерелом даних для визначення стану автоматизованих систем є інформаційно-вимірювальні системи (ІВС), які є складовими як систем управління, так і систем контролю; оцінка стану системи управління залежить від коректності роботи системи контролю. Визначено, що з урахуванням обмежень на наявність післядії, можливе використання марківського однорідного процесу для побудови моделі якісного стану систем контролю і управління.

Ключові слова: автоматизовані системи контролю та управління, інтелектуальна ІВС, оцінка якісного стану, марківська модель.

Вступ. Глобальна автоматизація всіх сфер виробництва та життєдіяльності людини, яка спостерігається в останні десятиліття ставить задачі якісного функціонування систем і об'єктів автоматизації. Це підвищення вимог до якості відбувається на фоні зростаючої складності автоматичних і автоматизованих систем, що в свою чергу призводить до зменшення їх надійності та ускладнення процесів управління, контролю, діагностики та технічного обслуговування. Забезпечення якості означених процесів є неодмінною складовою підвищення якості системи в цілому.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

У будь-якому складному технічному або технологічному процесі можна визначити три рівні функціонування: технологічний рівень, на якому визначається коректність протікання технологічних процесів; технічний рівень, на якому через параметри системи визначається наявність відмов її компонентів, і рівень системного управління, на якому виконується контроль протікання технологічних процесів у межах визначених обмежень. На всіх трьох рівнях джерелом даних, на основі обробки яких формуються управлінські рішення, є датчики автоматизованих інформаційно-вимірювальних систем (ІВС) [1, 2]. Сучасні датчики, а відповідно і самі ІВС, є складними апаратно-програмними об'єктами, які працюють застосовуючи елементи штучного інтелекту [3, 4].

Автоматизовані (автоматичні) системи в своїй роботі використовують як ІВС, які забезпечують функціонування технологічних процесів, так і ІВС спеціально призначені для систем контролю. Можна сказати, що від працездатності й якості ІВС залежить якість роботи всієї системи.

Метою статті є визначення моделі оцінки

якісного стану автоматизованих систем контролю і управління в процесі її функціонування.

Викладення основного матеріалу. В якості автоматизованої системи контролю (АСК) ми розумітимемо сукупність засобів, що дозволяють визначати технічний стан об'єкту управління. Оскільки управління передбачає вплив на об'єкт управління для утримання процесів, що у ньому відбуваються у визначених межах, до складу системи управління включають відповідні засоби управління (ЗУ), через які відбувається корекція його поведінки.

Всякий об'єкт управління можна розглядати як об'єкт, що може знаходитись у одному із внутрішніх станів, кожен з яких визначається сукупністю параметрів системи $x_1, x_2, \dots, x_n$, що впливають на залежності між вхідними і вихідними сигналами об'єкту управління.

Ієрархічна структура сучасних систем автоматизованого контролю будується на основі розподіленого обчислювального процесу, який передбачає розподілення АСК на центральну частину, що контролює весь вимірювальний процес, і локальні її частини, у якості яких виступають системи, побудовані на основі інтелектуальних датчиків.

Ефективне управління об'єктом (якісним станом об'єкту) контролю може здійснюватись на основі точної і своєчасної вимірювальної інформації, джерелом якої є автоматизована система контролю (рис. 1) [5]. Зворотній інформаційний зв'язок по контуру управління здійснюється за допомогою блоку управління (БУ1), який є засобом впливу на об'єкт. Якість визначається за рахунок аналізу реакції об'єкту на відповідні тестові сигнали. На основі аналізу об'єкт може бути визнаний або працездатним, або ні. Тобто, розглядається всього два можливих стани

об'єкту управління [5, 6]. Знаходження об'єкту контролю у першому або у другому стані залежить від коректності роботи АСК. У разі отримання нею недостовірної інформації або її власних помилок, стан об'єкту може бути визначений неправильно. Через це процедура визначення стану об'єкту управління повинна враховувати і достовірність роботи самої системи контролю. Це означає, що крім засобів контролю об'єкту управління, засоби контролю мають бути втілені як в засоби управління так і в саму автоматизовану систему контролю. Будемо вважати, що стан об'єкту контролю визначається автоматизованою системою АСК1, стан роботи, самої системи системою контролю АСК2, а стан роботи

впливу, системою контролю АСК3. Крім того, нехай управління системою АСК1 виконується блоком управління БУ2, блоку управління БУ1 блоком управління БУ3. Таким чином структура технологічного процесу, що підлягає контролю, буде включати три кола управління: коло управління самого об'єкту контролю, коло управління системи контролю і коло управління засобами управління. Звичайно, що останні два кола в сучасних системах реалізуються здебільшого на програмному рівні і, як правило, являють собою періодичні тестові перевірки. Практично, ієрархічні системи такого роду не мають більше двох рівнів, як це показано на рис. 1.

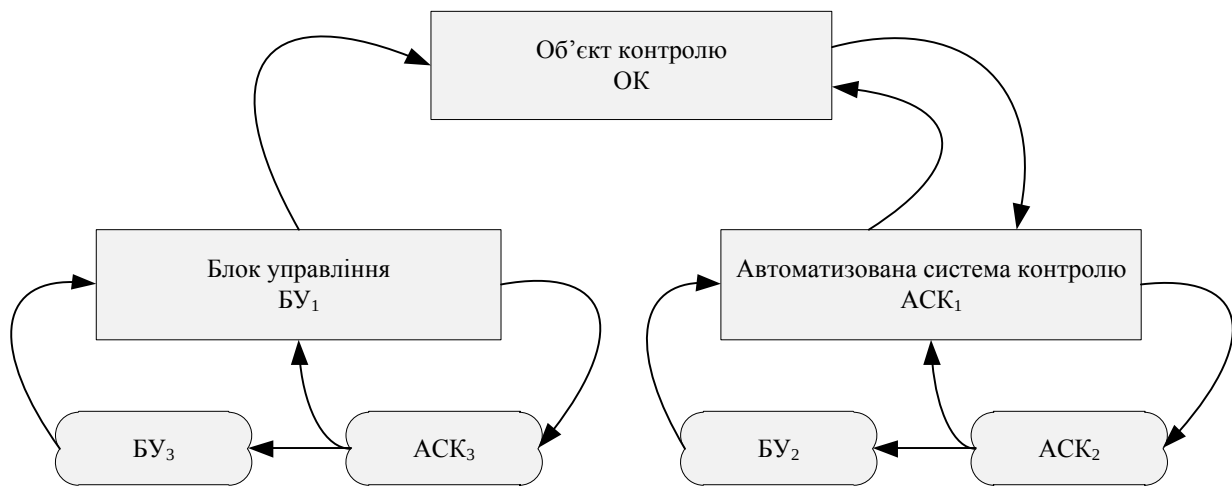


Рисунок 1 – Зв'язок об'єкту контролю з АСК

Для оцінки ймовірності знаходження системи в тому, чи іншому стані найчастіше використовують моделі на основі марківського дискретного процесу [6, 7]. Вибір цього математичного апарату пояснюється тим, що формальна модель повинна бути досить зрозумілою і не повинна бути занадто складною. Однак, згідно [8] інтелектуальні системи – це немарківські системи, які характеризуються наявністю післядії. В нашому випадку застосування марківської моделі стає можливим, оскільки розглядаються тільки два варіанти стану, кожен з яких у даний момент залежить виключно від попереднього її стану і не залежить від усіх інших станів [6].

Як було показано вище, у структурі наведеної на рис. 1 кожна із складових її об'єктів може бути в одному зі станів: працездатному або – ні. Усі можливі комбінації цих станів і є можливими станами системи. Для визначення ймовірностей знаходження у кожному з них при дискретному марківському процесі використовують умовні

ймовірності переходу із i -го того у j -тий стан P_{ij} . Щоб задати таку модель, визначають початкові ймовірності $P_i(0)$ знаходження системи у кожному із N станів

$$\|P_i(0)\| = \|P_1(0), P_2(0), \dots, P_i(0), \dots, P_N(0)\|,$$

а умовні ймовірності переходів зі стану у стан визначають матрицею

$$\|P_{ij}(l)\| = \begin{bmatrix} P_{11}(l) & P_{12}(l) & \dots & P_{1N}(l) \\ P_{21}(l) & P_{22}(l) & \dots & P_{2N}(l) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{N1}(l) & P_{N2}(l) & \dots & P_{NN}(l) \end{bmatrix},$$

$$\text{де } \sum_{i=1}^N P_{ij}(l) = 1.$$

Таким чином, після першого етапу управління якістю ймовірність знаходження системи у

j -му стані $P_j(1)$, якщо спочатку вона знаходилась в якомусь i -му стані, буде визначатись співвідношенням

$$P_j(1) = \sum_{i=1}^N P_{ij}(1)P_i(0),$$

де $P_i(0)$ – початкова імовірність знаходження системи в i -му стані, а після другого етапу ймовірність $P_j(2)$ буде визначатись величиною

$$P_j(2) = \sum_{i=1}^N P_{ij}(2)P_i(1) = \sum_{i=1}^N P_{ij}(2) \sum_{k=1}^N P_{ki}(1)P_k(0).$$

Нарешті, після l -го етапу ймовірність $P_j(l)$ буде визначатись величиною

$$\begin{aligned} P_j(l) &= \sum_{i=1}^N P_{ij}(l)P_i(l-1) = \\ &= \sum_{i=1}^N P_{ij}(l) \dots \sum_{k=1}^N P_{ki}(1)P_k(0). \end{aligned}$$

Таким чином, для однорідного марківського процесу, коли $P_{ij}(l) = P_{ij}$, через величини початкових ймовірностей станів системи $P_i(0)$ і умовних ймовірностей переходів зі стану у стан P_{ij} , можна знайти ймовірність перебування системи у кожному її стані, на будь-якому етапі управління, використовуючи для простоти метод Z -перетворень [5].

Цей алгоритм передбачає створення матриці

$$\|I - ZP\| = \begin{vmatrix} 1 - P_{11}Z & -P_{12}Z & \dots & -P_{1N}Z \\ -P_{21}Z & 1 - P_{22}Z & \dots & -P_{2N}Z \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ -P_{N1}Z & -P_{N2}Z & \dots & 1 - P_{NN}Z \end{vmatrix},$$

$$\text{де } I = \begin{vmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{vmatrix}.$$

Виконуючи над елементами матриці $(I - ZP)$ відповідні лінійні перетворення, отримаємо систему рівнянь

$$\begin{aligned} x_1 &= (1 - P_{11}Z)y_1 - P_{12}Zy_2 - \dots - P_{1N}Zy_N; \\ x_2 &= -P_{21}Zy_1 - (1 - P_{22}Z)y_2 - \dots - P_{2N}Zy_N; \end{aligned}$$

$$\dots \dots \dots x_N = -P_{N1}Zy_1 - P_{N2}Zy_2 - \dots + (1 - P_{NN}Z)y_N.$$

Далі, вирішивши її, відносно невідомих $y_1, y_2, \dots, y_N$, отримаємо рівняння

$$y_1 = a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1N}x_N;$$

$$y_2 = a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2N}x_N;$$

$$\dots \dots \dots y_N = a_{N1}x_1 + a_{N2}x_2 + \dots + a_{NN}x_N.$$

Потім, з урахуванням коефіцієнтів при x , утворюється обернена матриця $(I - ZP)^{-1}$

$$(I - ZP)^{-1} = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1N} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{N1} & a_{N2} & \dots & a_{NN} \end{vmatrix}.$$

Виконавши обернене перетворення кожного елемента матриці $(I - ZP)^{-1}$, отримаємо матрицю $H(l)$.

$$\|H(l)\| = \begin{vmatrix} a_{11}(l) & a_{12}(l) & \dots & a_{1N}(l) \\ a_{21}(l) & a_{22}(l) & \dots & a_{2N}(l) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{N1}(l) & a_{N2}(l) & \dots & a_{NN}(l) \end{vmatrix}.$$

Звідси отримаємо вектор-рядок кінцевих перетворень, який матиме вигляд

$$\begin{aligned} P(l) &= \|P_1(0), P_2(0), \dots, P_N(0)\| \|H(l)\| = \\ &= \|P_1(0), P_2(0), \dots, P_N(0)\| \times \\ &\times \begin{vmatrix} a_{11}(l) & a_{12}(l) & \dots & a_{1N}(l) \\ a_{21}(l) & a_{22}(l) & \dots & a_{2N}(l) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{N1}(l) & a_{N2}(l) & \dots & a_{NN}(l) \end{vmatrix}. \end{aligned}$$

Можливість знаходження системи у j -му стані після l -го кроку управління буде визначатись, як

$$P_j(l) = a_{1j}(l)P_1(0) + a_{2j}(l)P_2(0) + \dots + a_{Nj}(l)P_N(0).$$

У стаціонарному режимі, що встановлюється після великої кількості кроків управління, ця ймовірність не залежить від номеру кроку $P_{ij}(l) = P_{ij}$, при $l \rightarrow \infty$. Її можна визначити через

1973. – 231 с.

Надійшла до редакції 20.11.2017

8. Чечкин А. В. Слабо формальные системы / А. В. Чечкин // Интеллектуальные системы. – М.: Изд. МГУ, 2007. – Том 11. – Вып. 1-4. – С. 137–158.

Рецензент: д.т.н., доц. Казакова Н. Ф. Одеська державна академія технічного регулювання та якості, Одеса.

Ю. В. Щербина, к.т.н., С. Л. Волков, к.т.н.

МАРКОВСКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВЕННОГО СОСТОЯНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ

В статье предложена марковская модель оценки качественного состояния автоматизированных систем контроля и управления. Показано что: источником данных для определения состояния автоматизированных систем выступают информационно-измерительные системы (ИИС), которые являются составляющими как систем управления, так и систем контроля; оценка состояния системы управления зависит от корректности работы системы контроля. Определено, что с учетом ограничений на наличие последствий, возможно использование марковского однородного процесса для построения модели качественного состояния систем контроля и управления.

Ключевые слова: автоматизированные системы контроля и управления, интеллектуальная ИИС, оценка качественного состояния, марковская модель.

Yu. V. Scherbina, PhD, S. L. Volkov, PhD

MARKOV MODEL OF ASSESSMENT OF THE QUALITY STATE OF AUTOMATED CONTROL AND MANAGEMENT SYSTEMS

The article proposes a Markov model for assessing the qualitative state of automated control and management systems. It is shown that: the source of data for determining the state of automated systems are information and measuring systems (IMS), which are components of both control and management systems; assessment of the state of the management system depends on the correct operation of control system. It is determined that, considering the limitations on the presence of aftereffects, it is possible to use the Markov homogeneous process to construct a model of the qualitative state of control and management systems.

Keywords: automated control and management systems, intelligent IMS, qualitative state estimation, Markov model.

УДК 629.42:620.179

А. И. Ваганов, д.т.н., С. В. Добровольская, Л. М. Возикова

Одесская государственная академия технического регулирования и качества.

ПЕРВООЧЕРЕДНЫЕ ЗАДАЧИ РАЗРАБОТКИ И ВНЕДРЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

В статье проведен анализ существующего состояния обеспечения предприятий железнодорожного транспорта современными средствами контроля и диагностики подвижного состава, проблемных вопросов обеспечения безопасности движения, внедрения современных, эффективных систем контроля и технической диагностики состояния узлов и деталей подвижного состава. Предложен комплекс мер по улучшению качества метрологического обеспечения процессов ремонта подвижного состава.

Ключевые слова: подвижной состав, безопасность движения, техническая диагностика, ремонт, техническое обслуживание.

Введение

На железнодорожном транспорте вопросы безопасности движения являются приоритетны-

ми и требуют выполнения работ по ремонту и техническому обслуживанию подвижного состава и объектов железнодорожной инфраструктуры

высокого качества [1–5]. Это может быть достигнуто только за счет внедрения и ежедневного использования современных средств контроля и диагностики подвижного состава [6, 7]. Только такой подход позволит перейти от устаревшей, затратной системы планово-предупредительных ремонтов подвижного состава к ремонту по текущему состоянию [8, 9]. Вопросам контроля и технической диагностики подвижного состава давно уделяется значительное внимание, однако, из-за отсутствия системного подхода к решению этой проблемы, пока железнодорожные предприятия недостаточно оснащены современной измерительной техникой [10, 11].

Постановка задачи

В настоящее время практически все технологические процессы ремонта и технического обслуживания подвижного состава и объектов инфраструктуры недостаточно обеспечены современными методами измерений, что оказывает негативное влияние на безопасность движения, значительно (в несколько раз) повышает затраты на ремонт [1, 12, 13].

Для решения этих проблем интенсивно развиваются методы контроля и диагностики деталей и узлов подвижного состава.

Однако, практическое их использование, как правило, затруднено тем, что результаты исследований не полностью соответствуют потребностям практического использования, потребностям железнодорожного транспорта. Предлагаемые технические средства требуют сложного технического обслуживания, являются дорогостоящими и требуют высококвалифицированного персонала [14, 15].

В связи с этим, в настоящее время имеет место невысокая техническая обеспеченность современными средствами контроля и диагностики для следующего оборудования локомотивов:

1. Тепловозных дизелей.
2. Электрических машин.
3. Экипажной части.
4. Коммутирующего оборудования.

Такая ситуация требует нового системного подхода к решению задачи контроля и диагностирования подвижного состава, активной исследовательской работы в следующих основных направлениях:

- разработка и внедрение новых информационных технологий, автоматизированного анализа неисправностей, случаев простоя локомотивов, надежности деталей и узлов, затрат на ремонт;
- разработка и внедрение стационарных и установленных на подвижном составе систем диагностирования дизельного оборудования;
- разработка и внедрение виброакустических комплексов для диагностики деталей и узлов

подвижного состава.

Требуемый комплекс технических средств для контроля и диагностирования подвижного состава.

В настоящее время, в первую очередь, актуальной является проблема диагностирования технического состояния дизеля тепловоза, которую необходимо решать, применяя спектральный анализ масла, контроля состояния топливной аппаратуры и турбокомпрессоров [4, 10].

Метод спектрального анализа масла позволяет выявлять дефекты трущихся деталей, когда они только начинают развиваться, определить межремонтный пробег.

При спектральном анализе масла определяется концентрация продуктов износа – железа, меди, свинца, алюминия, кремния, сурьмы, хрома и т. д. Техническое состояние узлов дизеля определяется по их концентрации (изменению по отношению к допустимым значениям).

Для этих целей для железнодорожных предприятий наиболее эффективным является использование атомно-эмиссионного метода. На практике целесообразно использовать фотоэлектрические установки с чувствительностью количественного анализа до 3 г/т ($3 \cdot 10^{-6} \%$). В состав такого оборудования входят генератор дуги, блок управления, штатив, фокусирующие линзы, сферический корпус с входной щелью, дифракционная решетка, выходные щели.

При высокой температуре ($4000\text{--}500^\circ\text{C}$) масло выгорает, возбуждаются атомы продуктов износа. Концентрация элементов в масле может меняться по следующим причинам:

- меди – из-за износа втулок, подшипников;
- железа – из-за износа поршневых колец, приводов;
- кремния – из-за загрязнения фильтров;
- олова – из-за износа поршней компрессора;
- натрия – из-за попадания воды в масло;
- свинца – из-за износа баббитового слоя подшипников;
- алюминия – из-за износа роторов.

При эксплуатации тепловозных дизелей основными являются два показателя – их эффективная мощность и удельный расход топлива. В процессе эксплуатации по ряду причин эти показатели ухудшаются, поэтому есть потребность в современных средствах контроля и диагностирования [1, 15].

В качестве оперативных методов и технических средств диагностирования можно рекомендовать:

- метод оценки теплотехнического состояния дизеля и качества сгорания топлива по содержанию продуктов сгорания в отходящих газах с использованием инфракрасных газоанализаторов.

заторов;

- метод контроля давления сжатия, характеризующего компрессию в цилиндрах дизеля, с использованием штатного максиметра с шпалой 0-6 мПа.

- метод контроля качества работы форсунок по показателям вибродатчиков.

Для оценки технического состояния колесно-моторного блока (КМБ) перспективным является использование вибрационного метода, анализа спектра вибрации.

При работе электрических машин, коммутирующих аппаратов локомотивов могут иметь место отклонения времени срабатывания и отключения аппаратов; изменения сопротивления резисторов; переходного сопротивления силовых и блокировочных контактов, межвиткового замыкания обмоток и др.

Поэтому, в этом случае необходима система диагностирования, позволяющая измерять напряжение постоянного и переменного тока, сопротивление резисторов, индуктивность, временные интервалы, производить обработку измерительной информации.

При проведении диагностирования контролируются переходные сопротивления контактов, якорной цепи, наличие межвиткового замыкания, время включения и отключения реле.

Выводы.

При решении задач обеспечения надежности электровозов, тепловозов, безопасности движения будущее за информационными технологиями, встроенными бортовыми системами диагностирования.

В сфере информационных технологий для обеспечения безопасности движения, снижения эксплуатационных расходов будущее за ЕАМ – системами (Enterprise Asset Management), которые необходимы для решения трех задач управления:

- управление материально-техническим обеспечением;
- управление кадрами;
- управление финансами.

Внедрение ЕАМ-систем позволяет снизить издержки предприятия, сократить число аварий и время на устранение их последствий, обеспечивает прозрачность процесса управления финансами комплекса [16].

В настоящее время, в связи с усложнением конструкций электровозов и тепловозов, повышением массы поездов и размеров движения, психологическая нагрузка на локомотивные бригады увеличивается.

Решить эту проблему можно только одним путем – оснастить локомотивы встроенным бортовыми диагностическими системами.

Для разработки аппаратно-программного комплекса таких систем необходимо учитывать знания о действиях локомотивных бригад по ведению поезда, о характере повреждений локомотива в эксплуатации.

В целом, бортовые системы диагностирования локомотивов должны обеспечить:

1. Оценку текущего технического состояния основного и вспомогательного оборудования локомотива.
2. Определение причин отказов оборудования.
3. Накопление диагностической информации.
4. Передачу данных в стационарную диагностическую систему.

Таким образом, современные требования к системному улучшению безопасности движения предполагают решение широкого круга задач исследовательского характера.

Список использованных источников

1. Криворудченко В. Ф. Современные методы технической диагностики и неразрушающего контроля деталей и узлов подвижного состава железнодорожного транспорта / В. Ф. Криворудченко, Р. А. Ахмеджанов. – М.: Маршрут, 2005. – 436 с.
2. Гноев З. Г. Основы виброакустической диагностики электромеханических систем локомотивов / З. Г. Гноев. – М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на ж. д. транспорте», 2008. – 307 с.
3. Берников В. И. Техническое диагностирование и неразрушающий контроль узлов локомотивов / В. И. Берников, Е. Ю. Доронин, И. П. Зенин. – М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на ж. д. транспорте», 2008. – 332 с.
4. Петрусенко В. Я. Інноваційні методи та засоби діагностування та контролю вузлів та механізмів / В. Я. Петрусенко // Локомотив-інформ. – 2013. – № 6. – С. 42–45.
5. Шелест Д. А. Неразрушающий контроль деталей вагонов: магнитные методы контроля / Д. А. Шелест // Вагонный парк. – 2013. – № 13. – С. 52–58.
6. Тэттер В. Ю. Вибрационный контроль технического состояния буксовых узлов колесных пар / В. Ю. Тэттер // Локомотив-информ. – 2012. – №7. – С. 54–60.
7. Шелест Д. А. Неразрушающий контроль деталей вагонов: вихревой метод контроля, дефектоскопия проникающими веществами, ультразвуковая дефектоскопия / Д. А. Шелест // Локомотив-информ. – 2014. – № 1. – С. 22–27.

8. Бут С. В. Система контролю технічного стану буксових вузлів вантажних вагонів нового покоління / С. В. Бут // Вагонний парк. – 2013. – № 12. – С. 25–27.

9. Ступак А. Э. Анализ использования измерительной техники при контроле износа колесных пар / А. Э. Ступак, Э. Н. Ступак // Локомотив-информ. – 2013. – № 8. – С. 42–44.

10. Дьомін Р. Ю. Засоби інструментальної оцінки технічного стану рухомого складу // Вагонний парк. – 2012. – № 12, С. 10–15.

11. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник / В. В. Клюев, Ф. Р. Соснин, В. Н. Фименов и др.; под ред. В. В. Клюева / – М.: Машиностроение, 1995. – 488 с.

12. Трестман Е. Е. Автоматизация контроля буксовых узлов в поездах / Е. Е. Трестман, С. Н. Лозинский, В. Л. Образцов. – М.: Транспорт, 1983. – 352 с.

13. Дробот Ю. Б. Неразрушающий контроль

усталостных трещин акустико-эмиссионным методом / Ю. Б. Дробот, А. М. Лазарев. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 128 с.

14. Клюев В. В. Визуальный и измерительный контроль / В. В. Клюев, Ф. В. Сосник, В. Ф. Мужичкий и др. – М.: РОНКТД, 1998. – 126 с.

15. Соколов М. М. Диагностирование вагонов / М. М. Соколов. – М.: Транспорт, 1990. – 184 с.

16. Обеспечение эксплуатационной надежности локомотивов на этапах жизненного цикла: сб. научн. тр. / Под ред А. Т. Осяева, А. Б. Подшивалова. – М.: Интекст, 2006. – 159 с.

Надійшла до редакції 17.11.2017

Рецензент: д.т.н, доц. Боряк К. Ф., Одеська державна академія технічного регулювання та якості, Одеса.

О. І. Ваганов, д.т.н., С. В. Добровольська, Л. М. Возикова

ПЕРШОЧЕРГОВІ ЗАВДАННЯ РОЗРОБКИ І ВПРОВАДЖЕННЯ СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ КІЛЬОЛЮ ТА ДІАГНОСТИКИ СТАНУ РУХОМОГО СКЛАДУ

В статті проведено аналіз існуючого стану забезпечення підприємств залізничного транспорту сучасними засобами контролю і діагностики рухомого складу, проблемних питань забезпечення безпеки руху, впровадження сучасних, ефективних систем контролю і технічної діагностики стану вузлів і деталей рухомого складу. Запропоновано комплекс заходів щодо поліпшення якості метрологічного забезпечення процесів ремонту рухомого складу.

Ключові слова: рухомий склад, безпека руху, технічна діагностика, ремонт, технічне обслуговування.

A. I. Vaganov, DSc, S. V. Dobrovolskaya, L. M. Vozykova

PRIORITIES OF DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF MODERN MEANS OF CONTROL AND STATUS DIAGNOSTICS OF ROLLING STOCK

The article analyzes the existing state of providing railway transport enterprises with modern means of monitoring and diagnostics of rolling stock, problematic issues of traffic safety, introduction of modern, effective control systems and technical diagnostics of the condition of units and parts of rolling stock. A set of measures is proposed to improve the quality of metrological support for rolling stock repair processes.

Keywords: rolling stock, traffic safety, technical diagnostics, repair, maintenance.

УДК 043.5

Л. В. Кузьмич, к.т.н.

Національний авіаційний університет, м. Київ

МЕТОДИ ОБГРУНТУВАННЯ СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ТА ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ СКЛАДНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Обґрунтовано підходи щодо формування теоретичних основ системного аналізу та синтезу функціонування складних інженерних конструкцій на прикладі контролю напружено-деформованого стану в умовах їхньої експлуатації.

Ключові слова: безпека, надійність, живучість, морфологічний аналіз, конструкція, об'єкт, автоматизована система, діагностування.

Постановка проблеми

На сучасному етапі проектування більшості складних технічних об'єктів забезпечення його надійності та безпеки вирішується згідно поширеного принципу: аналіз надійності та безпеки не виконується за умови дотримання діючих нормативів.

Розробка технічних завдань, передескізне проектування, техніко-економічне обґрунтування проекту виконуються без врахування або часткового врахування вимог щодо умов безпеки. На стадії робочого проекту з використанням основних вимог ДСТУ, норм та іншої нормативно-технічної документації створюються принципові та структурні схеми, передбачаються норми і регламенти з безпеки експлуатації. Виготовлення, доводка та випробовування виконуються у відповідності до технічних умов та ДСТУ. Додатковий аналіз безпеки та надійності не виконується.

Експлуатація нових та діючих об'єктів здійснюється у відповідності до наявних інструкцій з проведенням у необхідних випадках технічного контролю. Експлуатаційні відмови реєструються спеціальними комісіями та службами контролю. Більш складні аварії і катастрофи розслідуються спеціальними міжвідомчими комісіями. За результатами роботи цих органів приймаються конструкторські та технологічні рішення, спрямовані на недопущення нових відмов та аварій [1].

Для складних інженерних конструкцій, окрім традиційних критеріїв міцності та надійності, слід відокремити похідні з теорії надійності в окремі нові критерії – живучість та безпека.

Аналіз останніх досліджень

Загальний комплекс робіт по визначенню вихідного та залишкового ресурсу, живучості та безпеки елементів складних технічних об'єктів, таких як гідроелектростанції, ракетно-космічні комплекси, літальні апарати, об'єкти суднобуду-

вання, атомні станції тощо обов'язково повинен включати в себе дослідження навантажень, напружень та деформацій. На сьогоднішній день існує ряд методів для здійснення таких досліджень, зокрема розрахунковий метод, аналітичний, метод кінцевих елементів, варіаційно-різницьовий метод, метод граничних інтегральних рівнянь на моделях із застосуванням фотопружності, голографії, низькомодульних матеріалів тощо [2-4].

Невизначеність компонентів моделі проектування складної технічної системи призводить до необхідності розгляду задачі прийняття рішення про її синтез з позиції системного підходу, тобто проведення дослідження за послідовно спадаючими рівнями узагальнення з врахуванням комплексу міжрівневих та внутрішніх взаємозв'язків. Верхній рівень прийняття рішення по синтезу складної конструкції є концептуальним. В якості координуючої основи дослідження ієрархії та аспектів складної конструкції можна застосувати концепцію управлінської системи, сформульовану С. В. Яблонським [3]. Так, для складної технічної системи дана концепція має таке тлумачення: «Складна технічна конструкція, як управлінська система, діє на інший об'єкт методом керування з метою спрямування останнього у відповідний стан чи позицію». Дана концепція дозволяє виконати формалізацію мети для складної технічної конструкції, побудувати ієрархію її підсистем, визначити дерево цілей і задач.

Далі виконуються комплексні програмні дослідження і проводиться уточнення розрахункового ресурсу [5-7]. Хоча пошук системних підходів до прийняття рішень при проектуванні складних конструкцій здійснюється постійно, необхідність у них з кожним роком стає більш значимішою.

Вирішення проблеми зниження вартості технічного обслуговування складних інженерних конструкцій можливе на основі впровадження

технічної діагностики як сукупності засобів і методів безперервного контролю. Саме такий контроль можливий за рахунок впровадження автоматизованих систем діагностування (АСД).

Досвід створення АСД технічного обладнання дозволяє визначити ряд основних принципів щодо розробки таких систем [6, 8-10]. Слід відзначити також, що формулювання і систематизація основних положень функціональності та технологічності складних технічних систем дозволяють визначити круг задач, які підлягають вирішенню внаслідок побудови такої АСД. У випадку розгляду складних металевих конструкцій в умовах експлуатації, на передній план постає питання діагностування напружено-деформованого стану таких конструкцій.

Важливе значення для створення АСД мають методи діагностування, які визначають трудомісткість діагностування, тривалість та об'єм розрахункових процесів, складність апаратних та програмних засобів, продуктивність системи, надійність діагностичної інформації, ступінь повноти діагностування та глибину пошуку [4, 8].

Формулювання мети

В статті запропоновано підхід до формування теоретичних основ системного аналізу та синтезу функціонування складних інженерних конструкцій на прикладі контролю напружено-деформованого стану в умовах їхньої експлуатації. Також пропонується схема автоматизованого діагностування напружено-деформованого стану складної технічної конструкції.

Виклад основного матеріалу

Оцінювання результатів досягнення мети здійснюється шляхом введення поняття ефективності для складних конструкцій, що враховує стратегію проектування u ($u \in U$ як мінімум ресурсоспоживання для досягнення мети); критерій ефективності технічного рішення, що визначає правила раціональної поведінки складної конструкції у вигляді оптимізації процесів досягнення фіксованої мети $K(u)$; показник ефективності $W(u)$ – інтегральний показник якості складної конструкції. Для запроектованих складних конструкцій $W(u) \in 0 \div 1$ – скаляр, значення якого має бути максимальним.

Морфологічний аналіз існуючих вимог дозволяє сформулювати наступні визначальні параметри:

$m_{ск}$ – задана маса складної конструкції;

t – задана оперативність;

H – задана відстань переміщення складної системи (висота);

A – ресурсоспоживання, необхідне для досягнення мети.

На основі теорії розмірності [9], що була застосована нами для опису технологічного процесу складної технічної конструкції з рухомими частинами, та здійсненого нами морфологічного аналізу існуючих вимог щодо технологічної ефективності такої конструкції, було визначено вид функції X при параметричному згортанні параметрів:

$$X(T) = G \frac{m_{ск} T H_{max}^2}{t^3 A}, \quad (1)$$

де G – стала прогнозованої ефективності складної технічної системи;

T – час функціонування складної технічної системи на момент здійснення аналізу;

H_{max} – максимальна відстань переміщення складної технічної системи.

На наступному, операційному рівні, вирішується проблема вибору технології складної конструкції (технологічних операцій виготовлення та введення в експлуатацію). Синтез функцій підготовки та введення в експлуатацію здійснюється на основі вирішення задачі Понтрягіна [5] для лінійних та нелінійних рівнянь, що описують технологічні процеси.

Модель технологічних процесів описується системою рівнянь

$$F_i(w_i, \dot{w}_i, \dots, w_i^{(k)}, \xi, \dot{\xi}, \dots, \xi^{(k)}, t) = 0, \quad (2)$$

$$i = 1, \dots, l; w_i \in R^q, \xi \in R^s$$

де ξ – узагальнена координата стану складної конструкції з R^q (гладка функція часу);

w_i – змінні з R^s , що характеризують зміну зовнішніх параметрів, таких як тиск, щільність, напруження, температура тощо;

R^q – q -мірний вектор зовнішніх параметрів;

R^s – s -мірний вектор станів складної конструкції.

При такій постановці проблеми синтезу технологій, використовуючи аналітичні положення теорії систем [6], можна довести наступні теоретичні положення:

1. Для технологічних процесів, що описуються лінійними рівняннями, всі агрегати і пристрої, що реалізують процеси просторового переміщення об'єктів складної конструкції, для яких допустиме поняття абсолютного твердого тіла, можуть мати опис цих процесів у вигляді лінійних диференціальних рівнянь.

Дане положення дозволяє сформулювати та довести теорему про те, що мінімальна реалізація процесів просторового переміщення цільового об'єкта при підготовці до експлуатації відповідає на функціонально-аналітичному рівні одному для кожного із цільових об'єктів конструкції.

2. Для технологічних процесів, що

описуються нелінійними рівняннями, всі механічні системи, що забезпечують створення необхідних потоків суцільних середовищ між рухомими частинами і наземною структурою конструкції, описуються фізичними закономірностями у вигляді нелінійних диференціальних рівнянь.

Дане положення дозволяє сформулювати та довести теорему про те, що мінімальна реалізація механічних потокових процесів, котрі супроводжують процес підготовки і введення в експлуатацію конструкції, досягається за умови вибору технологічних функцій, що протікають у вигляді процесів. Дані процеси не мають нестационарну доміанту або допуску їхньої лінеаризації.

3. Структура елемента конструкції, що допускає формалізацію у вигляді поєднання пари елементів, має мінімальну параметричну реалізацію, що відповідає її максимальній ефективності в досягненні поставленої мети, якщо граф у структурі елемента конструкції містить досконале паропоєднання.

Дане положення дозволяє сформулювати та довести теорему про те, що досконалий структурі конструкції при мінімальній затраті ресурсів на реалізацію заданих цілей відповідає дворядний граф з досконалим паропоєднанням.

Мінімізація затрат ресурсів на реалізацію надійної роботи складної технічної системи обумовлює створення та впровадження автоматизованих систем діагностування (АСД).

Можна розглядати АСД як специфічну систему управління, специфіка якої полягає саме в управлінні технічним станом об'єкта діагностування (ОД), і тому при створенні АСД використовуються деякі принципи теорії систем управління та контролю. Отже, АСД є сукупністю об'єкта діагностування, апаратно-програмних засобів та оперативного персоналу.

Включення в систему кожного із названих елементів передбачає їхній взаємозв'язок, взаємний вплив та необхідність узгодження характеристик, що визначає системний підхід до створення засобів діагностування (рис. 1). Це обумовлює необхідність монтування первинних перетворювачів в конструкцію ОД, розробки автоматизованих методів діагностування, а також засобів, здатних надійно функціонувати в умовах експлуатації та своєчасно видавати оператору

інформацію у зручній формі, а також вимагає узгодження енергетичних та часових характеристик елементів АСД.

Конструкція і технологічне призначення об'єкта визначає структуру АСД: види основних та допоміжних діагностичних параметрів, їхні граничні рівні вимірювання та частотні властивості; необхідну точність вимірювання та розрахунку діагностичних критеріїв; вид зв'язку та топологію системи; алгоритми діагностування об'єкта і його структурних одиниць; можливу глибину і точність діагностування; місце знаходження і умови роботи оператора [5].

В якості ОД розглядаємо сталеві конструкції затворів гідротехнічних споруд з єдиним центром управління. Для цих об'єктів розроблені зовнішня система діагностування (СД) та дві вмонтовані СД, що призначені для функціонування у складі об'єктів технологічного обладнання в умовах експлуатації.

Первинність мети та методів для синтезу апаратно-програмних засобів очевидні. Метою діагностування є отримання інформації про технологічний стан ОД, на основі якої здійснюється локалізація відмов і прогнозування залишкового ресурсу, а в ряді випадків здійснюється вплив на об'єкт, що попереджає створення аварійних ситуацій.

В системах більш високого рівня забезпечується автоматичне корегування зміни робочих параметрів та стабілізація технологічного процесу на основі методів адаптивного управління.

На початковому етапі створення АСД на якісному рівні формується мета, яка при практичній реалізації формує набір цілей для блоків, що складають систему. Формування дерева цілей є складною задачею, оскільки необхідне чітке розуміння, що потрібно зробити і скласти точне формулювання термінів, характерних для даної системи.

Для вмонтованих інформаційно-діагностичних систем вихідна мета сформульована наступним чином: отримати інформацію про стан технологічного середовища і технічний стан об'єкта, а також забезпечити безпеку об'єкта при недопустимих змінах параметрів в процесі експлуатації. На основі даної вихідної мети були сформульовані технічні вимоги до системи в цілому та для кожного блоку окремо.

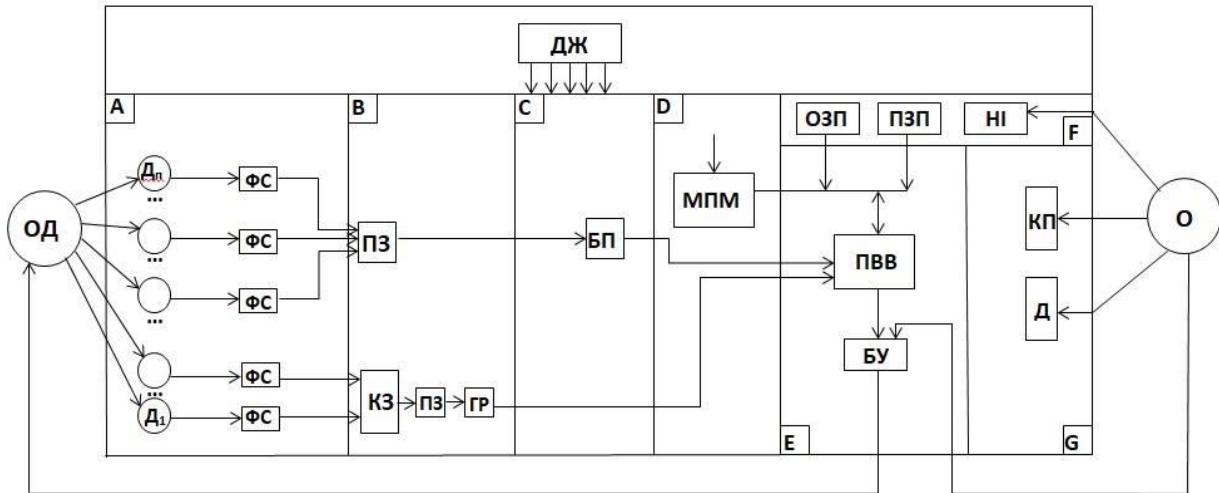


Рисунок 1 – Структурна схема АСД:

ОД – об’єкт діагностування; $D_1 \dots D_n$ – давачі; ФС – пристрій формування сигналів; ПЗ – передавач зв’язку; ГР – схема гальванічної розв’язки; КЗ – концентратор зв’язку; БП – блок перетворення; ДЖ – джерело живлення; МПМ – мікропроцесорний модуль; ОЗП та ПЗП – оперативний та постійний запам’ятовуючий пристрій; НІ – накопичувач інформації; КП – клавішний пристрій; Д – дисплей; БУ – блок управління; ПВВ – пристрій вводу – виводу; О – оператор

Для зовнішньої інформаційно-діагностичної системи вихідна мета сформульована наступним чином: провести вимірювання, порівняти значення робочих параметрів з заданими та оцінити якість виготовлення об’єкта. Ця система реалізована на основі використання ЕОМ, атестованих давачів робочих параметрів, метрологічного та програмного забезпечення.

При створенні АСД важливим є підбір методів діагностування. Саме метод діагностування пов’язує об’єкт, апаратні та програмні засоби в єдину систему, визначає алгоритми програм діагностування і дозволяє шляхом перетворення інформації, що міститься у змінах форми і частотного вмісту діагностичних параметрів, встановлювати взаємозв’язок між ознакою технологічного стану об’єкта і ознакою зміни структури діагностичних сигналів.

При розробці математичного забезпечення використані методи амплітудно-часових інтервалів, метод контрольних рівнів та метод решітчастих функцій. Дані методи виявились ефективними та їхнє використання дозволило розробити алгоритм обробки інформації, провести формалізацію процедури встановлення діагнозу та зробити вибір розрахункового ядра АСД.

Висновки

1. На даний час склалася ціла система критеріїв і запасів міцності, що гарантує працездатність об’єкта при дотриманні заданих умов експлуатації. Однак в деяких нормативних матеріалах не міститься прямих даних, що

кількісно визначають безпеку об’єкта. Більш орієнтованими на кількісне вирішення проблеми безпеки складних конструкцій є наступні критерії: надійність в умовах експлуатації; живучість (стійкість) при утворенні пошкоджень на різних стадіях розвитку відмов, аварій, катастроф; безпека (з врахуванням критеріїв і характеристик відмов, аварій, катастроф). Разом з тим обсяг нормування цих характеристик безпеки і надійності в реальній інженерній практиці надзвичайно малий.

2. На основі морфологічного аналізу складних технічних конструкцій доведено, що: мінімальна реалізація просторового переміщення об’єкта при підготовці до експлуатації відповідає на функціонально-аналітичному рівні одному для кожного із цільових об’єктів конструкції; мінімальна реалізація механічних поточкових процесів досягається за умови вибору технологічних функцій, що не мають нестационарну доміную або допуску їхньої лінеаризації.

3. Запропоновано принципи побудови системи діагностування напружено-деформованого стану складної технічної конструкції, в основі яких закладено теорії систем управління та контролю.

Список використаних джерел

1. Adams, D. Health Monitoring of Structural Materials and Components: Methods with

Applications / D. Adams. – John Wiley & Sons, Ltd., 2007. – 460 p.

2. Фролов К. В. Проблемы безопасности сложных технических систем / К. В. Фролов, Н. А. Махутов // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 1992. – № 5. – С. 3–11.

3. Яблонский С. В. Некоторые вопросы надежности и контроля управляющих систем / С. В. Яблонский // Математические вопросы кибернетики. – 1988. – № 1. – С. 5–25.

4. Бурау Н. Структурно-функціональний синтез систем діагностики конструкцій в експлуатації / Н. Бурау, О. Павловський, Д. Шевчук // Вісник ТНТУ. – 2013. – Том 72. – № 4. – С. 77–86.

5. Понтрягин Л. С. Обобщения чисел / Л. С. Понтрягин. – М., Наука, 1986. – 120 с.

6. Технические средства диагностирования: Справочник / В. В. Клюев, П. П. Пархоменко и др.: Под ред. В. В. Клюева. – М.: Машиностроение, 1989. – 672 с.

7. Вальков В. М. Микроэлектронные управляющие вычислительные комплексы: Системное проектирование и конструирование / В. М. Вальков. – Л.: Машиностроение, 1990. – 221 с.

8. Fuels Spills – An Automated Early-Warning System / O. Kuzko, V. Lytvynov, N. Bouraou, Y. Zukovsky, O. Kyrychuk // COMNAP-XXIV Science Symposium Proceedings, Portland, USA, 2012, pp. 77 – 85.

9. Van der Schaf A. J. On Realization of Nonlinear Systems Described by Higher – Order Differential Equations // Mathematical Systems Theory. 1987, Vol. 19, pp. 239–275.

10. Soloman, S. Sensors Handbook / S. Soloman. – McGraw-Hill Inc., 2010, 1424 p.

Надійшла до редакції 08.11.2017

Рецензент: д.т.н., проф. Квасніков В. П., Національний авіаційний університет, м. Київ.

Л. В. Кузьмич, к.т.н.

МЕТОДЫ ОБОСНОВАНИЯ СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОГО АНАЛИЗА И ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СЛОЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Обоснованы подходы по формированию теоретических основ системного анализа и синтеза функционирования сложных инженерных конструкций на примере контроля напряженно-деформированного состояния в условиях их эксплуатации.

Ключевые слова: безопасность, надежность, живучесть, морфологический анализ, конструкция, объект, автоматизированная система, диагностирования.

L. V. Kuzmych, PhD

STRUCTURAL-FUNCTIONAL ANALYSIS JUSTIFICATION METHODS AND PRINCIPLES OF THE DIAGNOSTIC SYSTEM OF THE STRESS-DEFORMED CONDITION OF COMPLEX CONSTRUCTIONS

Approaches to formation of the theoretical bases of the system analysis and synthesis of the functioning of complex engineering constructions on an example of a stress-deformed state control in conditions of their operation are grounded.

Keywords: safety, reliability, survivability, morphological analysis, design, object, automated system, diagnostics.

АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК

Братченко Г. Д.	58	Кузьмич Л. В.	85
Букреева О. С.	5	Кулаков П. І.	52
Ваганов О. І.	81	Кулакова А. П.	52
Величко О. М.	24, 39, 46	Кучерук В. Ю.	52
Вендичанський Р. В.	46	Мостовий Д. В.	52
Возикова Л. М.	81	Никитюк О. А.	16
Волков С. Л.	77	Новіков В. М.	16
Гордієнко Т. Б.	24	Плотнік А. І.	58
Григор'єв Д. В.	58	Поторак О. М.	19
Добровольська С. В.	81	Сичов М. І.	19
Жиленков В. О.	19	Смаглюк Г. Г.	58
Заболотний О. В.	32	Хусаїнов П. В.	65
Зарубенко А. О.	72	Щербак Ю. Г.	11
Ісаєв В. В.	39	Щербина Ю. В.	77
Коломієць Л. В.	19	Щесюк О. В.	11
Кузавков В. В.	72	Янковський О.Г.	72

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

БРАТЧЕНКО <i>Геннадій Дмитрович</i>	<i>Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса, проректор з наукової роботи та міжнародних зв'язків, доктор технічних наук, професор</i>
БУКРЕЄВА <i>Ольга Сергіївна</i>	<i>Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків, асистент кафедри Метрології та безпеки життєдіяльності, кандидат технічних наук</i>
БАГАНОВ <i>Олександр Іванович</i>	<i>Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса, професор кафедри нановимірювань та вимірювальної техніки, доктор технічних наук, професор</i>
ВЕЛИЧКО <i>Олег Миколайович</i>	<i>ДП «Всеукраїнський державний науково-виробничий центр стандартизації метрології, сертифікації та захисту прав споживачів» (ДП «Укрметртестстандарт»), м. Київ, директор Науково-виробничого інституту вимірювань електромагнітних величин та оцінки відповідності засобів вимірювальної техніки, доктор технічних наук, професор</i>
ВЕНДИЧАНСЬКИЙ <i>Руслан Валерійович</i>	<i>ДП «Всеукраїнський державний науково-виробничий центр стандартизації метрології, сертифікації та захисту прав споживачів» (ДП «Укрметртестстандарт»), м. Київ, заступник начальника науково-дослідного відділу вимірювань електричних величин</i>
ВОЗИКОВА <i>Людмила Михайлівна</i>	<i>Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса, викладач-асистент кафедри нановимірювань та вимірювальної техніки</i>
ВОЛКОВ <i>Сергій Леонідович</i>	<i>Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса, докторант</i>
ГОРДІЄНКО <i>Тетяна Богданівна</i>	<i>Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса, завідувач кафедри стандартизації, оцінки відповідності та якості, доктор технічних наук, доцент</i>
ГРИГОР'ЄВ <i>Денис Вікторович</i>	<i>Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса, аспірант</i>
ДОБРОВОЛЬСЬКА <i>Світлана Василівна</i>	<i>Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса, старший викладач кафедри нановимірювань та вимірювальної техніки</i>
ЖИЛЕНКОВ <i>Віктор Олександрович</i>	<i>Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса, студент</i>
ЗАРУБЕНКО <i>Артур Олегович</i>	<i>Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації, м. Київ, ад'юнкт НОВ</i>
ЗАБОЛОТНИЙ <i>Олександр Віталійович</i>	<i>Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», м. Харків, декан факультету систем управління літальних апаратів, кандидат технічних наук, доцент</i>
ІСАЄВ <i>Валентин Володимирович</i>	<i>ДП «Укрметртестстандарт», м. Київ, старший науковий співробітник, науково-дослідного відділу МЗ вимірювань електричних величин (Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса, здобувач)</i>

КОЛОМІЄЦЬ <i>Леонід Володимирович</i>	<i>Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса, ректор, доктор технічних наук, професор</i>
КУЗАВКОВ <i>Василь Вікторович</i>	<i>Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації, м. Київ, начальник кафедри ВІТІ, доктор технічних наук, доцент</i>
КУЗЬМИЧ <i>Людмила Володимирівна</i>	<i>Національний авіаційний університет, м. Київ, докторант, кандидат технічних наук, доцент</i>
КУЛАКОВ <i>Павло Ігорович</i>	<i>Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, професор кафедри метрології та промислової автоматики доктор технічних наук, доцент</i>
КУЛАКОВА <i>Анна Павлівна</i>	<i>Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, студент</i>
КУЧЕРУК <i>Володимир Юрійович</i>	<i>Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, завідувач кафедри метрології та промислової автоматики, доктор технічних наук, професор</i>
МОСТОВИЙ <i>Дмитро Вікторович</i>	<i>Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, аспірант</i>
НИКИТЮК <i>Олександр Андрійович</i>	<i>Національний медичний університет імені О. О. Богомольця, м. Київ, проректор з науково-педагогічної роботи та перспективного розвитку, доктор сільськогосподарських наук, професор</i>
НОВІКОВ <i>Володимир Миколайович</i>	<i>ВСП «Інститут підвищення кваліфікації фахівців в галузі технічного регулювання та споживчої політики» Одеської державної академії технічного регулювання та якості, м. Київ, директор, доктор фізико-математичних наук, професор</i>
ПЛОТНІК <i>Андрій Іванович</i>	<i>Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса, студент</i>
ПОТОРАК <i>Олександр Михайлович</i>	<i>Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса, старший викладач кафедри стандартизації та оцінки відповідності якості</i>
СИЧОВ <i>Михайло Іванович</i>	<i>Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса, доцент кафедри стандартизації та оцінки відповідності якості, кандидат хімічних наук, доцент</i>
ХУСАІНОВ <i>Павло Валентинович</i>	<i>Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації, м. Київ, докторант науково-організаційного відділу, кандидат технічних наук, доцент</i>
ЩЕРБАК <i>Юрій Георгійович</i>	<i>Чорноморський національний університет імені Петра Могили, м. Миколаїв, доцент кафедри якості, стандартизації та техногенно-екологічної безпеки, кандидат технічних наук, доцент</i>
ЩЕРБИНА <i>Юрій Володимирович</i>	<i>Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса, доцент кафедри комп'ютерних та інформаційно-вимірювальних технологій</i>
ЩЕСЮК <i>Олег Володимирович</i>	<i>Чорноморський національний університет імені Петра Могили, м. Миколаїв, доцент кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій, кандидат технічних наук, доцент</i>

СМАГЛЮК
Геннадій Геннадійович

*Одеська державна академія технічного регулювання та якості,
м. Одеса, аспірант кафедри комп'ютерних та інформаційно-
вимірювальних технологій*

ЯНКОВСЬКИЙ
Олег Георгійович

*Одеська державна академія технічного регулювання та якості,
м. Одеса, завідувач кафедри загально-технічної та фундаменталь-
ної підготовки, кандидат технічних наук, доцент*

Наукове видання

**ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ
ОДЕСЬКОЇ ДЕРЖАВНОЇ АКАДЕМІЇ
ТЕХНІЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ТА ЯКОСТІ**

Випуск 2(11) 2017

Редактор

Братченко Г. Д.

Комп'ютерна верстка

Постоварова В. Д.

Адреса редакції: 65020, м. Одеса, вул. Ковальська 15, ОДАТРА,

Тел.: (048)728-07-11 – довідки;

E-mail: bratchenkohd@gmail.com

*Надруковано з готового оригінал макету
в видавництві – друкарні «ВМВ»*

*Підписано до друку 25.12.2017
Формат 60*88/8. Папір офсетний.
Друк цифровий. Ум. друк. арк. 11,0
Тираж 300 прим.
65053, м. Одеса, пр-т Добровольського 84-а.
www.vmv.odessa.ua*