МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ



Одеська державна академія технічного регулювання та якості

ISSN 2412 – 5288 (Print)
ISSN 2414 – 9780 (Online)
DOI 10.32684/2412-5288-2020-2-17

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ ОДЕСЬКОЇ ДЕРЖАВНОЇ АКАДЕМІЇ ТЕХНІЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ТА ЯКОСТІ

2(17) 2020

ОДЕСА

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

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ ОДЕСЬКОЇ ДЕРЖАВНОЇ АКАДЕМІЇ ТЕХНІЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ТА ЯКОСТІ

Випуск 2(17) 2020

Заснований у 2012 р.
Засновник: Одеська державна академія технічного регулювання та якості
65020, м. Одеса, вул. Ковальська (Кузнечна), 15
Телефон: (048)726-68-92, факс: (048)726-76-95
E-mail: odatry@gmail.com
Сайти: www.kachestvo.od.ua (https://osatrq.edu.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)

Аніскін Олексій (к.т.н., доцент, Республіка Хорватія)
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., професор)
Грабовський Олег Вікторович (к.т.н., доцент)
Діденко Віктор Дмитрович (д.ф.-м.н., професор)
Зборовська Ірина Адамівна (к.т.н., доцент)
Квасніков Володимир Павлович (д.т.н., професор)
Корсун Валерій Іванович (д.т.н., професор)
Кучерук Володимир Юрійович (д.т.н., професор)
Лещенко Олег Іванович (к.т.н., доцент)
Мілковіч Марін (к.т.н., професор, Республіка Хорватія)
Мілованов Валерій Іванович (д.т.н., професор)
Меленчук Тетяна Михайлівна (д.т.н., доцент)
Новіков Володимир Миколайович (д.ф.-м.н., професор)
Салсеану Александру (д.т.н., професор, Румунія)
Семенова Алла Василівна (д.пед.н., професор)
Скачков Валерій Вікторович (д.т.н., професор)
Солдо Божо (д.т.н., професор, Республіка Хорватія)
Чундева-Блаєр Марія (д.т.н., професор, Республіка Північна Македонія)
Янковський Олег Георгійович (к.т.н., доцент)

Відповідальний секретар Братченко Геннадій Дмитрович

Внесений наказами Міністерства освіти і науки України від 02.07.2020 № 886 та від 24.09.2020 № 1188 до Переліку наукових фахових видань України (Категорія «Б»), галузь – технічні науки, спеціальності – 151, 152, 275.

Затверджений до друку і розповсюдження через мережу Інтернет Вченою Радою Одеської державної академії технічного регулювання та якості (протокол № 12 від 24.12.2020 р.).

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 18770-7570Р від 30.01.2012 р.

© Одеська державна академія технічного регулювання та якості

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

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE

ZBÌRNIK NAUKOVIH PRAC' ODES'KOÏ DERŽAVNOÏ AKADEMÌÏ TEHNÌČNOGO REGULÛVANNÂ TA ÂKOSTÌ (COLLECTION OF SCIENTIFIC WORKS OF THE ODESA STATE ACADEMY OF TECHNICAL REGULATION AND QUALITY)

Issue 2(17) 2020

Established in 2012
Founder is Odesa state academy of technical regulation and quality
15 Kovalska street, Odesa, 65020, Ukraine
Phone: (048) 726-68-92, fax: (048) 726-76-95
E-mail: odatry@gmail.com
Websites: www.kachestvo.od.ua (https://osatrq.edu.ua), odatrya.org.ua.

Editorial board

Editor-in-Chief
Kolomiets Leonid (DSc, Professor, Ukraine)
Deputy Editor
Bratchenko Hennadii (DSc, Professor, Ukraine)

Aniskin Aleksej (PhD, Associate Professor, Republic of Croatia)
Boriak Kostiantyn (DSc, Associate Professor, Ukraine)
Vahanov Oleksandr (DSc, Professor, Ukraine)
Velychko Oleh (DSc, Professor, Ukraine)
Volkov Serhii (PhD, Associate Professor, Ukraine)
Hasanov Yusif Nadir Ogly (DSc, Professor, Azerbaijan Republic)
Gordiyenko Tetyana (DSc, Professor, Ukraine)
Hrabovskyi Oleh (PhD, Associate Professor, Ukraine)
Didenko Viktor (DSc, Professor, Ukraine)
Zborovska Iryna (PhD, Associate Professor, Ukraine)
Kvasnikov Volodymyr (DSc, Professor, Ukraine)
Korsun Valerii (DSc, Professor, Ukraine)
Kucheruk Volodymyr (DSc, Professor, Ukraine)
Leshchenko Oleh (PhD, Associate Professor, Ukraine)
Milković Marin (PhD, Professor, Republic of Croatia)
Milovanov Valerii (DSc, Professor, Ukraine)
Melenchuk Tetiana (DSc, Associate Professor, Ukraine)
Novikov Volodymyr (DSc, Professor, Ukraine)
Salceanu Alexandru (DSc, Professor, Romania)
Semenova Alla (DSc, Professor, Ukraine)
Skachkov Valerii (DSc, Professor, Ukraine)
Soldo Božo (DSc, Professor, Republic of Croatia)
Cundeva-Blajer Marija (DSc, Professor, Republic of North Macedonia)
Yankovskyi Oleh (PhD, Associate Professor, Ukraine)

Secretary Bratchenko Hennadii

Included by orders of the Ministry of Education and Science of Ukraine from 02.07.2020 No. 886 and from 24.09.2020 No. 1188 to the List of scientific professional publications of Ukraine (Category "B"), branch – technical sciences, specialties –151, 152, 275.

Approved for printing and distribution through the Internet by the Academic Council of the Odesa State Academy of Technical Regulation and Quality (protocol No. 12 dated December 24, 2020).

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 18770-7570Р від 30.01.2012 р.

© Odesa State Academy of Technical Regulation and Quality

ЗМІСТ

Стандартизація, сертифікація, менеджмент якості 5

О. С. Букрєєва, к.т.н.
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РОЗРОБКИ МІЖНАРОДНИХ СТАНДАРТІВ СИСТЕМ МЕНЕДЖМЕНТУ (оглядова стаття)..... 6

Прилади та методи вимірювання фізичних величин, їх метрологічне забезпечення 13

В. В. Ісаєв, к.т.н., О. М. Величко, д.т.н.
ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕРЖАВНОГО ПЕРВИННОГО ЕТАЛОНУ ОДИНИЦІ СИЛИ ЗМІННОГО СТРУМУ (оригінальна стаття)..... 14

Ю. Л. Анохін, О. М. Величко, д.т.н.
ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕРЖАВНОГО ПЕРВИННОГО ЕТАЛОНУ ОДИНИЦІ КОЕФІЦІЄНТА МАСШТАБНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ НАПРУГИ ЗМІННОГО СТРУМУ ДО 750/√3 кВ (оригінальна стаття)..... 22

Інформаційно-вимірювальні системи і технології 28

О. В. Ткачук
ОПТИМАЛЬНА ОБРОБКА СИГНАЛІВ ЗОБРАЖЕНЬ НА ФОНІ ШУМОВИХ ПЕРЕШКОД В ІНФОРМАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ З АДАПТИВНОЮ АНТЕННОЮ РЕШІТКОЮ (оригінальна стаття). 29

О. М. Величко, д.т.н., О. В. Грабовський, к.т.н., Т. Б. Гордієнко, д.т.н.
ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСІВ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ (оригінальна стаття)..... 37

АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК..... 46

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ..... 47

РОЗДІЛ 1

Стандартизація, сертифікація, менеджмент якості

УДК 006.05:006.322

О. С. Букрєєва, к.т.н.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РОЗРОБКИ МІЖНАРОДНИХ СТАНДАРТІВ СИСТЕМ МЕНЕДЖМЕНТУ

У статті розглянуто процес розробки міжнародних стандартів систем менеджменту. Виявлено, що він відбувається в трьох напрямках: стандартизація загальних систем управління, їх конкретизація в різних галузях, надання рекомендацій щодо їх впровадження. Встановлено, що необхідність розробки кожного стандарту на систему менеджменту повинна бути підтверджена обґрунтуванням з точки зору його ринкової значущості. Також виявлено, що для стимулювання міжнародного співробітництва та практичного застосування систем управління в ISO розробили структуру і загальний текст, які повинні містити стандарти систем менеджменту. Цей підхід дозволить спростити процес розробки таких стандартів, процедуру добровільного підтвердження відповідності, створення на підприємстві інтегрованої системи управління.

***Ключові слова**: система менеджменту, міжнародна стандартизація, ідентичний загальний текст, галузева система менеджменту, принципи розробки стандартів на системи менеджменту.*

О. С. Букреева, к.т.н.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАЗРАБОТКИ МЕЖДУНАРОДНЫХ СТАНДАРТОВ СИСТЕМ МЕНЕДЖМЕНТА

В статье рассмотрен процесс разработки международных стандартов систем менеджмента. Выявлено, что он происходит в трех направлениях: стандартизация общих систем управления, их конкретизация в различных отраслях, предоставление рекомендаций по их внедрению. Установлено, что необходимость разработки каждого стандарта на систему менеджмента должна быть подтверждена обоснованием с точки зрения его рыночной значимости. Также выявлено, что для стимулирования международного сотрудничества и практического применения систем управления в ISO разработали структуру и общий текст, которые должны содержать стандарты систем менеджмента. Этот подход позволит упростить процесс разработки таких стандартов, процедуру добровольного подтверждения соответствия, создание на предприятии интегрированной системы управления.

***Ключевые слова**: система менеджмента, международная стандартизация, идентичный общий текст, отраслевая система менеджмента, принципы разработки стандартов на системы менеджмента.*

O. S. Bukrieieva, PhD

RESEARCH OF PROCESSES OF DEVELOPMENT OF INTERNATIONAL MANAGEMENT SYSTEMS STANDARDS

Today, management system standards are an integral part of the overall system of the enterprises control system and one of the effective methods to ensure the contentment of all stakeholders in various areas of activity. The development of management theory has allowed ISO to set up common management practices in form of international standards. Since international management system standards have implications for business practices at all levels and in all industries, research of processes and practice of their development is relevant.

It was revealed that the international standardization of management systems occurs in three directions: the standardization of general management systems, their concretization in various industries, and the provisioning of the recommendations for their implementation. Currently, ISO has developed 93 standards for management systems in the field of construction, innovation, energy, food and agriculture, packaging, medicine, information technology, social responsibility, mechanical engineering, safety, environment,

transport.

At the same time, the need to develop each standard for the management system should be confirmed by a justification in terms of its market significance. Also, to stimulate international cooperation and the practical application of management systems, ISO has developed a structure, common text and terms that should contain management system standards prepared directly by ISO or by various stakeholders at the national or industry level. It is noted that the technical committee-developer of the standard may apply additional specification to ensure that the draft standard being developed does not deviate from its terms of reference and high-level structure. It is concluded that this approach will simplify the process of developing such standards, the procedure for voluntary confirmation of conformity, the introduction of several management system standards and the creation of an integrated management system at the enterprise, which is seen as a way to better manage it.

***Keywords**: management system, international standardization, identical core text, sector-specific management system, principles for developing management system standards.*

DOI 10.32684/2412-5288-2020-2-17-6-12

Постановка проблеми в загальному вигляді. На сьогоднішній день стандарти систем менеджменту є невід'ємною частиною загальної системи управління підприємством. З'явившись на базі теорії управління якістю як окремої категорії, тепер вони – один з ефективних методів забезпечити задоволеність всіх зацікавлених сторін в різних сферах діяльності. Розроблені Міжнародною організацією зі стандартизації (ISO), стандарти систем менеджменту пропонують структурований підхід до досягнення цілей ділової практики. У той же час, стандарти ISO, хоча і є завершеним продуктом, мають рекомендаційний характер і можуть бути основою для модифікацій зацікавленими сторонами на всіх рівнях і у всіх галузях. Таким чином, цікавим є дослідження процесів міжнародної стандартизації систем менеджменту з точки зору їх актуалізації в конкретних сферах, що дозволило б використовувати цей підхід окремим підприємствам, галузевим об'єднанням та іншим суб'єктам стандартизації.

Аналіз публікацій. Як відзначають автори [1-5], перші дослідники конкурентоспроможності продукції і стійкості підприємств на ринку прийшли до висновку, що підтримування її якості на заданому рівні – завдання, що залежить від вищого керівництва організації, а значить, повинно бути частиною загального управління. Згодом, завдяки розвитку теорії наукового менеджменту і виникненню концепції життєвого циклу продукції, була чітко сформульована потреба в системному підході до забезпечення якості. Це дозволило здійснити глобальний перехід від управління якістю окремого виробу до рівня підприємств.

Однак, за даними дослідження [6], аж до 1980-х рр. бізнес-завдання «управління якістю» вважалося непридатним до стандартизації, тому що мало неоднорідний зміст в залежності від галузі, регіону, підприємства. Разом з тим, розвиток управлінських інновацій вилився у міжнародні стандарти цілісної системи менеджменту, які дозволяють стандартизувати формування загальних управлінських практик, оскільки орієнтовані на проектування систем менеджменту замість технічних вимог або жорстких технологічних інструкцій.

Почавши з моделей забезпечення якості на різних стадіях життєвого циклу продукції, з 1987 року було прийнято п'ять редакцій стандарту ISO 9001, основними принципами якого сьогодні є клієнтоорієнтованість, мотивація і залучення керівництва, процесний підхід і постійне вдосконалення. Автор [4] робить висновок, що такий підхід чинить систему менеджменту якості універсальним інструментом, що має стандартизований характер і дозволяє впроваджувати його в усі сфери діяльності.

У зв'язку з цим, в 1990-х рр. між двома комітетами ISO з систем управління, які в той час існували (системи управління якістю та системи управління навколишнім середовищем) почалася робота з підвищення сумісності між стандартами систем управління, щоб уникнути протиріч, оскільки багато підприємств використовували їх обидві. На початку 2000-х рр. у відповідь на відгуки користувачів була створена спільна цільова група між цими комітетами для сприяння подальшому погодженню стандартів ISO 9001 та ISO 14001. Розроблене спільне бачення і структура високого рівня, яка стала основою для подальшого розвитку міжнародної стандартизації систем менеджменту [7].

Ці та інші дослідження, а також аналіз змін стандартів серії ISO 9000, дали можливість автору [8] виявити основні тенденції в галузі стандартизації систем менеджменту якості: створення галузевих моделей, використання її як основи формування менеджменту сталого розвитку та

створення інтегрованих систем менеджменту. У галузі стандартизації систем менеджменту взагалі діяльність ISO спрямована на розширення об'єктів менеджменту, гармонізацію вимог стандартів на системи менеджменту для можливості спільного використання, розширення і конкретизацію складу вимог до управління [8].

Таким чином, **метою** статті є дослідження етапів і рекомендацій ISO з розробки галузевих стандартів систем менеджменту.

Викладення основного матеріалу дослідження. За даними офіційного сайту (https://www.iso.org), під стандартами систем менеджменту ISO розуміє чотири види документів в залежності від їх змісту: стандарти на вимоги до системи менеджменту, стандарти з додатковими вимогами до системи менеджменту в конкретному економічному або бізнес-секторі, супутні стандарти і керівні вказівки з їх впровадження, стандарти для впровадження конкретних аспектів системи менеджменту. З точки зору підтвердження відповідності системи менеджменту організації вимогам міжнародних стандартів, ISO розробляють стандарти систем менеджменту (основоположні документи для підтримування функції керівництва, які застосовуються в різних сферах економіки і типах організацій), стандарти типу А (на відповідність вимог яких підприємство може сертифікувати систему менеджменту), стандарти типу В (містять допоміжну інформацію і рекомендації щодо застосування стандартів типу А). Усього розроблено 93 стандарти в цій сфері, з них стандартів систем менеджменту (Management Standard, MS) 5 шт. (5,4%), типу А – 48 шт. (51,6%), типу В – 40 шт. (43%). Дані за секторами економіки наведені в табл. 1.

Основоположними документами, що визначають процедури, яких необхідно дотримуватися під час розроблення міжнародних стандартів, є директиви ISO / IEC [9, 10]. Згідно з ними, процес розробки стандартів на системи менеджменту має ряд особливостей в порівнянні з розробленням технічних стандартів. Всякий раз, коли робиться пропозиція про підготовку нового стандарту системи управління, відповідальний технічний комітет проводить дослідження обґрунтування. При цьому за можливістю пропонується визначити весь спектр результатів, які можуть бути отримані в процесі розробки, для кожного з результатів має бути підготовлено дослідження обґрунтування, яке направляється керівництву відповідного технічного комітету для оцінювання і голосування [9].

Процес обґрунтування описують з точки зору ринкової значущості пропозиції з розроблення стандарту на систему менеджменту за допомогою таких критеріїв: актуальність для зацікавлених сторін, сумісність з іншими міжнародними стандартами, сфера поширення, гнучкість, стимулювання вільного ринку, застосовність для цілей оцінювання відповідності, винятки, простота використання [9]. Таке обґрунтування не потрібно для стандартів типу В з керівними вказівками щодо застосування конкретного стандарту типу А, обґрунтування для якого вже було затверджено.

Оскільки міжнародні стандарти на системи менеджменту мають наслідки для ділової практики, всесвітньої підтримки цих стандартів, практичної участі національних органів стандартизації, потреб ринку в сумісних системах менеджменту, то всі стандарти на системи менеджменту (MS, тип А, тип В) повинні мати послідовну структуру, загальний текст і термінологію, звані структурою високого рівня (рис. 1), що її розробила ISO з цією метою.

Таблиця 1 – Перелік міжнародних стандартів систем менеджменту (https://www.iso.org)

Сектор	Тип	Кіл.	Сектор	Тип	Кіл.
Будівництво та конструкції	A	1	Горизонтальні об'єкти	MS	1
Управління бізнесом та інновації	A	8	Енергія	A	2
	B	9		B	4
Продовольство та сільське господарство	A	3	Машинобудування	A	1
	B	1		B	1
Перевезення, упаковка і дистрибуція	B	1	Здоров'я, медицина та лабораторне обладнання	A	4
Інформаційні технології, графіка та фотографія	A	8	Безпека та ризики	A	8
	B	8		B	8
	MS	2		MS	2
Сталий розвиток і навколишнє середовище	A	3	Транспорт	A	5
	B	6		B	2
Послуги	A	5			

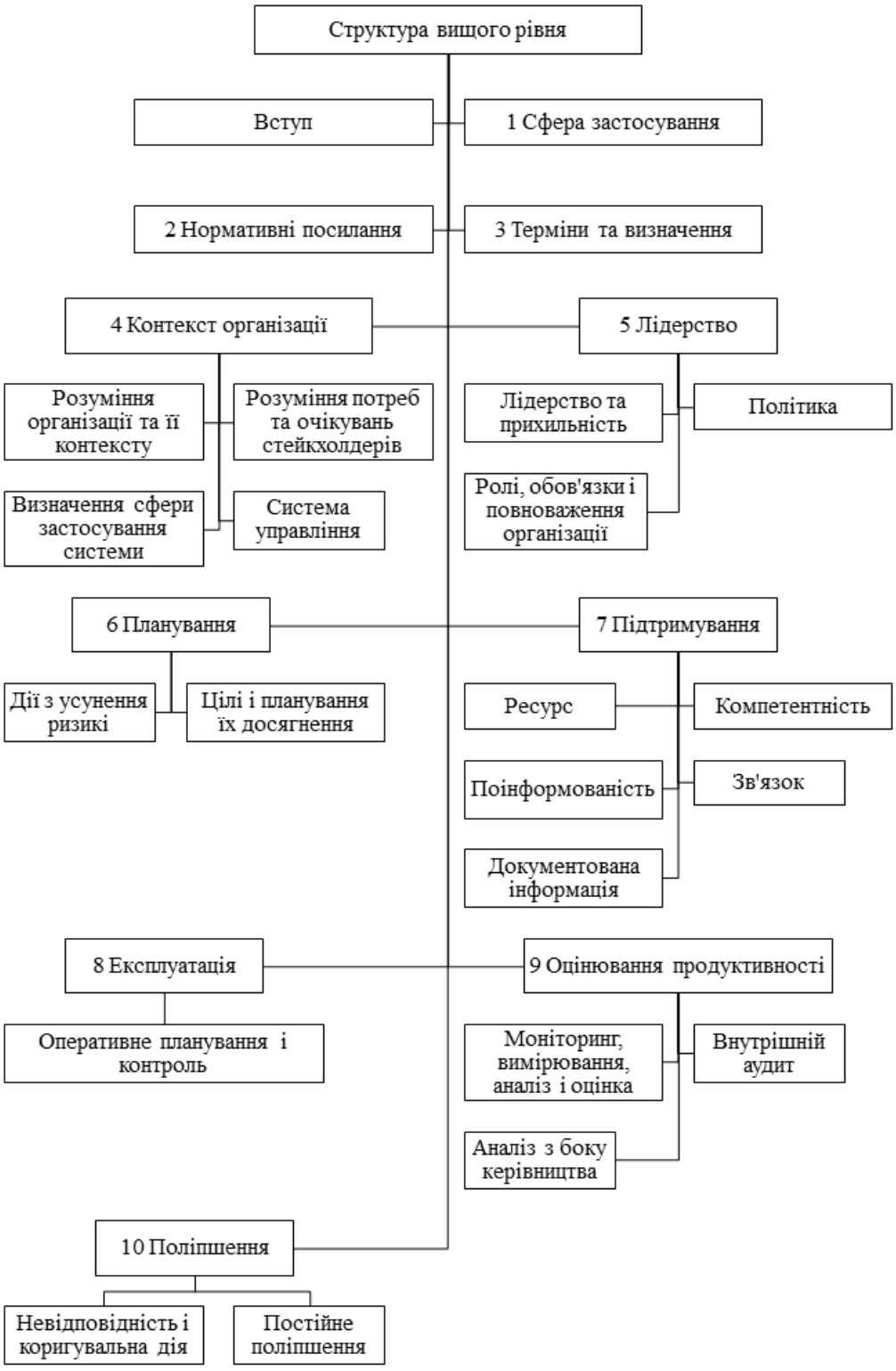


Рисунок 1 – Структура високого рівня міжнародних стандартів на системи менеджменту [9, 11]

У той же час, для стандартів типу В важливо, щоб їх функції і відношення до стандарту типу А були чітко визначені. Такими функціями можуть бути керівництво з використання стандарту типу А, керівництво зі створення, впровадження або вдосконалення системи управління. У випадку галузевих систем менеджменту також необхідно визначити їх функцію і зв’язок із загальною системою управління [9].

Етапи розроблення і прийняття стандартів на систему менеджменту виконують згідно із загальними правилами діяльності ISO, зазначе-

ними в [9, 10]. Однак, щоб мета розробки міжнародного стандарту на систему менеджменту була виконана так, як описано в дослідженні обґрунтування, перед розробленням робочого проекту технічний комітет може скласти проектну специфікацію, що стосується, як правило, таких питань:

– ідентифікація користувачів стандарту і пов'язаних з ними потреб, а також витрати і вигоди для цих користувачів;

– мета стандарту, назва і сфера застосування;

– сумісність розроблюваного проекту з іншими стандартами цієї серії, у тому числі ідентифікація загальних елементів і їх включення в рекомендовану структуру високого рівня;

– узгодженість з іншими документами, які будуть розроблені в рамках цієї серії стандартів.

При цьому, комітет, який розробляє стандарт на систему менеджменту, стежить за його розвитком відповідно до проектної специфікації, щоб гарантувати відсутність відхилень.

Оскільки стандарти систем менеджменту мають більш широку сферу застосування і впливають на широке коло інтересів користувачів, технічні комітети зобов'язані дотримуватися високопрозорого підходу до їх розроблення, гарантуючи, що можливості для участі у цьому процесі чітко визначені, і використовуються зрозумілі всім сторонам процедури.

Протягом усього життєвого циклу проекту технічний комітет надає інформацію про його прогрес, включаючи статус проекту на сьогоднішній день (в тому числі обговорювані питання), контактні дані для отримання додаткової інформації, комюніке та прес-релізи про пленарні засідання, а також регулярні списки запитань і відповідей, що їх часто задають.

Для підвищення обізнаності про проект стандарту на систему менеджменту на національному рівні технічний комітет повинен залучати національні органи-члени, надаючи проект в міру необхідності для різних зацікавлених і порушених сторін, в тому числі: органів акредитації та сертифікації, підприємств та спільнот користувачів разом з додатковою конкретною інформацією у разі потреби [9].

Комітет забезпечує, щоб технічна інформація про зміст розроблюваного стандарту на систему менеджменту була легко доступною для причетних членів, особливо в країнах, що розвиваються. Такий механізм спряє ефективному усуненню потенційних помилок на ранній стадії і виявленню проблем, які можуть зажадати поліпшення формулювань стандарту під час наступного циклу перегляду.

Надалі, після прийняття загального стандарту на систему менеджменту, може виникнути необхідність в розробленні галузевого стандарту, який містив би додаткові вимоги або керівництва в конкретному економічному або діловому секторі. На такий новий проект має бути складено чітке обґрунтування його ринкової релевантності та узгодженості, а його розроблення – організоване з дотриманням всіх правил і принципів розроблення загального стандарту на систему менеджменту. Крім того, стандарти систем управління для конкретної галузі не повинні інтерпретувати, змінювати або зменшувати вимоги загального стандарту.

Будь-який стандарт на галузеву систему менеджменту розробляють так, щоб він задовольняв таким вимогам: в його тексті зроблено посилання на загальний стандарт (в якості альтернативи пункти і підпункти можуть бути відтворені дослівно); якщо текст загального стандарту відтворюється в галузевому документі, він відділяється від інших елементів галузевого документа; терміни та визначення згадуються в нормативному порядку або відтворюються дослівно [9]. Рекомендації, як конкретизувати загальні терміни для галузевої системи управління, наведені в [12].

Наприклад, у сфері охорони навколишнього середовища комітети ISO можуть розробляти [9]:

– галузевий стандарт екологічного менеджменту, який містить додаткові вимоги або керівництво із застосування загального стандарту екологічного менеджменту в конкретному секторі економіки чи бізнесу;

– стандарт екологічного менеджменту для конкретних аспектів (управління парниковими газами, вплив продуктів на водне середовище та ін.);

– стандарт екологічного менеджменту для конкретних елементів (управління надзвичайними ситуаціями, збір даних або критичний аналіз в рамках оцінки життєвого циклу та ін.).

Проект обґрунтування останніх двох типів стандартів повинен описувати, чому загальний стандарт серії ISO 14000 недостатньо враховує потреби сектора, аспекту або елемента і як пропонований новий стандарт може ефективно вирішувати виявлені проблеми. Технічний комітет критично оцінює, чи потрібні додаткові галузеві, аспектні або елементні вимоги, на відміну від надання додаткових вказівок до загального стандарту екологічного менеджменту. Також в проекті такого стандарту враховують і відбивають потреби країн, що розвиваються, країн з перехідною економікою, малих і середніх підприємств й організацій, що працюють в різних секторах.

У будь-якому випадку, процес розробки галузевого стандарту на систему менеджменту повинен відповідати загальним вимогам, викладеним в [9].

У той же час, автори [13, 14] відзначають, що організації все частіше впроваджують кілька стандартів систем менеджменту для підвищення результативності, дієвості і впевненості зацікавлених сторін. Ця ситуація спонукає їх розглядати інтеграцію цих систем як спосіб більш ефективного управління ними та, в свою чергу, використовувати пов'язаний з цим синергізм. Проте, процес інтеграції систем менеджменту сам по собі не стандартизований, наприклад, міжнародним стандартом, який визначав би найкращий спосіб його виконання. Проте існують національні керівні принципи та міжнародний довідник ISO [15], який розглядає «інтегровану систему управління» як позначення результатів процесу інтеграції вимог з декількох стандартів системи управління в особливу систему менеджменту в рамках організації. Однак, цей довідник не забезпечує конкретну структуру інтегрованої системи управління в якості вимоги або орієнтиру, не віддає перевагу будь-якому стандарту і не містить будь-які перевірювані вимоги або додаткові зобов'язання.

Висновки. На основі проведених досліджень виявлено, що міжнародна стандартизація систем менеджменту відбувається в трьох напрямках: стандартизація загальних систем управління, їх конкретизація в різних галузях, надання рекомендацій щодо їх впровадження. При цьому, необхідність розроблення кожного стандарту на систему менеджменту повинна бути підтверджена обґрунтуванням з точки зору його ринкової значущості. Також, для стимулювання міжнародного співробітництва та практичного застосування систем управління в ISO розробили структуру, загальний текст і терміни, що їх повинні містити стандарти систем менеджменту, підготовлені безпосередньо ISO або різними зацікавленими сторонами на національному або галузевому рівні. Прикладом може бути стандарт Міжнародної робочої автомобільної групи IATF 16949 «Системи менеджменту якості. Додаткові вимоги щодо застосування ISO 9001 для виробництва автомобілів і комплектувальних виробів». Цей підхід дозволить спростити процес розроблення таких стандартів, процедуру добровільного підтвердження відповідності, впровадження декількох стандартів систем менеджменту і створення на підприємстві інтегрованої системи управління. Однак, виходячи з проведених досліджень, процес інтеграції не є одним і тим же у всіх організаціях, існує безліч можливих обмежень або детермінант процесу і його результатів, які визначають рівень інтеграції систем менеджменту, що може бути предметом подальших досліджень.

Список використаних джерел

1. Полховская Т.М. Стандартизация систем менеджмента: прошлое, настоящее, будущее. М*енеджмент качества*. 2008. № 1. С. 32–44.
2. Полховская Т.М. Международная стандартизация систем менеджмента качества: история, современное состояние и ближайшее будущее (начало). *Управление качеством*. 2015. № 5. С. 52-60.
3. Полховская Т. М. Международная стандартизация систем менеджмента качества: история, современное состояние и ближайшее будущее. *Управление качеством*. 2015. № 6. С. 47-56.
4. Свищев А. В., Годков М.А., Боровкова Н. В., Миронов А. С., Пономарев И.Н., Андреев Ю. В. История развития системы менеджмента качества и ее применение в практике учреждений здравоохранения. *Медицинский алфавит. Серия «Обозрение».* 2019. Т. 4. № 35 (410). С. 9–15. DOI: 10.33667/2078–5631–2019–4–35(410)-9–15
5. Ивахненко Е. А. Становление и развитие систем менеджмента качества. Сборник научных трудов 5-й Международной научно-технической конференции «*Качество в производственных и социально-экономических системах*». Курск, 21 апреля 2017 года. 2017. С. 114-121.
6. Hahn R. Standardizing Social Responsibility? New Perspectives on Guidance Documents and Management System Standards for Sustainable Development. *IEEE Transactions on Engineering Management*. 2012. vol. 59, no. 4. Pp. 717-727. DOI: 10.1109/TEM.2012.2183639.
7. Frequently Asked Questions in support of Annex SL / ISO TMB JTCG N 359. Geneva: ISO/IEC, 2013. 9 p.
8. Меркушова Н.И. Стандарты систем менеджмента: современное состояние, пути развития, проблемы использования. *Экономический анализ: теория и практика*. 2011. №47. С. 57-64.
9. ISO/IEC Directives, Part 1. Consolidated ISO Supplement – Procedures specific to ISO / ISO/IEC. Geneva: ISO/IEC, 2020. 184 p.
10. ISO/IEC Directives, Part 2. Principles and rules for the structure and drafting of ISO and IEC documents / ISO/IEC. Geneva: ISO/IEC, 2018. 156 p.
11. Concept document to support of Annex SL / ISO TMB JTCG N 360. Geneva: ISO/IEC, 2013. 36 p.

12. Terminology Guidance in support of Annex SL / ISO TMB JTCG N 361. Geneva: ISO/IEC, 2013. 11 p.

13. Bernardo M., Casadesus M., Karapetrovic S., Heras I. Integration of standardized management systems: does the implementation order matter? *International Journal of Operations & Production Management*. 2012. Vol. 32, No. 3. Pp. 291-307. DOI: 10.1108/01443571211212583.

14. Версан В.Г. Кризис в стандартизации систем менеджмента. Причины. Пути выхода. *Стандарты и качество*. 2009. № 3. С. 78-83.

15. The Integrated Use of Management System Standards (IUMSS): ISO Handbook, Second edition / ISO. Geneva: ISO, 2018. 140 p.

References

1. Polhovskaya T.M. Standartizaciya sistem menedzhmenta: proshloe, nastoyashhee, budushhee. *Menedzhment kachestva*. 2008. Vol. 1. Pp .32–44.

2. Polhovskaya T. M. Mezhdunarodnaya standartizaciya sistem menedzhmenta kachestva: istoriya, sovremennoe sostoyanie i blizhajshee budushhee (nachalo). *Upravlenie kachestvom*. 2015. Vol. 5. Pp. 52-60.

3. Polhovskaya T. M. Mezhdunarodnaya standartizaciya sistem menedzhmenta kachestva: istoriya, sovremennoe sostoyanie i blizhajshee budushhee (okonchanie)]. *Upravlenie kachestvom*. 2015. Vol. 6. Pp. 47-56.

4. Svischev A. V., Godkov M.A., Borovkova N. V., Mironov A. S., Ponomarev I.N., Andreev Yu. V. Istoriya razvitiya sistemy menedzhmenta kachestva i ee primenenie v praktike uchrezhdenij zdravooxraneniya. *Meditsinskiy alfavit. Seriya «Obozrenie».* 2019. Vol. 4. No 35 (410). Pp. 9–15. DOI: 10.33667/2078–5631–2019–4–35(410)-9–15.

5. Ivahnenko E. A. Stanovlenie i razvitie sistem menedzhmenta kachestva. Sbornik nauchnyih trudov 5-y Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii «*Kachestvo v proizvodstvennyih i sotsialno-ekonomicheskih sistemah*». Kursk, 21 aprelya 2017 goda. 2017. Pp. 114-121.

6. Hahn R. Standardizing Social Responsibility? New Perspectives on Guidance Documents and Management System Standards for Sustainable Development. *IEEE Transactions on Engineering Management*. 2012. vol. 59, no. 4. Pp. 717-727. DOI: 10.1109/TEM.2012.2183639.

7. Frequently Asked Questions in support of Annex SL / ISO TMB JTCG N 359. Geneva: ISO/IEC, 2013. 9 p.

8. Merkushova N.I. Standarty sistem menedzhmenta: sovremennoe sostoyanie, puti razvitiya, problemy ispol'zovaniya. *Ekonomicheskiy analiz: teoriya i praktika*. 2011. Vol. 47. pp. 57-64.

9. ISO/IEC Directives, Part 1. Consolidated ISO Supplement – Procedures specific to ISO / ISO/IEC. Geneva: ISO/IEC, 2020. 184 p.

10. ISO/IEC Directives, Part 2. Principles and rules for the structure and drafting of ISO and IEC documents / ISO/IEC. Geneva: ISO/IEC, 2018. 156 p.

11. Concept document to support of Annex SL / ISO TMB JTCG N 360. Geneva: ISO/IEC, 2013. 36 p.

12. Terminology Guidance in support of Annex SL / ISO TMB JTCG N 361. Geneva: ISO/IEC, 2013. 11 p.

13. Bernardo M., Casadesus M., Karapetrovic S., Heras I.I ntegration of standardized management systems: does the implementation order matter? *International Journal of Operations & Production Management*. 2012. Vol. 32, No. 3. Pp. 291-307. DOI: 10.1108/01443571211212583.

14. Versan V.G. Krizis v standartizacii sistem menedzhmenta. Prichiny. Puti vyxoda. *Standartyi i kachestvo*. 2009. Vol. 3. Pp. 78-83.

15. The Integrated Use of Management System Standards (IUMSS): ISO Handbook, Second edition / ISO. Geneva: ISO, 2018. 140 p.

Надійшла до редакції 19.11.2020

РОЗДІЛ 2

Прилади та методи вимірювання фізичних величин, їх метрологічне забезпечення

УДК 621.317.1

В. В. Ісаєв, к.т.н., **О. М. Величко**, д.т.н.

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

ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕРЖАВНОГО ПЕРВИННОГО ЕТАЛОНУ ОДИНИЦІ СИЛИ ЗМІННОГО СТРУМУ

Стаття присвячена результатам дослідження з метою вирішення проблеми метрологічного забезпечення виробництва та експлуатації термоелектричних перетворювачів сили струму, прецизійних вимірювачів і джерел сили змінного струму в галузях національної економіки. Оптимальним рішенням проблеми метрологічного забезпечення є створення національного еталона одиниці сили змінного струму.

У статті проведено теоретичні дослідження, порівняння із закордонними аналогами та аналіз методів вимірювання й відтворення сили змінного струму. Здійснено аналіз прецизійних засобів, призначених для вимірювання, відтворення й компарування сили та напруги змінного струму. Для побудови національного еталону обрано метод компарування сили змінного струму із еквівалентною силою постійного струму за допомогою прецизійного термоелектричного перетворювача та шунтів.

***Ключові слова**: державний еталон, сила струму, метрологічна характеристика, термоперетворювач, прецизійний шунт, невизначеність вимірювань.*

В. В. Исаев, к.т.н., **О. Н. Величко,** д.т.н.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГОСУДАРСТВЕННОГО ПЕРВИЧНОГО ЭТАЛОНА ЕДИНИЦЫ СИЛЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Статья посвящена результатам исследования с целью решения проблемы метрологического обеспечения производства и эксплуатации термоэлектрических преобразователей силы тока, прецизионных измерителей и источников силы переменного тока в отраслях национальной экономики. Оптимальным решением проблемы метрологического обеспечения является создание национального эталона единицы силы переменного тока.

В статье проведены теоретические исследования, сравнение с зарубежными аналогами и анализ методов измерения и воспроизведения силы переменного тока. Осуществлен анализ прецизионных средств, предназначенных для измерения, воспроизводства и компарирования силы и напряжения переменного тока. Для построения национального эталона выбран метод компарирования силы переменного тока с эквивалентной силой постоянного тока с помощью прецизионного термоэлектрического преобразователя и шунтов.

***Ключевые слова**: государственный эталон, сила тока, метрологическая характеристика, термопреобразователь, прецизионный шунт, неопределенность измерений.*

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

RESEARCH OF THE STATE PRIMARY STANDARD OF UNIT OF ALTERNATING CURRENT

The article is devoted to the results of the research in order to solve the problem of metrological support of production and operation of thermoelectric power converters, precision meters and AC power sources in the branches of the national economy. The optimal solution to the problem of metrological support is to create a national standard unit of alternating current.

The article conducts theoretical research, comparison with foreign analogues and analysis of methods for measuring and reproducing the strength of alternating current. The analysis of the precision means intended for measurement, reproduction and comparison of force and voltage of alternating current is carried out. Theoretical bases of creation of a high-precision standard of unit of alternating current are outlined. To build a national standard, the method of comparing the AC current with the equivalent DC current using a precision thermoelectric converter and shunts was chosen. The composition and requirements to the operat-

ing conditions of the national standard are determined.

Since the storage and reproduction of a unit of alternating current must be realized by comparison with the equivalent direct current, the main source of uncertainty of measurements of this unit is a combination of uncertainties of measurements of thermoelectric comparator Fluke 792A, precision shunts A40, which are part of the standard, output voltage meters measure the electrical resistance to direct current and the output signal of the thermocomparator. According to the results of research work, for the first time in Ukraine the national standard of an alternating current unit was put into operation.

Keywords: *state standard, current, metrological characteristic, thermal converter, precision shunt, measurement uncertainty.*

DOI 10.32684/2412-5288-2020-2-17-14-22

Вступ

Точні електровимірювальні прилади, зокрема цифрові амперметри, лічильники електроенергії, які мають вимірювальні кола електричної напруги і змінного струму, широко використовуються в галузі енергетики. Вони повинні мати перевірені метрологічні характеристики (МХ). Втрата точності лічильників електроенергії може призвести до щорічних багатомільйонних збитків національної економіки.

Недостатній рівень прецизійності метрологічного забезпечення гальмує розвиток українського виробництва засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) та випробувального обладнання для сили змінного струму, а також унеможливлює визнання цієї продукції на світовому рівні. Найбільш точними засобами вимірювання є державні первинні еталони (ДПЕ) [1].

Кількість високоточних вимірювачів струму, що експлуатуються в Україні, становить близько 250 одиниць, а загальна кількість ЗВТ для вимірювання змінного струму сягає 100000 одиниць. Для калібрування еталонів підприємств за межами держави необхідні значні щорічні валютні витрати. Подальша передача розміру одиниці до решти еталонів, яке має виконуватись за методикою кругових звірянь ЗВТ однакового рівня точності, не забезпечує для них необхідну метрологічну надійність та супроводжується значними трудовитратами [2].

З 2016 по 2019 рр. Державне підприємство «Укрметртестстандарт» здійснило науково-дослідну роботу з розробки державного первинного еталону одиниці змінного струму. Підставою для розробки цього еталону стала наявність великого парку ЗВТ цієї одиниці в Україні. У результаті цих робіт був створений державний (національний) первинний еталон України НДЕТУ ЕМ-03-2020, котрий дозволив реалізувати систему метрологічного забезпечення, яке матиме мінімальну залежність від національних метрологічних інститутів (НМІ) інших країн [3, 4].

Актуальним є дослідження шляхів створення національного еталону одиниці сили змінного струму та встановлення МХ такого еталону.

1 Аналіз публікацій та досліджень

Аналіз калібрувальних та вимірювальних можливостей НМІ [5] світу засвідчив, що переважну більшість методів реалізації національних еталонів виконано з використанням термоелектричного перетворення. Це дозволяє досягти невизначеності вимірювань в одиницях, десятках або сотнях мкА/А в залежності від частоти [6, 7].

Для високоточного відтворення та вимірювання електричних величин змінного струму із застосуванням термоелектричних перетворювачів використовують метод порівняння діючого значення гармонічного електричного сигналу з еквівалентною фізичною величиною постійного електричного сигналу з різночасовим компаруванням напруги або струму [8, 9]. Термоперетворювачі, що застосовуються при порівнянні характеризуються різницею між вхідним змінним сигналом та вхідним постійним сигналом під назвою AC-DC різниця передачі (похибка компарування).

ДПЕ має застосовуватись для визначення МХ вторинних еталонів, а також деяких прецизійних засобів вимірювання чи відтворення одиниці змінного струму. Відповідно до ДСТУ 3231 [10], ДПЕ повинен зберігатися та застосовуватися згідно з правилами зберігання та застосування. Його невиключена систематична похибка (НСП) та середнє квадратичне відхилення (СКВ) повинні бути добре дослідженими, нестабільність за рік не повинна перевищувати допустимого за паспортом значення.

2. Постановка завдання

ЗВТ, які слід калібрувати за допомогою ДПЕ, мають широку сферу застосування: облік електроенергії та енергоресурсів; виробництво вимірювальної та випробувальної техніки; наукові дослідження з вимірювання змінного струму під час фізичних експериментів тощо. Наявність ДПЕ створює передумови наявності системи метрологічного забезпечення з мінімальною залежністю від зовнішніх НМІ.

Зрозуміло, що ДПЕ має застосовуватись для відтворення одиниці змінного струму, а також для передавання розміру одиниці фізичної величини вторинним еталонам та деяким іншим прецизійним ЗВТ. Відповідно до ДСТУ 3231 [10], ДПЕ повинен зберігатися та застосовуватися у дуже стабільних умовах. Його МХ повинні бути добре визначеними, нестабільність за рік не повинна перевищувати визначеної величини. Оскільки ДПЕ найчастіше є складним комплексом ЗВТ, для його стабільного функціонування проводиться періодичне калібрування деяких складових, а також регулярне технічне обслуговування, заміна зіпсованих вузлів.

Метою статті є висвітлення результатів роботи зі створення ДПЕ одиниці змінного струму, зокрема:

- нарис теоретичного базису функціонування зазначеного еталону;
- формування складу комплексу вимірювальних приладів для відтворення одиниці змінного струму;
- оцінювання невизначеності вимірювань та інших МХ при розповсюдженні одиниці змінного струму.

3. Теоретичні основи створення національного еталона змінного струму

Всі існуючі в світі національні еталони одиниці сили змінного струму використовують наступні методи вимірювання – метод компарування змінного струму із еквівалентним постійним струмом за допомогою прецизійного термоелектричного перетворювача та шунтів, метод відтворення одиниці змінного струму з використанням багатофункціональних калібраторів-артефактів чи прецизійних вимірювачів із добре визначеними та дослідженими МХ, а також метод визначення величини струму шляхом обчислення за законом Ома для надто малих струмів [5].

Зважаючи на рівень національного науково-технічного та економічного розвитку, доцільним є використання в якості орієнтиру досвіду експлуатації національних еталонів країн з подібними показниками загального розвитку держави, наприклад, Польської Республіки, Туреччини чи Угорщини. В усіх перелічених державах в основу побудови еталонів найвищого рівня покладено метод термоелектричного компарування змінного струму з постійним струмом за допомогою термоелектричних AC-DC перетворювачів та шунтів [7].

На відміну від постійного струму, амплітуда змінних величин – сили чи напруги змінного струму – періодично змінює полярність і їхнє миттєве значення не є незмінною величиною у проміжку між зміною полярності. Кожне миттєве значення сили змінного струму має специфічну амплітуду та полярність. Постійна та змінна сили струму є еквівалентними в сенсі продукування ідентичного середнього значення потужності, розсіюваної на чистому активному опорі. Середня потужність розсіюється як тепло, що по черзі вимірюється сенсором, котрий має безпосередню залежність вихідної величини від температури й ця вихідна величина забезпечує сигнал постійної напруги, пропорційний вхідній температурі. Пристрої такого роду мають назву термоелектричні перетворювачі [11].

Оскільки головними елементами створюваного еталону мають бути прецизійний термоперетворювач та прецизійний шунт, слід розглянути особливості їхньої конструкції та техніки застосування. При дослідженні переходу від змінного до постійного струму, зазвичай фокусуються на особливостях використання термоелектричних перетворювачів для вимірювання середнього значення потужності, яка продукується змінним струмом на активному опорі, для порівняння із значенням потужності, що продукується еквівалентним постійним струмом на тому ж опорі [12]. Порівняння змінної й постійної сил струму частіше за все виконується з використанням термоелектричного перетворювача, котрий вимірює падіння напруги постійного та змінного струму уздовж струмового шунта.

Чутливим елементом такого термоперетворювача є термічний елемент - коротенький нагрівальний провідник із електрично ізольованою від нього термопарою. При чому обидва елементи розміщуються у скляній вакуумованій оболонці. Почергово вхідні сигнали постійного й змінного струму потрапляють на вхід термоперетворювача, спричиняючи протікання струму відповідного роду крізь нагрівальний елемент, внаслідок чого відбувається підвищення температури, котре відображується у вихідному сигналі термопари. Внаслідок того, що електрична потужність пропорційна квадратичному значенню сили струму залежність вихідної термоелектрорушійної сили E_{TCC} перетворювача сили струму термоелектричного має вигляд:

$$E_{TCC} = k \cdot I^2, \qquad (1)$$

де k – характеристичний коефіцієнт термоперетворювача сили струму;

I – діюче значення сили змінного струму чи еквівалентне значення постійної сили струму.

Максимальне значення вимірюваної термоперетворювачем сили струму визначається вели-

чиною перерізу нагрівача, котрий безпосередньо вмикається у ланцюг, де протікає вимірюваний струм. Діапазон сили струму, що можливо вимірювати за допомогою термоперетворювачів становить від одиниць міліампер до десятків ампер.

Максимальна частота вимірюваного струму залежить від перерізу нагрівача та його довжини й за мінімальних розмірів сягає сотень мегагерц. До головних переваг термоелектричних перетворювачів на базі термопари слід віднести незалежність показів таких ЗВТ від форми кривої вхідного сигналу, як наслідок, високу точність порівняння величин постійного та змінного струмів. До недоліків слід віднести нелінійну залежність вихідного сигналу та неприпустимість перевантаження вхідного кола термоперетворювача. На відміну від попереднього типу термоперетворювачів, RMS-сенсори мають майже лінійну залежність вихідного сигналу $U_{вих}$ від вхідного:

$$U_{вих} = K \cdot U_{вх}, \qquad (2)$$

де K – характеристичний коефіцієнт термоперетворювача на базі RMS-сенсору;

$U_{вх}$ – діюче значення вхідної напруги змінного струму чи еквівалентне значення постійної напруги.

Прецизійний термоперетворювач, котрий входить до складу створеного еталону, а саме Fluke 792A, у своїй конструкції містить RMS-сенсор, струм крізь який не повинен перевищувати 10 мА. З метою розширення діапазону вимірюваної сили струму до необхідних за технічним завданням значень використовується комплект прецизійних шунтів A40, вихідна напруга якого повинна потрапляти на термоперетворювач Fluke 792A.

Елементарний шунт являє собою низькоомний резистор та виконує функцію перетворення сили електричного струму у напругу. Головним недоліком шунта вважається відсутність гальванічної розв'язки між колом, у якому протікає вимірюваний струм та колом обробки інформативного сигналу. Для того, щоб збільшення температури шунта під час протікання струму в ньому не спричиняло зміни вихідної термо-ЕРС термоперетворювача, шунти виготовляють з матеріалів із великим питомим опором та малим температурним коефіцієнтом (константан, манганін, нікелін тощо).

Невизначеність вимірювального шунта залежить від параметрів оточуючого повітря (найбільше від температури), наявності реактивної складової опору, паразитної ємності. Коаксиальні шунти виробництва фірми Fluke типу A40, спроектовані спеціальним чином, що уможливлює зменшення індуктивності шунтів до надмалих значень.

Що стосується елементів створюваного еталону, котрі необхідні для визначення еквівалентного значення сили постійного струму, а саме, міра електричного опору постійному струмові й прецизійний вимірювач її вихідної напруги, їхній вплив на результат відтворення одиниці сили змінного струму прямує до нехтовних величин, в порівнянні з впливом вище розглянутих головних елементів – прецизійних шунтів і термоперетворювача, сумарний внесок яких на порядок вищий.

Цикл вимірювання зазвичай триває від трьох до шести хвилин і складається з декількох етапів почергового подання змінного струму та постійного струму. Таким чином зводиться до мінімуму вплив термоелектричних ефектів в середині термоперетворювачів і дрейфу під час вимірювання. При цьому необхідно контролювати значення вихідного сигналу опорного термоперетворювача Fluke 792A зі складу створеного еталону, яке має нехтовну величину дрейфу в порівнянні з термоперетворювачем, котрому передається розмір одиниці змінного струму. У випадку передавання зазначеної одиниці прецизійному вимірювачу чи джерелу струму, таким чином компенсується п'ятихвилинний дрейф цих засобів вимірювальної техніки.

4. Формування складу національного еталона змінного струму

ДП «Укрметртестстандарт» має позитивний досвід експлуатації [13] прецизійних ЗВТ таких, як прецизійний термокомпаратор 792A, а також багатофункціональний калібратор 5720A, виробництва фірми Fluke, США, прецизійний мультиметр 3458A, виробництва фірми Hewlett-Packard, США тощо, технічно доцільним та економічно обґрунтованим є використання саме таких технічних засобів у складі розроблюваного державного первинного еталону одиниці змінного струму.

Прецизійний термокомпаратор Fluke 792A та шунти A40 мають багаторічну історію застосування у якості еталонів найвищого рівня у багатьох країнах світу [14, 15], а винятково великий досвід виробництва прецизійних засобів вимірювальної техніки фірмою Fluke та її позитивний імідж у світі, свідчать на користь саме такого вибору. Окрім цього, слід відзначити, що розробка та дослідження окремого комплекту термоперетворювачів сили змінного струму, як це реалізовано, наприклад, у Національному інституті стандартів та технологій NIST, США

[16], потребуватиме залучення значних обсягів фінансування й багаторічних досліджень, що на сьогоднішній день не є адекватним рішенням.

Для реалізації еталону необхідно щонайменше 11 прецизійних шунтів А40 виробництва фірми Fluke Corporation для ряду номінальної сили змінного струму, що дозволить метрологічно забезпечити підлеглі засоби вимірювальної техніки у діапазоні сили струму від 0,01 до 20 А та у діапазоні частот від 10 Гц до 100 кГц, а саме - шунт А40 10 мА, шунт А40 20 мА, шунт А40 50 мА, шунт А40 100 мА, шунт А40 200 мА, шунт А40 500 мА, шунт А40 1 А, шунт А40 2 А, шунт А40 5 А, шунт А40 10А, шунт А40 20 А.

За допомогою спеціального узгоджувального адаптера 792А/7004 вимірювальна інформація з виходу шунта потрапляє на вхід термоелектричного прецизійного перетворювача 792А. Таким чином, прецизійні шунти А40 у поєднанні з прецизійним AC-DC перетворювачем 792А являтимуть собою основу державного еталону одиниці сили змінного стуму. Для забезпечення високої метрологічної точності опосередкованого вимірювання сили постійного струму за законом Ома, необхідна стабілізована міра постійної напруги, котра передаватиме розмір одиниці сталої напруги від ДПЕ до прецизійних вимірювачів постійної напруги, які вимірюватимуть вихідні сигнали термоперетворювачів сили струму й міри опору.

5. Результати досліджень еталона

ДПЕ одиниці сили змінного струму призначений для відтворення, зберігання та передавання розміру одиниці сили струму вторинним еталонам та іншим високоточним ЗВТ з метою забезпечення єдності вимірювань в державі.

Загальний вигляд Державного первинного еталона одиниці сили змінного струму представлений на рисунку 1.



Рисунок 1 – загальний вид Державного первинного еталона одиниці сили змінного струму

Еталон складається із комплексу високоточних ЗВТ:

- комплект з 2-х мір напруги Н4-100;
- комплект з 11-ти прецизійних струмових шунтів А40;
- комплект з 5-ти мір електричного опору (МС 3050М; 2хМС 3061; 2хР321);
- еталонний термоелектричний компаратор напруги постійного і змінного струму Fluke 792А;
- компаратор напруги постійного струму Р3003;
- калібратор-компаратор універсальний КМ300К;
- прецизійний мультиметр Agilent 3458A;
- калібратор постійного та змінного струму Fluke 5522A;
- перетворювач-підсилювач Clarke-Hess

8100.

Діапазон значень сили змінного струму, відтворюваних еталоном складає:

- від 1 мА до 5 А для діапазону частот від 10 Гц до 100 кГц

- понад 5 А до 20 А для діапазону частот від 10 Гц до 50 кГц.

ДПЕ забезпечує відтворення одиниці сили струму з СКВ результатів вимірювань, яке знаходиться в інтервалі від $3 \cdot 10^{-6}$ до $1 \cdot 10^{-4}$ при 10-ти незалежних спостереженнях.

НСП створеного еталона не перевищує значень, які знаходяться в інтервалі від $1 \cdot 10^{-5}$ до $5 \cdot 10^{-4}$.

Еталон забезпечує відтворення/зберігання одиниці вимірювання з невизначеністю:

- стандартна відносна невизначеність за типом А – $u_A = 2{,}1 \cdot 10^{-6} \div 1{,}0 \cdot 10^{-4}$;

- стандартна відносна невизначеність за типом В – $u_B = 1{,}3 \cdot 10^{-5} \div 5{,}9 \cdot 10^{-4}$;

- сумарна відносна стандартна невизначеність – $u_c = 1{,}3 \cdot 10^{-5} \div 6 \cdot 10^{-4}$;

- розширена відносна невизначеність – $U = 2{,}6 \cdot 10^{-5} \div 1{,}2 \cdot 10^{-3}$ (при коефіцієнті охоплення $k = 2$ та довірчої ймовірності $P = 0{,}95$).

Нестабільність державного еталона за рік не перевищує значень, які знаходяться в інтервалі від $1{,}2 \cdot 10^{-5}$ до $3 \cdot 10^{-4}$.

Для зберігання і відтворення МХ еталона умови зберігання та застосування еталона повинні задовольняти наступним вимогам:

умови зберігання:

- температура навколишнього повітря – від 15 до 30 °С;

- відносна вологість навколишнього повітря – до 80 %;

- атмосферний тиск – від 84 до 106 кПа;

умови застосування:

- температура навколишнього повітря – 23 ± 2 °С;

- відносна вологість навколишнього повітря – до 80 %;

- атмосферний тиск – від 84 до 106 кПа;

- напруга мережі живлення – від 198 до 242 В;

- частота мережі живлення – від 49,6 до 50,4 Гц;

- потужність, споживана еталоном – не більше 2 кВА.

Відтворення одиниці сили змінного струму здійснюється шляхом порівняння середньоквадратичного значення сили змінного струму з еквівалентним значенням сили постійного струму, визначеного за законом Ома. Таким чином, відбувається перехід від одиниць напруги постійного струму й електричного опору до сили змінного струму. Порівняння еквівалентних значень сил струму здійснюється за допомогою прецизійних шунтів А40 в поєднанні з еталонним термоелектричним компаратором напруги постійного та змінного струму Fluke 792A.

Відтворення одиниці сили постійного струму здійснюється за допомогою комплекту ЗВТ, до якого входять міри напруги Н4-100, комплект мір електричного опору (МС3050М, МС3061, Р321), калібратор сили і напруги постійного та змінного струму Fluke 5522A (в режимі сили або напруги постійного струму), калібратор-компаратор універсальний КМ300К, та компаратор напруг Р3003. При цьому передавання на еталон розміру одиниці напруги від первинного еталона ЕРС та постійної напруги здійснюється за допомогою мір напруги Н4-100, а розміру одиниці опору від первинного еталона електричного опору здійснюється за допомогою зазначеного комплекту мір електричного опору.

Генерація сили змінного струму у діапазоні частот від 20 Гц до 100 кГц здійснюється за допомогою калібратора сили і напруги постійного та змінного струму Fluke 5522A та підсилювача-перетворювача напруги у силу струму Clarke-Hess 8100A. Встановлена сила струму при порівнянні протікає крізь прецизійний шунт А40, вихідний сигнал якого потрапляє на вхід термоелектричного компаратора Fluke 792A. В еталоні застосовується метод різночасового порівняння.

Дослідження МХ еталона здійснюється один раз на рік. Періодичність калібрування комплекту еталонних шунтів А40 – 1 раз на 4 роки.

Результати оцінювання НСП, СКВ і сумарної стандартної невизначеності ДПЕ одиниці сили змінного струму наведені у табл. 1-3 відповідно.

Таблиця 1 – Оцінювання НСП ДПЕ одиниці сили змінного струму

Сила змінного струму, А	Частота, кГц	Вхідна величина	Оцінка вхідної величини	Розширена невизначеність вхідної величини	Внесок у сумарну НСП, %
20	0,01	R_M, Ом	0,001000057	0,000000008	12,2
		V_+, В	0,0200218	0,00 00018	7,6
		V_-, В	–0,0200219	0,00000018	7,6
		δ_{TC}	0,00004	0,00002	30,5
		δ_{SH}	0,000004	0,000039	59,4
		V_{ac}, В	0,4004658	0,0000008	1,2
		V_{dc+}, В	0,4004657	0,0000008	1,2
		V_{dc-}, В	0,4004659	0,0000008	1,2
Оцінка вихідної величини, А		Оцінка сумарної НСП, А		Оцінка відносної сумарної НСП	
20,020659		1,14E-03		5,69E-05	

Таблиця 2 – Оцінювання СКВ ДПЕ одиниці сили змінного струму

Сила змінного струму, А	Частота, кГц	Вхідна величина	Оцінка вхідної величини	СКВ вимірювання вхідної величини	Внесок у сумарне СКВ, %
20	0,01	R_M, Ом	0,001000057	-	-
		V_+, В	0,0200218	0,0000001	28,
		V_-, В	–0,0200219	0,0000001	28,6
		δ_{TC}	0,00004	-	-
		δ_{SH}	0,000004	-	-
		V_{ac}, В	0,4004658	0,0000015	42,9
		V_{dc+}, В	0,4004657	0,000001	14,3
		V_{dc-}, В	0,4004659	0,000001	14,3
Оцінка вихідної величини, А		Оцінка сумарного СКВ, А		Оцінка відносного сумарного СКВ	
20,02066		1,75E-04		8,75E-06	

Таблиця 3 – Оцінювання сумарної стандартної невизначеності ДПЕ одиниці сили змінного струму

Сила змінного струму, А	Частота, кГц	Вхідна величина	Оцінка вхідної величини	Оцінка стандартної невизначеність (тип А чи В)	Коефіцієнт чутливості	Внесок у сумарну стандартну невизначеність, А
20	0,01	R_M, Ом	0,001000057	0,4E-08 (В)	-20000 В/Ом^2	8,0E-05
		V_+, В	0,0200218	1,0E-07 (А)	1000 Ом$^{-1}$	1,0E-04
				1,8E-07 (В)		2,0E-04
		V_-, В	–0,0200219	1,0E-07 (А)	1000 Ом$^{-1}$	1,0E-04
				1,8E-07 (В)		2,0E-04
		δ_{TC}	0,00004	1,0E-05 (В)	20 А	2,0E-04
		δ_{SH}	0,000004	2,0E-05 (В)	20 А	3,9E-04
		V_{ac}, В	0,4004658	1,5E-06 (А)	50 Ом$^{-1}$	7,5E-05
				8,0E-07 (В)		4,0E-05
		V_{ac}, В	0,4004657	1,0E-06 (А)	–50 Ом$^{-1}$	5,0E-05
				8,0E-07 (В)		4,0E-05
		V_{dc-}, В	0,4004659	1,0E-06 (А)	–50 Ом$^{-1}$	5,0E-05
				8,0E-07 (В)		4,0E-05
Оцінка вихідної величини, А		Оцінка сумарної стандартної невизначеності, А		Сумарна стандартна відносна невизначеність		Розширена невизначеність
20,02066		5,04E-04		2,52E-05		5,04E-05

Висновки

За результатами виконаної науково-дослідної роботи спеціальною комісією було зроблено офіційний висновок про відповідність створеного еталону технічному завданню та про можливість надання статусу національного еталону України. Таким чином, фахівцями ДП «Укрметртестстандарт» створено головний елемент системи метрологічного забезпечення виробництва та експлуатації засобів вимірювань сили змінного струму.

В роботі, зокрема:

- розглянуто теоретичні основи функціонування державного первинного еталону одиниці сили змінного струму, де зазначені основні процеси, що супроводжують відтворення зазначеної одиниці;

- сформовано склад комплексу вимірювальних приладів для відтворення одиниці сили змінного струму, зокрема, визначено необхідні засоби вимірювання, джерела струму, еталонні міри;

- досліджено основні метрологічні характеристики створеного еталону, а саме: невиключену систематичну похибку, середнє квадратичне відхилення, сумарну стандартну невизначеність вимірювань при відтворенні одиниці сили змінного струму.

Список використаних джерел

1. Ісаєв В. Проблема прецизійного вимірювання сили змінного струму в Україні. XIII Міжнародна конференція «Modern scientific potential 2017», 2017, С. 34-38.

2. Velychko O., Gordiyenko T. Metrological Traceability at Different Measurement Levels. Standards, Methods and Solutions of Metrology / Edited by Luigi Cocco. Published by IntechOpen, London, United Kingdom. 2019. Chapter 1. P. 1–21. DOI: 10.5772/intechopen. 84853.

3. Isaiev V. V. Development stages of state standard of alternating current unit. XIV International scientific conference “Current research and development – 2018”, 2018, vol. 8, P. 17-21.

4. Isaiev V., Velychko O. Evaluating uncertainty of alternating current reproduction using national standard. 24th IMEKO TC4 International Symposium, 2020, P. 385-389.

5. Calibration and Measurement Capabilities – CMCs. URL: https://www.bipm.org/kcdb/

6. Kinard J.R., Hastings J. R., Lipe T. E., Childers C. B. AC-DC difference calibrations. NIST special publication 250-27. National Institute of Standards and Technology (US), 1989, 312 c.

7. Klonz M., Laiz H., Spiegel T., Bittel P. AC-DC current transfer step-up and step-down calibration and uncertainty calculation. IEEE Transactions on instrumentation and measurement, 2002, vol. 51, no. 5., 1027-1034.

8. Pogliano U., Bosco G. C., Lanzillotti M. Generalized automatic system for ac/dc transfer, ac voltage, and ac current measurements. IEEE Transactions on instrumentation and measurement, 2006, vol. 55, no. 5, 1747-1751.

9. Pogliano U., Bosco G. C., Serazio D. Coaxial shunts as ac–dc transfer standards of current // IEEE Transactions on instrumentation and measurement, 2009, vol. 58, no. 4, 872-877.

10. ДСТУ 3231:2007 Метрологія. Еталони одиниць вимірювань державні, первинні та вторинні. Основні положення, порядок розроблення, затвердження, реєстрації, зберігання та застосування // Держспожистандарт України, 2008, 24 с.

11. Halawa M., Al-Rashid N. Performance of single junction thermal voltage converter (SJTVC) at 1 MHz via equivalent electrical circuit simulation // 12th International conference on computer modelling and simulation, 2010, P. 631-636.

12. Calibration: Philosophy in Practice. Fluke Corporation, 1994, 526 p.

13. Величко О., Ісаєв В. Дослідження метрологічних характеристик державного первинного еталону одиниці змінної напруги. Метрологія та прилади, 2017, № 5, 13-19.

14.Funck T., Hadzhieva I. Draft B report of EUROMET.EM-K6.a. Metrologia, 2007, vol. 44, 01012-01012.

15.Heine G., Garcocz M., Waldmann W. International comparison of ac-dc current transfer standards. Metrologia, 2017, vol. 54(1A), 01011.

16.Kinard J. R., Lipe T. E., Childers C. B. Extension of the NIST ac-dc difference calibration service for current to 100 kHz. Journal of research of the national institute of standards and technology, 1997, vol. 102, no. 1, 75-83.

References

1. Isaiev, V. (2017). Problem of precision measurement of the alternating current in Ukraine. XIII International scientific and practical conference «Modern scientific potential 2017».

2. Velychko, O., Gordiyenko, T. (2019). Metrological Traceability at Different Measurement Levels. Standards, Methods and Solutions of Metrology. Edited by Luigi Cocco. Published by IntechOpen, London, United Kingdom. Chapter 1. pp. 1–21. DOI: 10.5772/intechopen. 84853.

3. Isaiev, V. V. (2018). Development stages of state standard of alternating current unit. XIV International scientific conference “Current research and

development – 2018".

4. Isaiev, V., Velychko, O. (2020). Evaluating uncertainty of alternating current reproduction using national standard. 24th IMEKO TC4 Internat ional Symposium, 2020.

5. Calibration and Measurement Capabilities – CMCs. Available at: https://www.bipm.org/kcdb/

6. Kinard, J.R., Hastings, J. R., Lipe, T. E., Childers, C. B. (1989). AC-DC difference calibrations. NIST special publication 250-27. National Institute of Standards and Technology (US).

7. Klonz, M., Laiz, H., Spiegel, T., Bittel, P. (2002). AC-DC current transfer step-up and step-down calibration and uncertainty calculation. IEEE Transactions on instrumentation and measur ement, 51(5), 1027-1034.

8. Pogliano, U., Bosco, G. C., Lanzillotti, M. (2006). Generalized automatic system for ac/dc transfer, ac voltage, and ac current measurements. IEEE Transactions on instrumentation and measurement, 55(5), 1747-1751.

9. Pogliano, U., Bosco, G. C., Serazio, D. (2009). Coaxial shunts as ac–dc transfer standards of current. IEEE Transactions on instrumentation and measurement, 58(4), 872-877.

10. DSTU 3231:2007 Metrology. Primary and secondary state standards of units of measurements. Main points, order of development, approval, registration, storage and use. Derzhspozhystandart of Ukraine.

11. Halawa, M., Al-Rashid, N. (2010). Performance of single junction thermal voltage converter (SJTVC) at 1 MHz via equivalent electrical circuit simulation. 12th International conference on computer modelling and simulation.

12. Calibration: Philosophy in Practice. Fluke Corporation, 1994, 526 p.

13. Velychko, O., Isaiev, V. (2017). Research of metrological characteristic of the state primary standard of the unit electric variable voltage. Metrology and instruments, 67(5), 13-19.

14. Funck, T., Hadzhieva, I. (2007). Draft B report of EUROMET.EM-K6.a. Metrologia, 44, 01012-01012.

15. Heine, G., Garcocz, M., Waldmann, W. (2017). International comparison of ac-dc current transfer standards. Metrologia, 54(1A), 01011.

16. Kinard, J. R., Lipe, T. E., Childers, C. B. (1997). Extension of the NIST ac-dc difference calibration service for current to 100 kHz. Journal of research of the national institute of standards and technology, 102(1), 75-83.

Надійшла до редакції 28.11.2020

УДК 621.317.1

Ю. Л. Анохін, О. М. Величко, д.т.н.

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

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕРЖАВНОГО ПЕРВИННОГО ЕТАЛОНУ ОДИНИЦІ КОЕФІЦІЄНТА МАСШТАБНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ НАПРУГИ ЗМІННОГО СТРУМУ ДО 750/√3 кВ

Стаття присвячена результатам дослідження метрологічних характеристик новоствореного Державного первинного еталону одиниці коефіцієнта масштабного перетворення напруги змінного струму до 750/√3 кВ. Створений еталон став основою для метрологічного забезпечення вимірювання надвисоких напруг змінного струму. Еталон забезпечив калібрування прецизійних вимірювальних трансформаторів надвисокої напруги для енергетичної галузі національної економіки.

У статті проведено аналіз умов збереження та використання новоствореного еталона, методів вимірювання й відтворення одиниці коефіцієнта масштабного перетворення напруги змінного струму. Наведені результати дослідження метрологічних характеристик еталона, які підтвердили регламентовані для еталона характеристики.

***Ключові слова**: державний еталон, висока напруга, метрологічна характеристика, невизначеність вимірювань, трансформатор напруги.*

Ю. Л. Анохин, О. Н. Величко, д.т.н.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГОСУДАРСТВЕННОГО ПЕРВИЧНОГО ЭТАЛОНА ЕДИНИЦЫ КОЭФФИЦИЕНТА МАСШТАБНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПЕРЕМЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ ДО 750/√3 кВ

Статья посвящена результатам исследования метрологических характеристик созданного Государственного первичного эталона единицы коэффициента масштабного преобразования напряжения переменного тока до 750/√3 кВ. Созданный эталон стал основой для метрологического обеспечения измерения сверхвысоких напряжений переменного тока. Эталон обеспечил калибровку прецизионных измерительных трансформаторов сверхвысокого напряжения для энергетической отрасли национальной экономики.

В статье проведен анализ условий хранения и использования созданного эталона, методов измерения и воспроизведения единицы коэффициента масштабного преобразования напряжения переменного тока. Приведенные результаты исследования метрологических характеристик эталона, которые подтвердили регламентированные для эталона характеристики.

***Ключевые слова**: государственный эталон, высокое напряжение, метрологическая характеристика, неопределенность измерений, трансформатор напряжения.*

Yu. L. Anokhin, O. M. Velychko, DSc

RESEARCH OF METROLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE STATE PRIMARY STANDARD OF UNIT OF SCALING FACTOR OF AC VOLTAGE TO 750/√3 kV

The article is devoted to the results of research of metrological characteristics of the newly created State primary standard of the unit of scaling factor of alternating current (AC) voltage up to 750/√3 kV. Until 2019, there was no metrological support for ultra-high voltage measurements in Ukraine. From 2016 to 2019, the State Enterprise "Ukrmetrteststandard" carried out research work on the development of the state primary standard unit of scaling factor of AC for ultra-high voltage. The created standard became the basis for metrological support of measurement of ultrahigh voltages of alternating current. The standard using for calibration of precision ultra-high voltage measuring transformers in the energy sector of the national economy.

The created standard consists of a set of high-precision measuring instruments and is stored in a specially equipped laboratory. For reproduction and keeping of unit of scaling factor of AC voltage the method of comparison of currents with use of the bridge of AC and two measuring condensers is used. The article analyzes the conditions of keeping and using of the newly created standard, methods of measurement and reproduction of the unit of scaling factor of AC voltage. The results of the study of metrological characteristics of the standard are presented, which confirmed the characteristics regulated for the standard.

***Keywords:** state standard, high voltage, metrological characteristic, measurement uncertainty, voltage transformer.*

DOI 10.32684/2412-5288-2020-2-17-22-27

Вступ

Електрична енергія виробляється потужними електростанціями, а споживається порівняно малопотужними електроприймачами, які розподіленими на значній території. Передача електричної енергії здійснюється за допомогою електричних мереж. Від ефективності передачі електроенергії на відстань, залежить у цілому робота електроенергетичних систем.

Вся електрична енергія виробляється, передається і розподіляється на високих напругах [1, 2]. В Україні використовуються наступні класи змінної напруги при передачі та розподілу електричної енергії: низька напруга (220 В, 380 В); середня напруга (6 кВ, 10 кВ, 35 кВ); висока напруга (110 кВ, 150 кВ, 220 кВ, 330 кВ); надвисока напруга (400 кВ, 500 кВ, 750 кВ). На території країни знаходяться понад 200 вимірювальних трансформаторів напруги (ТН) класу напруг 750 кВ.

До 2019 р. в Україні було відсутнє метрологічне забезпечення вимірювань надвисокої напруги. З 2016 по 2019 рр. Державне підприємство (ДП) «Укрметртестстандарт» (м. Київ) здійснило науково-дослідну роботу з розробки державного первинного еталону (ДПЕ) одиниці

коефіцієнта масштабного перетворення напруги змінного струму до 750/√3 кВ. У результаті цих робіт був створений державний (національний) первинний еталон України НДЕТУ ЕМ-01-2019, який вирішив вказану проблему.

Результати вимірювань за допомогою ТН класу напруг 750 кВ використовується під час обліку електричної енергії та контролю безпеки умов праці. Ці ТН повинні мати перевірені метрологічні характеристики (МХ). Робочі ТН цього класу напруг мають значні масо-габаритні характеристики, тому їх калібрування за межами країни практично неможливе. Створення еталону НДЕТУ ЕМ-01-2019 дозволило реалізувати систему метрологічного забезпечення [3–5], яка має мінімальну залежність від національних метрологічних інститутів (НМІ) інших країн.

Актуальним є періодичне дослідження МХ новоствореного національного еталону одиниці коефіцієнта масштабного перетворення напруги змінного струму до 750/√3 кВ.

1. Аналіз публікацій та досліджень

Аналіз калібрувальних та вимірювальних можливостей НМІ світу [6] засвідчив, що МХ новоствореного створеного еталону НДЕТУ ЕМ-01-2019 (максимальна напруга – 750/√3 кВ, розширена відносна невизначеність – $4{,}4\cdot10^{-5}$) знаходяться на рівні МХ національних еталонів аналогічного призначення таких технічно розвинених країн, як Австралія (550 кВ, $6{,}0\cdot10^{-5}$), Аргентина (525 кВ, $3{,}0\cdot10^{-5}$), Іспанія (500 кВ $1{,}0\cdot10^{-4}$) та Російська Федерація (750/√3 кВ, $2{,}0\cdot10^{-4}$).

Традиційно для відтворення і зберігання одиниці коефіцієнта масштабного перетворення напруги змінного струму використовується метод компарування [1–4]. Новостворений еталон, як і зазначені еталони інших країн, побудовані на традиційній основі. Оскільки серед високовольтних ТН класу напруг 750 кВ в Україні застосовуються лише ємнісні трансформатори напруги типу НДЕ-750, джерело високої напруги, яке використовується для повірки високовольтних вимірювальних ТН, повинно бути розраховане на живлення ємнісного навантаження.

ДПЕ має застосовуватись для визначення МХ відповідних вторинних еталонів, а також деяких прецизійних засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) – високовольтних ТН. Відповідно до ДСТУ 3231 [7], ДПЕ повинен зберігатися та застосовуватися згідно з правилами зберігання та застосування. Його невиключена систематична похибка і середнє квадратичне відхилення (СКВ) повинні бути добре дослідженими, нестабільність за рік не повинна перевищувати допустимого за паспортом еталона значення.

2. Постановка завдання

Високовольтні вимірювальні ТН, які необхідно калібрувати за допомогою ДПЕ, мають доволі широку сферу застосування. Основним застосуванням ДПЕ є відтворення одиниці коефіцієнта масштабного перетворення напруги змінного струму, а також передавання розміру цієї одиниці вторинним еталонам та іншим прецизійним ЗВТ.

Відповідно до ДСТУ 3231 [7], ДПЕ повинен зберігатися та застосовуватися у дуже стабільних умовах, а його МХ повинні бути добре визначеними. Оскільки ДПЕ є складним комплексом ЗВТ, то для його стабільного функціонування проводиться періодичне калібрування деяких складових цього ДПЕ.

Метою статті є висвітлення результатів дослідження ДПЕ одиниці коефіцієнта масштабного перетворення напруги змінного струму до 750/√3 кВ, зокрема:

- складу комплексу ЗВТ еталону для відтворення одиниці коефіцієнта масштабного перетворення напруги змінного струму до 750/√3 кВ;
- умов зберігання та застосування створеного еталону та основних його МХ;
- основних МХ створеного еталону, які підтверджують його регламентовані МХ.

3. Склад національного еталона, умови його застосування та основні метрологічні характеристики

ДП «Укрметртестстандарт» має багаторічний позитивний досвід створення, експлуатації та звірення національних еталонів одиниць високих напруг постійного та змінного струмів.

ДПЕ одиниці коефіцієнта масштабного перетворення напруги змінного струму до 750/√3 кВ призначений для відтворення, зберігання та передавання розміру одиниці коефіцієнта масштабного перетворення напруги змінного струму вторинним еталонам та іншим високоточним ЗВТ з метою забезпечення єдності вимірювань у країні.

Загальний вигляд основних складових Державного первинного еталона одиниці коефіцієнта масштабного перетворення напруги змінного струму до 750/√3 кВ представлений на рисунку 1. Місцем зберігання еталона є високовольтний зал ДП «Укрметртестстандарт» і лабораторія техніки високих напруг Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Еталон складається із комплексу високоточних ЗВТ:

- високовольтний еталонний конденсатор МСР-600;
- конденсатор вимірювальний СА 6003;



Рисунок 1 – Загальний вигляд основних складових Державного первинного еталона одиниці коефіцієнта масштабного перетворення напруги змінного струму до 750/√3 кВ

- міст високовольтний еталонний МВЕ-01;
- джерело напруги змінного струму ДЗС-520-1;
- магазин навантажень СА 5055.

Площа основної лабораторії, де розташований еталон, становить 40 м^2, а габаритні розміри (маса) складових еталону такі:

- високовольтного еталонного конденсатора МСР-600 – не більше 1400×1400×3400 мм (не більше 660 кг);
- джерела напруги змінного струму ДЗС-520-1 в робочому положенні – не більше 2395×2320×5500 мм без врахування пульта керування (не більше 3200 кг);
- конденсатора вимірювального СА 6003 – не більше 400×400×800 мм (не більше 20 кг);
- магазина навантажень СА 5055 – не більше 300×500×700 мм (не більше 20 кг);
- моста високовольтного еталонного МВЕ-01 – не більше 300×500×700 мм (не більше 20 кг).

Умови зберігання для еталонного конденсатора МСР-600 і джерела напруги змінного струму ДЗС-520-1 такі:

- температура навколишнього середовища від мінус 10 до 35 °С;
- відносна вологість повітря до 80 %;
- атмосферний тиск від 86 до 106,7 кПа.

Для конденсатора вимірювального СА 6003, моста високовольтного еталонного МВЕ-01, магазину навантажень СА 5055 температура навколишнього середовища становить (20 ± 5) °С при тих же значеннях відносної вологості повітря і атмосферного тиску, що і для еталонного конденсатора МСР-600 і джерела напруги змінного струму ДЗС-520-1.

Під час застосування еталона повинні виконуватись такі умови:

- температура навколишнього середовища (20 ± 5)°С;
- відносна вологість повітря до 80 %;
- атмосферний тиск від 86 до 106,7 кПа;
- напруга мережі живлення (220±20) В;
- коефіцієнт несинусоїдальності напруги живлення не більше 5 %;
- споживана потужність від 1 до 20 кВ·А.

Високовольтний еталонний конденсатор МСР-600 зберігається у вертикальному положенні з тиском 4 бар. Джерело напруги змінного струму ДЗС-520-1 зберігається в горизонтальному або вертикальному положенні з тиском 3 бар.

Для відтворення і зберігання одиниці коефіцієнта масштабного перетворення напруги змінного струму використовується метод компарування струмів з використанням мосту змінного струму і двох вимірювальних конденсаторів [8].

Діапазон значень коефіцієнта масштабного перетворення електричної напруги змінного

струму, що відтворюється еталоном, становить від $\frac{330/\sqrt{3}\ \text{кВ}}{100/\sqrt{3};100/3;100\ \text{В}}$ до $\frac{750/\sqrt{3}\ \text{кВ}}{100/\sqrt{3};100/3;100\ \text{В}}$.

Основні МХ еталона такі:

- діапазон номінальних первинних напруг від 330/√3 до 750/√3 кВ;

- діапазон номінальних вторинних напруг від 100/√3 до 100 В;

- номінальна робоча частота 50 Гц;

- середні квадратичні відхилення (СКВ) відносне результату вимірювань від $2\cdot10^{-5}$ до $1\cdot10^{-4}$ за умови десяти незалежних спостережень;

- СКВ абсолютне результату вимірювань від 0,1' до 0,5' за умови десяти незалежних спостережень;

- невиключена систематична відносна похибка напруги від $5\cdot10^{-5}$ до $3\cdot10^{-4}$;

- невиключена систематична кутова абсолютна похибка від 0,5' до 1';

- сумарна стандартна відносна невизначеність (U) при відтворенні коефіцієнта масштабного перетворення електричної напруги змінного струму від $5\cdot10^{-5}$ до $2\cdot10^{-4}$.

Дослідження МХ еталона повинно здійснюватися один раз на три роки.

4. Результати дослідження метрологічних характеристик еталона

Високовольтний вимірювальний конденсатор високовольтного модуля джерела ДЗС-520-І слугує основою для передачі розміру масштабного коефіцієнту перетворення електричної напруги від еталонного конденсатора МСР 600 ТН ємнісного типу НДЕ-750 при виконанні за допомогою ДЗС-520-І їх повірки на підстанціях класу напруг 750 кВ. Тому є важливим дослідження параметрів цього конденсатора (ємність $C_{ВН}$ і тангенсу кута втрат tg δ) в залежності від прикладеної до нього напруги.

Для одержання такої залежності еталонний конденсатор МСР 600 був підключений на вихідну напругу високовольтного модуля за допомогою високовольтної шини. З використанням моста змінного струму МВЕ-01 одержані залежності $C_{ВН}$ і tgδ високовольтного вимірювального конденсатора високовольтного модуля від високої напруги $U_{ВН}$ представлені в табл. 1.

Отримані результати підтверджують стабільність характеристик високовольтного вимірювального конденсатора високовольтного модуля комплексу обладнання еталона в діапазоні робочих напруг. При збільшенні напруги $U_{ВН}$ від 49,2 кВ до 518,0 кВ значення ємності $C_{ВН}$ дуже незначно зменшується, а значення тангенсу кута втрат tgδ збільшується не більше як 20 %. При визначенні даних СВН і tgδ приймалось, що значення ємності еталонного конденсатора C_1 = 51,287 пФ, а значення його тангенса кута втрат tgδ – менше 10^{-5} відносних одиниць.

Проведено дослідження залежності ємності від напруги для високовольтного еталонного конденсатора МСР-600 шляхом порівняння його з вбудованим конденсатором джерела напруги змінного струму ДЗС-520-І та взаємного порівняння вимірювальних електродів (C_1 і C_2). При цьому додатково досліджувались СКВ – відносне при вимірюванні коефіцієнту трансформації та абсолютне при вимірюванні різниці фаз первинної та вторинної напруг.

Результати порівняння високовольтного еталонного конденсатора МСР-600 з вбудованим конденсатором джерела напруги змінного струму ДЗС-520-І наведені в табл. 2 (напруга від 5,4 до 521,6 кВ), для взаємного порівняння вимірювальних електродів – в табл. 3 (напруга від 22,5 до 528,6 кВ).

У табл. 2 і 3 δ є кутом зсуву фаз між струмами, що протікають через зазначені конденсатори еталона, у абсолютних одиницях (у секундах).

Отримані результати СКВ для C і tgδ підтверджують регламентовані для еталона МХ. Значення δ для першого випадку (табл. 2) при збільшенні високої напруги збільшується від 0,01297' (5,4 кВ) до 0,07904' (521,6 кВ), тобто майже у 6 разів. Значення δ для другого випадку (табл. 2) при збільшенні високої напруги коливається у невеликих межах (біля 5 %).

Висновки

Фахівцями ДП «Укрметртестстандарт» створено головний елемент системи метрологічного забезпечення виробництва та експлуатації трансформаторів високої напруги класу напруг 750 кВ.

В роботі розглянуто і проаналізовано:

- комплекс ЗВТ еталону для відтворення одиниці коефіцієнта масштабного перетворення напруги змінного струму до 750/√3 кВ;

- умови зберігання та застосування створеного еталону та основні його МХ;

- результати дослідження основних МХ створеного еталону, які підтверджують його регламентовані МХ.

Список використаних джерел

1. Brandes D. Induktiver 750-kV-Spannungswandler. Techn. Mitt. AEG-TELEFUNKEN. 61, 1971, pp. 17-20.

2. Hillhous D. L, Peterson A. E. A 300-kV Compressed Gas Standard Capacitor with Negligible Voltage Dependence. IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement, vol. IM-22, 1973,

no. 4, pp. 408–416.

3. Latzel H.-G., Wang L. A Votage-Doubling Method for Measuring the Voltage Dependence of Compressed Gas Capacitors. IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement, vol. IM-36. 1987, no. 3, pp. 730–734.

4. Jones R. G. Calibration of high voltage transformers. Conference on Precision Electromagnetic Measurement, 1988, pp. 207–208.

5. Velychko O., Gordiyenko T. Metrological Traceability at Different Measurement Levels. Standards, Methods and Solutions of Metrology / Edited by Luigi Cocco. Published by IntechOpen, London, United Kingdom. 2019. Chapter 1. P. 1–21. DOI: 10.5772/intechopen. 84853.

6. Calibration and Measurement Capabilities – CMCs [Електронний ресурс]. 2020. Режим доступу: https://www.bipm.org/kcdb/.

7. ДСТУ 3231:2007 Метрологія. Еталони одиниць вимірювань державні, первинні та вторинні. Основні положення, порядок розроблення, затвердження, реєстрації, зберігання та застосування. Держспожистандарт України, 2008, 24 с.

8. Anokhin Yu., Velychko O. Research of the State Primary Standard of the unit of scaling factor of AC voltage up to 750/√3 kV. Укр. метролог. журнал, 2021, Вип. 1, (подано до друку).

References

1. Brandes D. Induktiver 750-kV-Spannungswandler, Techn. Mitt. AEG-TELEFUNKEN, 61, 1971, pp. 17-20.

2. Hillhous D. L, Peterson A. E. A 300-kV Compressed Gas Standard Capacitor with Negligible Voltage Dependence, IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement, vol. IM-22, 1973, no. 4, pp. 408-416.

3. Latzel H.-G., Wang L. A Votage-Doubling Method for Measuring the Voltage Dependence of Compressed Gas Capacitors, IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement, vol. IM-36, 1987, no. 3, pp. 730-734.

4. Jones R. G. Calibration of high voltage transformers, Conference on Precision Electromagnetic Measurement, 1988, pp. 207-208.

5. Velychko, O., Gordiyenko, T. (2019). Metrological Traceability at Different Measurement Levels. Standards, Methods and Solutions of Metrology. Edited by Luigi Cocco. Published by IntechOpen, London, United Kingdom. Chapter 1. pp. 1–21. DOI: 10.5772/intechopen. 84853.

6. Calibration and Measurement Capabilities – CMCs [Electronnyi resurs]. 2020. Rezhym dostupu: https://www.bipm.org/kcdb/.

7. DSTU 3231:2007 Metrology. Primary and secondary state standards of units of measurements. Main points, order of development, approval, registration, storage and use. Derzhspozhystandart of Ukraine.

8. Anokhin Yu., Velychko O. Research of the State Primary Standard of the unit of scaling factor of AC voltage up to 750/√3 kV. Ukr. metroloh. zhurnal, 2021, Vyp. 1, (submitted for printing).

Надійшла до редакції 04.12.2020

РОЗДІЛ 3

Інформаційно-вимірювальні системи і технології

УДК 681.514

О. В. Ткачук

Військова академія (м. Одеса)

ОПТИМАЛЬНА ОБРОБКА СИГНАЛІВ ЗОБРАЖЕНЬ НА ФОНІ ШУМОВИХ ПЕРЕШКОД В ІНФОРМАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ З АДАПТИВНОЮ АНТЕННОЮ РЕШІТКОЮ

Розроблено метод відновлення сигналів зображень на фоні шумових перешкод довільної інтенсивності на основі інверсії кореляційної матриці спостережень в інформаційній радіотехнічній системі з адаптивною антенною решіткою. За критерієм максимуму правдоподібності отримано вираз для системи оптимальних незалежних параметричних вагових векторів, необхідних для відновлення сигналів зображень. Отримано алгоритм обробки сигналів в адаптивному процесорі N-вимірної адаптивної антенної решітки. Побудована імітаційна модель відновлення сигналу зображення на фоні шумів довільної інтенсивності в інформаційній системі з адаптивною антенною решіткою. Показано, що обчислення вагових коефіцієнтів на основі кореляційної матриці спостережень, внаслідок її властивостей, не дозволяє виокремити сукупність корельованих між собою сигналів зображень. Визначено напрямок подальшого розвитку отриманих результатів в класі інваріантних методів.

Ключові слова: *адаптивна антенна решітка, сигнал зображення, оптимальний вектор вагових коефіцієнтів, критерій максимуму правдоподібності, кореляційна матриця спостережень.*

Е. В. Ткачук

ОПТИМАЛЬНАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ФОНЕ ШУМОВЫХ ПОМЕХ В ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ С АДАПТИВНОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКОЙ

Разработан метод восстановления сигналов изображений на фоне шумовых помех произвольной интенсивности в информационной радиотехнической системе с адаптивной антенной решеткой. По критерию максимального правдоподобия получено выражение для системы оптимальных независимых параметрических весовых векторов, необходимых для восстановления сигналов изображений. Получен алгоритм обработки сигналов в адаптивном процессоре N-мерной адаптивной антенной решетки. Построена имитационная модель восстановления сигнала изображения, на фоне шумов произвольной интенсивности в информационной системе с адаптивной антенной решеткой. Показано, что вычисление весовых коэффициентов на основе корреляционной матрицы наблюдений, вследствие ее свойств, не позволяет разделить совокупность коррелированных между собой сигналов изображений. Определено направление дальнейшего развития полученных результатов в классе инвариантных методов.

Ключевые слова: *адаптивная антенная решетка, сигнал изображения, оптимальный вектор весовых коэффициентов, критерий максимума правдоподобия, корреляционная матрица наблюдений.*

O. V. Tkachuk

OPTIMAL IMAGE SIGNALS PROCESSING ON THE NOISE BACKGROUND IN THE INFORMATION SYSTEM WITH ADAPTIVE ANTENNA ARRAY

The method to restore image signals against the arbitrary intensity noise background in the information radio engineering system with adaptive antenna array has been developed. In order to use methods developed for processing one-dimensional signals for image recovery in the information system with adaptive antenna array, the transition from the two-dimensional array to vector representation is carried out. Mathematical model of narrowband signal formed at input of antenna array elements in space-time sense is obtained. Correlation matrices of image carrier signals, interference and noise are considered and features of adaptive processing of image signals coming from several sources are observed. An expression was found for the likelihood function if the incoming vector process is a multivariate stationary Gaussian process with a non-zero mean. According to the maximum likelihood criterion, the expression for the system of optimal independent parametric weight vectors necessary for image signals restoring against the arbitrary intensity

noise background coming from several independent sources in the information system with adaptive antenna array is obtained. In accordance to this system, a signal processing algorithm is built in the adaptive processor of N-dimensional adaptive antenna array. A simulation model of image signal restores coming from one source in the information system with adaptive antenna array against the arbitrary intensity noise background coming from several independent sources is built. It is shown that the use of weight coefficients calculated on the basis of the correlation matrix of observations, due to its properties, does not allow dividing the set of correlated image signals. The direction of further development of the obtained results in the class of invariant methods is determined.

Keywords: *adaptive antenna array, image signal, optimal vector of weight coefficients, likelihood maximum criterion, correlation matrix of observations.*

DOI 10.32684/2412-5288-2020-2-17-29-36

Вступ

В процесі передачі та прийому в інформаційних радіотехнічних системах, сигнали зображень піддаються впливу різних шумових перешкод довільної інтенсивності, що в результаті призводить до погіршення візуальної якості та, зокрема, до втрати ділянок зображення.

Для боротьби із зовнішніми шумовими перешкодами при передачі сигналів зображень, зазвичай, використовується збільшення потужності сигналу. Чим більшою є інтенсивність шумової перешкоди, тим більше потрібно підсилювати корисний сигнал, щоб його можна було прийняти без спотворень. Інакше, вплив шумової перешкоди значної інтенсивності викликає втрату розрізнення прийнятої реалізації зображення [1].

На даний час, існує безліч різноманітних методів двовимірної просторової, частотної та вейвлет цифрової обробки прийнятої реалізації зображення [2].

Просторова фільтрація елементів прийнятої реалізації зображення така, як лінійна, нелінійна та байєсівська має обмежену здатність до пригнічення впливу зовнішніх шумів значного рівня, оскільки вибір розміру маски залежить від наявності апріорної інформації про початкове зображення та характеристик шумової складової [3].

Методи частотної та вейвлет фільтрації базуються на переході від просторової до частотної області. При цьому процес обробки зображень є достатньо трудомістким та потребує використання потужних обчислювальних засобів. Крім того, якщо потужність зовнішнього шуму перевищує потужність корисного сигналу, то перехід до частотної області не вирішує проблему пригнічення їх впливу на прийняту реалізацію зображення [4].

В дійсний час відсутні методи двовимірної фільтрації, які дозволяють відновлювати сигнали зображень в умовах адитивних шумових перешкод довільної інтенсивності [5].

Аналіз останніх досягнень і публікацій

При вирішенні проблеми підвищення завадостійкості інформаційних радіотехнічних систем найбільшу увагу приділяють системам з адаптивними антенними решітками. При цьому просторово-часову обробку сигналів в інформаційних системах з адаптивними антенними решітками можна розглядати як задачу оптимальної багатоканальної фільтрації, головною ціллю якої є покращення прийому та виявлення корисного сигналу на фоні шумів [6, 7].

Найбільше розповсюдження отримала лінійна обробка, яка полягає в підсумовуванні прийнятих сигналів з ваговими коефіцієнтами. Вагові коефіцієнти, необхідні для адаптивної просторової фільтрації, можуть бути сформовані за певними алгоритмами, обрання яких визначається критеріями ефективності. Вибір необхідного критерію ефективності залежить від кількості інформації про корисний сигнал, що приймається. Але незалежно від обраного критерію, всі вони відрізняються тільки скалярним множником, що забезпечує на виході інформаційної системи однакове відношення сигнал/шум [8].

Крім того, методи визначення вагових коефіцієнтів базуються на інверсії кореляційної матриці просторово-часових вибірок процесу на вході антенної решітки. Кореляційна матриця спостережень є відображенням шумової ситуації в адаптивній антенній решітці і визначає всі її основні характеристики [6, 8].

Просторово-часова обробка сигналів в інформаційній радіотехнічній системі з адаптивною антенною решіткою, зазвичай, використовується для обробки одновимірних сигналів. Оскільки зображення є двовимірними сигналами, то для можливості безпосереднього використання для них методів, розроблених для обробки одновимірних сигналів, слід виконати перехід до векторного подання двовимірного масиву [9].

Мета роботи полягає у розробці методу відновлення сигналів зображень в умовах шумових перешкод довільної інтенсивності в інфор-

маційній радіотехнічній системі з адаптивною антенною решіткою.

Основна частина

Зображення є двовимірним сигналом та визначається як дійсна функція двох змінних $L = L(x, y)$, значеннями якої є інтенсивність (яскравість) зображення. Його перетворення до цифрової форми потребує цілочисельної дискретизації та квантування, після чого воно може бути подано у вигляді матриці $\mathbf{L} = \{L_{xy}\}$ розміру $M \times N$. Перехід від двовимірного масиву до векторного подання здійснюється за формулою [9]

$$\mathbf{s}(t) = \sum_{j=1}^{M} \sum_{i=(j-1)N+1}^{j \cdot N} \mathbf{A}_{ij} \cdot \mathbf{L} \cdot \mathbf{B}_{i-(j-1)N},$$

де матриця $\mathbf{A}_{ij}$ розміру $(M \cdot N) \times M$ та матриця-стовпець $\mathbf{B}_{i-(j-1)N}$ розміру $N \times 1$ мають вигляд

$$\mathbf{A}_{ij} = \begin{pmatrix} 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \end{pmatrix}_{i}, \quad \mathbf{B}_{i-(j-1)N} = \begin{pmatrix} 0 \\ \vdots \\ 1 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix}_{i-(j-1)N}.$$

Обернена операція перетворення вектора $\mathbf{s}(t)$ до матриці $\mathbf{L}$ задається співвідношенням

$$\mathbf{L} = \sum_{j=1}^{M} \sum_{i=(j-1)N+1}^{j \cdot N} \mathbf{A}_{ij}^{\mathrm{T}} \cdot \mathbf{s}(t) \cdot \mathbf{B}_{i-(j-1)N}^{\mathrm{T}},$$

де $[\cdot]^{\mathrm{T}}$ – операція транспонування.

Розглянемо адаптивну антенну решітку, яка складається з N елементів, розташованих на відстані d один від одного. Нехай $s_m(t)$ – корисний сигнал, що відповідає прямокутному растру деякого зображення $L_m(x, y)$. Шумова перешкода $n_k(t)$ є стаціонарним гаусівським ергодичним процесом. Напрямки прийому корисного сигналу θ_m та перешкоди θ_k не співпадають між собою. Якщо елементи антенної решітки ідентичні, то сигнали на виході кожного елементу відрізняються тільки фазовими зсувами відносно сигналу на виході першого елемента. Тоді, вектор-стовпець сигналу зображення та перешкоди на вході N-вимірної антенної решітки можна подати у вигляді

$$\mathbf{s}_m(t) = \mathrm{s}_m(t) \cdot \mathbf{v}(\theta_m)$$

та

$$\mathbf{n}_k(t) = \mathrm{n}_k(t) \cdot \mathbf{v}(\theta_k),$$

де $\mathbf{v}(\theta_m)$ та $\mathbf{v}(\theta_m)$ – вектор-стовпці амплітудно-фазового розподілу корисного сигналу $s_m(t)$ та перешкоди $n_k(t)$ по розкриву N-вимірної решітки

$$\mathbf{v}(\theta_m) = \left\{ e^{-j(n-1)\cdot\varphi(\theta_m)} \right\};$$

$$\mathbf{v}(\theta_k) = \left\{ e^{-j(n-1)\cdot\varphi(\theta_k)} \right\}; \quad n = \overline{1, N}.$$

Тут $\varphi(\theta_m)$ та $\varphi(\theta_m)$ – зсуви фаз, які є наслідком рознесення фазових центрів антени на відстань d, та для довільного аргументу θ дорівнюють

$$\varphi(\theta) = 2\pi \frac{d}{\lambda} \sin\theta,$$

де λ – довжина електромагнітної хвилі.

Тоді, в загальному випадку, за наявності M джерел корисної інформації $s_m(t); \quad m = \overline{1, M}$ та K джерел перешкод $n_k(t); \quad k = \overline{M+1, M+K}$, векторний процес на вході антенної решітки можна подати у вигляді суми

$$\mathbf{y}(t) = \sum_{m=1}^{M} \mathbf{s}_m(t) + \sum_{k=M+1}^{M+K} \mathbf{n}_k(t) + \mathbf{n}_0(t), \qquad (1)$$

де $\mathbf{n}_0(t) = \{n_i(t)\}; \; i = \overline{1, N}$ – вектор-стовпець внутрішніх шумів каналів прийому антенної решітки.

Вираз (1) є математичною моделлю просторово-часового сигналу що формується на вході антенної решітки за умови $\Delta F / f_0 << 1$, де ΔF – ширина спектру, f_0 – несуча частота.

Векторний процес $\mathbf{y}(t)$, сформований елементами антенної решітки, далі піддається лінійній обробці, яка має вигляд

$$\mathbf{w}^{\mathrm{H}}(t) \cdot \mathbf{y}(t) = \tilde{\mathbf{s}}(t), \qquad (2)$$

де $[\cdot]^{\mathrm{H}}$ – знак ермітового спряження; $\mathbf{w}(t)$ – параметричний вектор вагових комплексних коефіцієнтів; $\tilde{\mathbf{s}}(t)$ – оцінка значень корисного

сигналу $\mathbf{s}(t)$ на виході інформаційної системи з адаптивною антенною решіткою.

Як було зазначено вище, для визначення вагових коефіцієнтів використовуються різні критерії ефективності, але незалежно від обраного критерію, для їх обчислення застосовується кореляційна матриця спостережень $\mathbf{R}$ вхідного векторного процесу $\mathbf{y}(t)$. Кореляційна матриця $\mathbf{R}$ вектора спостережень (1) є сумою кореляційних матриць трьох типів

$$\mathbf{R} = \mathbf{R}_s + \mathbf{R}_j + \mathbf{R}_n,$$

де $\mathbf{R}_s$, $\mathbf{R}_j$ і $\mathbf{R}_n$ – кореляційні матриці сигналів зображень, зовнішніх перешкод та внутрішніх шумів, відповідно.

Вони мають вигляд

$$\mathbf{R}_S = \mathrm{M}\left[\sum_{m=1}^{M}\mathbf{s}_m(t)\cdot\sum_{m=1}^{M}\mathbf{s}_m^{\mathrm{H}}(t)\right] = \mathbf{V}_s\mathbf{P}_s\mathbf{V}_s^{\mathrm{H}};$$

$$\mathbf{R}_j = \mathrm{M}\left[\sum_{k=M+1}^{M+K}\mathbf{n}_k(t)\cdot\sum_{k=M+1}^{M+K}\mathbf{n}_k^{\mathrm{H}}(t)\right] = \mathbf{V}_j\mathbf{P}_j\mathbf{V}_j^{\mathrm{H}};$$

$$\mathbf{R}_n = \mathrm{M}[\mathbf{n}(t)\cdot\mathbf{n}^{\mathrm{H}}(t)] = P_0\cdot\mathbf{I};$$

де $\mathrm{M}[\cdot]$ – оператор статистичного усереднення; $[\cdot]^{\mathrm{H}}$ – знак ермітового спряження; P_0 – потужність внутрішнього (теплового) шуму каналів прийому антенної решітки; $\mathbf{I}$ – одинична матриця порядку N [6].

Прямокутні матриці $\mathbf{V}_s$ та $\mathbf{V}_j$ розміру $N\times M$ та $N\times K$, відповідно, об'єднують M і K вектор-стовпців $\mathbf{v}(\theta_m)$; $m=\overline{1,M}$ та $\mathbf{v}(\theta_k)$; $k=\overline{M+1,\,M+K}$

$$\mathbf{V}_s = \begin{pmatrix}\mathbf{v}(\theta_1) & \mathbf{v}(\theta_2) & \dots & \mathbf{v}(\theta_M)\end{pmatrix},$$

$$\mathbf{V}_j = \begin{pmatrix}\mathbf{v}(\theta_{M+1}) & \mathbf{v}(\theta_{M+2}) & \dots & \mathbf{v}(\theta_{M+K})\end{pmatrix}. \qquad (3)$$

Внаслідок відсутності кореляції між перешкодами $n_k(t);\ k=\overline{M+1,\,M+K}$, джерела яких рознесені в просторі, матриця $\mathbf{P}_j$ має діагональний вигляд

$$\mathbf{P}_j = \begin{pmatrix}\sigma^2(n_{M+1}) & \dots & 0\\ \vdots & \ddots & \vdots\\ 0 & \dots & \sigma^2(n_{M+K})\end{pmatrix}.$$

Матриця $\mathbf{P}_s$ порядку M не є діагональною та має вигляд

$$\mathbf{P}_s = \{P_{ij}\} = \begin{cases}\mathrm{M}[s_i^2(t)];\ i=j\\ \mathrm{M}[s_i(t)\cdot s_j(t)];\ i\neq j\end{cases};\quad i,j=\overline{1,M}.$$

Оскільки зображення, що надходять від різних джерел, певною мірою корельовані між собою, то саме властивості матриці $\mathbf{P}_s$ визначають особливість адаптивної обробки сигналів зображень, які надходять від декількох джерел на фоні зовнішніх перешкод в інформаційній системі з адаптивною антенною решіткою.

Розглянемо задачу визначення оптимального вектора вагових коефіцієнтів $\mathbf{w}=\{w_i\};\ i=\overline{1,N}$ за критерієм максимуму правдоподібності, який застосовується у випадку, коли корисний сигнал повністю невідомий.

Для зручності, перепишемо вхідний векторний процес (1) у вигляді

$$\mathbf{y}(t)=\mathbf{s}(t)+\mathbf{n}(t), \qquad (4)$$

де

$$\mathbf{s}(t)=\sum_{m=1}^{M}s_m(t)\,\mathbf{v}(\theta_m) \qquad (5)$$

та

$$\mathbf{n}(t)=\sum_{k=M+1}^{M+K}n_k(t)\,\mathbf{v}(\theta_k)+\mathbf{n}_0(t)$$

є корисною та шумовою складовою, відповідно.

Припустимо, що шумова складова $\mathbf{n}(t)$ є багатовимірним стаціонарним гауссівським процесом з середнім та відповідною щільністю розподілу [10]

$$p(\mathbf{n}) = \frac{1}{\pi^n\det\mathbf{R}_{\mathrm{n}}}e^{-\mathbf{n}^{\mathrm{H}}\mathbf{R}_{\mathrm{n}}^{-1}\mathbf{n}},$$

де $\mathbf{R}_{\mathrm{n}}^{-1}$ – матриця, обернена до кореляційної матриці $\mathbf{R}_{\mathrm{n}}$.

Тоді, вхідний векторний процес $\mathbf{y}(t)$, за наявності корисної складової $\mathbf{s}(t)$, також є багатовимірним стаціонарним гауссівським процесом із середнім значенням $\mathbf{s}(t)$, що визначається згідно (5), та $s_m(t);\ m=\overline{1,M}$ є детермінованими, але невідомими функціями із відповідною умовною щільністю розподілу

$$p\left(\mathbf{y}\,/\mathbf{y}=\mathbf{s}+\mathbf{n}\right) = \frac{1}{\pi^n\det\mathbf{R}}e^{-(\mathbf{y}-\mathbf{s})^{\mathrm{H}}\mathbf{R}^{-1}(\mathbf{y}-\mathbf{s})},$$

де $\mathbf{R}^{-1}$ – матриця, обернена до кореляційної матриці $\mathbf{R}$.

Тоді, функція правдоподібності буде мати вигляд

$$\Psi[\mathbf{y}] = \ln[p(\mathbf{y}/\mathbf{y}=\mathbf{s}+\mathbf{n})] =$$
$$= -\ln|\pi^n \det \mathbf{R}| - \left(\mathbf{y} - \sum_{m=1}^{M} s_m(t)\,\mathbf{v}(\theta_m)\right)^{\mathrm{H}} \times$$
$$\times \mathbf{R}^{-1}\left(\mathbf{y} - \sum_{m=1}^{M} s_m(t)\,\mathbf{v}(\theta_m)\right). \quad (6)$$

Критерій максимуму правдоподібності полягає в тому, щоб знайти такі оцінки $\tilde{s}_m(t)$ значень сигналів зображень $s_m(t)$, що максимізують функцію правдоподібності (6). Для цього, обчислимо частинні похідні від функції $\Psi[\mathbf{y}(t)]$ по $s_m(t)$ та, дорівнявши їх до нуля, знайдемо оцінки максимальної правдоподібності $\tilde{s}_m(t)$.

Розглянемо спочатку випадок наявності одного джерела сигналу зображення $s_1(t)$. Тоді, функція правдоподібності та відповідна частинна похідна по $s_1(t)$ мають вигляд

$$\Psi[\mathbf{y}(t)] = -\ln|\pi^n \det \mathbf{R}| -$$
$$-\left(\mathbf{y} - s_1(t)\,\mathbf{v}(\theta_1)\right)^{\mathrm{H}} \mathbf{R}^{-1}\left(\mathbf{y} - s_1(t)\,\mathbf{v}(\theta_1)\right);$$
$$\frac{\partial \Psi}{\partial s_1} = 2\,\mathbf{v}^{\mathrm{H}}(\theta_1)\,\mathbf{R}^{-1}\mathbf{y} -$$
$$-2\,s_1(t)\mathbf{v}^{\mathrm{H}}(\theta_1)\,\mathbf{R}^{-1}\,\mathbf{v}(\theta_1) = 0.$$

Звідки

$$s_1(t)\mathbf{v}^{\mathrm{H}}(\theta_1)\,\mathbf{R}^{-1}\,\mathbf{v}(\theta_1) = \mathbf{v}^{\mathrm{H}}(\theta_1)\,\mathbf{R}^{-1}\,\mathbf{y}.$$

Враховуючи, що $\mathbf{v}^{\mathrm{H}}(\theta_1)\,\mathbf{R}^{-1}\,\mathbf{v}(\theta_1)$ – скаляр, отримаємо оцінку максимальної правдоподібності у вигляді

$$\tilde{\mathbf{s}}_1(t) = \frac{\mathbf{v}^{\mathrm{H}}(\theta_1)\,\mathbf{R}^{-1}}{\mathbf{v}^{\mathrm{H}}(\theta_1)\,\mathbf{R}^{-1}\,\mathbf{v}(\theta_1)}\mathbf{y}(t).$$

Тоді, внаслідок (2), оптимальний за критерієм максимуму правдоподібності, параметричний вектор адаптивної антенної решітки визначається виразом

$$\mathbf{w}^{\mathrm{H}} = \frac{\mathbf{v}^{\mathrm{H}}(\theta_1)\,\mathbf{R}^{-1}}{\mathbf{v}^{\mathrm{H}}(\theta_1)\,\mathbf{R}^{-1}\,\mathbf{v}(\theta_1)}.$$

Аналогічно, якщо адаптивною антенною решіткою приймаються сигнали зображень від $M+K \geq 1$ незалежних джерел, то для їх відновлення необхідно мати систему незалежних параметричних вагових векторів

$$\mathbf{w}_i^{\mathrm{H}} = \frac{\mathbf{v}^{\mathrm{H}}(\theta_i)\,\mathbf{R}^{-1}}{\mathbf{v}^{\mathrm{H}}(\theta_i)\,\mathbf{R}^{-1}\,\mathbf{v}(\theta_i)};\ i = \overline{1,M+K}. \quad (7)$$

Систему (7) можна записати у вигляді

$$\mathbf{w}_i^{\mathrm{H}} = K(\theta_i)\ \mathbf{v}^{\mathrm{H}}(\theta_i)\,\mathbf{R}^{-1};\ i = \overline{1,M+K}. \quad (8)$$

якщо позначити через $K(\theta_i)$ скаляр

$$K(\theta_i) = \frac{1}{\mathbf{v}^{\mathrm{H}}(\theta_i)\,\mathbf{R}^{-1}\,\mathbf{v}(\theta_i)}.$$

Оскільки точна кореляційна матриця $\mathbf{R}$ відома тільки при проведенні досліджень на моделях, то на практиці замість неї використовують оцінку $\tilde{\mathbf{R}}(L)$, отриману з вибірки вхідного векторного процесу $\mathbf{y}(t)$, об'єм якої L є змінною величиною.

Крім того, якщо напрямок надходження сигналу невідомий, то визначення необхідної оцінки напрямку фокусування θ_i на джерело сигналу передбачає застосування таких методів просторового спектрального аналізу, як алгоритми Бартлетта, Кейпона, теплового шуму, адаптивної кутової характеристики (AAR), лінійного передбачення, максимальної ентропії, мінімальної норми, багатосигнальної класифікації (MUSIC), власного вектора (EV) [11].

В цьому випадку, сигнал на виході *i*-го інформаційного каналу антенної решітки можна подати у вигляді

$$\tilde{\mathbf{s}}_i = K(\tilde{\theta}_i)\,\tilde{\mathbf{R}}^{-1}\,\mathbf{v}(\tilde{\theta}_i)\,\mathbf{y}(t);\ i = \overline{1,M+K}. \quad (9)$$

де оцінка $\tilde{\theta}_i;\ i = \overline{1,M+K}$ є результатом спектрального аналізу просторового спектру потужності радіовипромінювань.

Реалізація цього алгоритму надана на рис. 1 у вигляді багатоканального процесора.

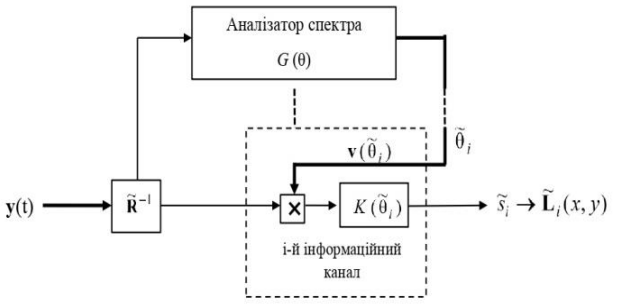


Рисунок 1 – Структура адаптивного процесора *N*-вимірної антенної решітки, що реалізує обробку $i = \overline{1, M+K}$ сигналів за алгоритмом (9)

Покажемо, що отримана система незалежних параметричних вагових векторів (8) задовольняє апроксимацію рівняння Вінера-Хопфа [6] в матричній формі

$$\mathbf{w}_i = \mathbf{R}^{-1}\, M[\mathbf{s}_i(t)\cdot \mathbf{y}^{\mathrm{H}}(t)]; i = \overline{1,M}.$$

Враховуючи (8) та те, що

$$M[\mathbf{s}_i(t)\cdot \mathbf{y}^{\mathrm{H}}(t)] = M[\mathbf{s}_i^2(t)\,] = S_i \cdot \mathbf{v}(\theta_i),$$

де S_i – потужності корисних сигналів, отримаємо

$$K\,(\theta_i)\mathbf{R}^{-1}\,\mathbf{v}(\theta_i) = S_i \cdot \mathbf{R}^{-1}\,\mathbf{v}(\theta_i).$$

Отже, за умови $K\,(\theta_i) = S_i$, система (8) з точністю до постійного множника є вінеровським розв'язком.

Продемонструємо результат обробки сигналу зображення в адаптивній антенній решітці за алгоритмом (9), побудувавши імітаційну модель.

Статистичний експеримент, як результат усереднення 20 незалежних випробувань, проведемо для наступних умов: розмірність адаптивної антенної решітки $N = 20;$ об'єм статистичної вибірки $L = 500;$ джерела одного сигналу зображення та двох незалежних шумових гауссівських перешкод розташовані по відношенню до вісі нормалі адаптивної антенної решітки під кутами $\theta_1 = -10^{\circ};\ \theta_2 = 5^{\circ};\ \theta_3 = 20^{\circ};$ відношення сумарна перешкода/шум дорівнює 40 дБ; відносне рознесення сусідніх каналів прийому дорівнює $d/\lambda = 0{,}5$.

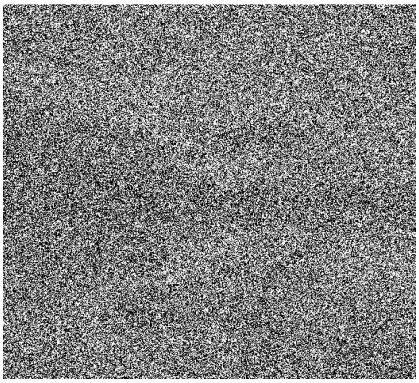
Візуальна (суб'єктивна) оцінка якості відновленого зображення в умовах шумових перешкод, надана на рис. 2 в), дозволяє зробити висновок про ефективність застосування алгоритму (9), який базується на інверсії кореляційної матриці спостережень.

На жаль, алгоритм (9) є ефективним тільки за наявності одного джерела сигналу зображення. Якщо приймаються сигнали зображень від декількох незалежних джерел, то їх взаємна кореляція впливає на властивості матриці $\mathbf{P}_s$ і, як наслідок, відокремлення сукупності сигналів зображень не відбувається.

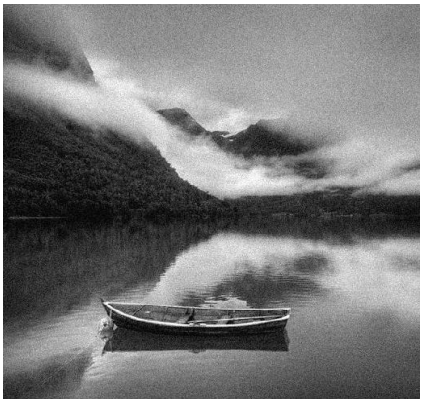
Побудуємо імітаційну модель процесу відновлення корельованих між собою сигналів зображень на фоні шумових завад довільної інтенсивності за умов попереднього експерименту. Сигнали зображень (рис. 2 а, рис. 3 а) надходять від двох незалежних джерел на фоні зовнішньої завади та, в каналах прийому, корелюють між собою (рис. 3 б).



а)



б)



в)

Рисунок 2 – а) Початкове зображення.
б) Вплив перешкод на якість зображення при відношенні сумарна перешкода/шум 40 дБ
в) Результат обробки зображення за алгоритмом (9)

Тут джерела двох сигналів зображень та однієї шумової гауссовської перешкоди розташовані по відношенню до вісі нормалі адаптивної антенної решітки під кутами $\theta_1 = -10^{\circ};\ \theta_2 = 5^{\circ};\ \theta_3 = 20^{\circ};$ відношення зовнішня перешкода/шум дорівнює 28 дБ.



а)



б)

Рисунок 3 – а) Початкове зображення;
б) вплив взаємної кореляції зображень та шуму
при відношенні перешкода/шум 28 дБ

Очевидно, що на результат відновлення сигналів зображень, які приймаються одночасно, впливає матриця їх моментів $\mathbf{P}_s$. Вона відрізняється від діагональної, що приводить до проблеми виокремлення сукупності зображень. В цьому випадку класичний метод відновлення зображення за допомогою вагових коефіцієнтів, обчислених за формулою (8) виявляється неефективним, та актуальною стає проблема розробки методу відновлення зображень, функціонування якого інваріантне до степені кореляції корисних сигналів.



а)



б)

Рисунок 4 – Результат обробки зображення а) з рис. 2 а; б) з рис. 3 а за алгоритмом (9)

Висновок

Розроблено метод відновлення сигналу зображення на фоні шумових перешкод довільної інтенсивності в інформаційній радіотехнічній системі з адаптивною антенною решіткою. Цей метод базується на інверсії вибіркової оцінки кореляційної матриці спостережень, яка використовується для знаходження оптимального вектора вагових коефіцієнтів. При цьому якість відновленого сигналу зображення залежить від характеристик вибіркової оцінки кореляційної матриці спостережень, які змінюються у випадку прийому декількох сигналів зображень одночасно.

Тому, перспективним методом відновлення сигналів зображень в подібній ситуації є використання інваріантних методів, які дозволять перетворювати вхідний векторний процес, не змінюючи статистик його складових.

Список використаних джерел

1. Красильников Н.Н. Цифровая обработка 2D- и 3D- изображений. СПб.: БХВ – Петербург, 2011. 608 с.

2. Gonzalez R. C., and Woods R. E. Digital Image Processing. London: Pearson, 2018. 1035 p.

3. Барченко К.В., Білошкурський С. С., Гпрмаш В.В. Аналіз методів фільтрації зображень. Вісник Хмельницького національного університету. 2012. № 4. С. 79-86.

4. Лимонов А.С., Перелыгин Б.В., Лимонов А.А. Вейвлет-анализ в цифровой обработке сигналов. Украинский гидрометеорологический журнал. 2011. № 9. С. 5-12.

5. Братченко Г.Д., Скачков В.В., Ткачук Е.В., Смаглюк Г.Г., Григорьев Д.В., Пивторак О.В. Адаптивные методы восстановления изображений в информационно-измерительных радиотехнических системах: монография. Одесса: Бондаренко, 2016. 196 с.

6. Monzingo R.A., Haupt R., Miller T.W. Introduction to Adaptive Arrays. Raleigh, USA: SciTech Publishing, 2010. 530 p.

7. Вендик О.Г., Козлов Д.С. Адаптивные антенные решетки с возможностью подавления боковых лепестков для борьбы с помехами. Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2012. № 9. С. 31-38.

8. Джиган В.И. Адаптивная фильтрация сигналов: теория и алгоритмы. Москва: Техносфера, 2013. 528 с.

9. Ткачук О.В. Операторна форма задачі відновлення зображення на фоні адитивних шумів. Збірник наукових праць Військової академії (м. Одеса). 2016. № 2(6). С. 25-30.

10. Горбань И.И. Случайность и гиперслучайность. Киев: Наукова думка, 2016. 290 с.

11. Журавлев А.В., Безмага В.М., Маркин В.Г. Ковариационные методы определения направлений прихода сигналов. Теория и техника радиосвязи. 2016. № 4. С. 33-41.

References

1. Krasil’nikov N.N. Cifrovaya obrabotka 2D- i 3D- izobrazhenij. SPb.: BXV – Peterburg, 2011. 608 s.

2. Gonzalez R.C., and Woods R.E. Digital Image Processing. London: Pearson, 2018. 1035 p.

3. Barchenko K.V., Biloshkurskyi S.S., Hprmash V.V. Analiz metodiv filtratsii zobrazhen. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. 2012. # 4. S. 79-86.

4. Limonov A.S., Perelygin B.V., Limonov A.A. Vejvlet-analiz v cifrovoj obrabotke signalov. Ukrainskij gidrometeorologicheskij zhurnal. 2011. № 9. S. 5-12.

5. Bratchenko G.D., Skachkov V.V., Tkachuk E.V., Smaglyuk G.G., Grigor’ev D.V., Pivtorak O.V. Adaptivnye metody vosstanovleniya izobrazhenij v informacionno-izmeritel’nyx radiotexnicheskix sistemax: monografiya. Odessa: Bondarenko, 2016. 196 s.

6. Monzingo R.A., and Miller T.W. Introduction to Adaptive Arrays. Raleigh, USA: SciTech Publishing, 2010. 530 p.

7. Vendik O.G., Kozlov D.S. Adaptivnye antennye reshetki s vozmozhnost’yu podavleniya bokovyx lepestkov dlya bor’by s pomexami. Izvestiya SPbGE’TU «LE’TI». 2012. № 9. S. 31-38.

8. Dzhigan V.I. Adaptivnaya fil’traciya signalov: teoriya i algoritmy. Moskva: Texnosfera, 2013. 528 s.

9. Tkachuk O.V. Operatorna forma zadachi vidnovlennia zobrazhennia na foni adytyvnykh shumiv. Zbirnyk naukovykh prats Viiskovoi akademii (m. Odesa), # 2(6), 2016, s.25-30.

10. Gorban’ I.I. Sluchajnost’ i gipersluchajnost’. Kiev: Naukova dumka, 2016. 290 s.

11. Zhuravlev A.V., Bezmaga V.M., Markin V.G. Kovariacionnye metody opredeleniya napravlenij prixoda signalov. Teoriya i texnika radiosvyazi, № 4 (2016), s. 33-41.

Надійшла до редакції 20.11.2020

УДК 621.317.1

О. М. Величко[1], д.т.н., **О. В. Грабовський**[2], к.т.н., **Т. Б. Гордієнко**[2], д.т.н.

[1] *ДП «Укрметртестстандарт», м. Київ*
[2]*Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса*

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСІВ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

У статті подано результати порівняльного аналізу для встановлення основних складових життєвого циклу програмного забезпечення (ПЗ) для засобів вимірювальної техніки (ЗВТ). Для цих досліджень використано як базові міжнародні стандарти щодо інженерії ПЗ, так і специфічні міжнародні та регіональні документи щодо ПЗ для ЗВТ.

Особливістю ПЗ для ЗВТ є те, що результатом приймання такого ПЗ є успішно випробуваний ЗВТ, ПЗ якого є складовою цього ЗВТ. Врахування специфічних вимог до ПЗ для ЗВТ вкрай важливе на таких етапах життєвого циклу як процеси аналізу системних вимог, аналізу вимог до ПЗ і тестування придатності ПЗ.

***Ключові слова**: програмне забезпечення, життєвий цикл, засоби вимірювальної техніки, тестування, оцінювання якості.*

О. Н. Величко, д.т.н., **О. В. Грабовский,** к.т.н., **Т. Б. Гордиенко,** д.т.н.

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ СРЕДСТВ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

В статье представлены результаты сравнительного анализа для установления основных составляющих жизненного цикла программного обеспечения (ПО) для средств измерительной техники (СИТ). Для этих исследований использованы как базовые международные стандарты инженерии ПО, так и специфические международные и региональные документы по ПО для СИТ.

Особенностью ПО для СИТ является то, что результатом принятия такого ПО является успешно испытанное СИТ, ПО которого является составляющей этого СИТ. Учет специфических требований к ПО для СИТ крайне важно на таких этапах жизненного цикла как процессы анализа системных требований, анализа требований к ПО и тестирование пригодности ПО.

***Ключевые слова**: программное обеспечение, жизненный цикл, средства измерительной техники, тестирование, оценка качества.*

O. M. Velychko, DSc, **O. V. Hrabovskiy,** PhD, **T. B. Gordiyenko,** DSc

FEATURES OF THE LIFE CYCLE PROCESSES OF THE SOFTWARE FOR MEASURING EQUIPMENT

The article presents the results of comparative analysis to establish the main components of the software life cycle for measuring instruments (MI). Both basic international software engineering standards and specific international and regional documents for MI software were used for these studies. The results of the comparative analysis of the software life cycles for the MI allow both the developer of such software and its customer or consumer to focus on the most important stages for this software.

The peculiarity of the MI software is that the result of the adoption of such software is a successfully tested MI, the software of which is a component of this MI. MI software testing is a component of acceptance tests of the MI itself, as a result of which this MI is accepted. Only upon successful completion of all necessary inspections of MI software can it be stated that the overall quality assessment of MI software has been completed.

Consideration of specific software requirements for MIs is extremely important at such stages of the life cycle as the processes of system requirements analysis, software requirements analysis and software suitability testing. At the stage of formation of requirements for MI software, not only the general requirements for MI software (built into MI, installed on universal computers), but also specific requirements for the components of such software should be taken into account. For MI software, it is necessary to establish the level

of division of software into legally significant and other parts, the degree of verification of software reading, storage devices and data transmission devices.

Keywords: *software, life cycle, measuring equipment, testing, quality assessment.*

DOI 10.32684/2412-5288-2020-2-17-37-45

Вступ

Складність програмного забезпечення (ПЗ) зараз зросла до безпрецедентного рівня. Це призвело як до нових можливостей ПЗ, так і до посилення вимог до організацій, які створюють і використовують це ПЗ. Ці вимоги існують на всіх рівнях архітектури ПЗ і протягом усього життєвого циклу ПЗ. Життєвий цикл ПЗ є сукупністю окремих етапів робіт у певному порядку протягом певного періоду часу. Він починається з розроблення ПЗ і закінчується припиненням його використання. Життєвий цикл ПЗ супроводжується розробленням, обігом і використанням спеціальних документів щодо ПЗ [1].

Інженерія ПЗ сприяє забезпеченню його реалізації. В ній основна увага приділяється визначенню потреб зацікавлених сторін і необхідної функціональності на початку циклу розробки ПЗ, документуванню вимог і виконанню синтезу дизайну та перевірки ПЗ при завершенні його розроблення [1, 2].

Інженерія ПЗ об’єднує всі зусилля його розробників, утворюючи структурований процес розробки ПЗ, який переходить від концепції до експлуатації та обслуговування. Цей процес враховує як комерційні, так і технічні потреби з метою забезпечення якості ПЗ, що відповідає потребам користувачів та інших зацікавлених сторін. Життєвий цикл ПЗ охоплює концепцію ідей до виходу з ладу ПЗ і забезпечує процеси придбання та постачання ПЗ. Це допомагає покращити взаємодію та співпрацю між сторонами, які створюють і використовують сучасне ПЗ.

Актуальним питанням при розробленні та експлуатації ПЗ є оцінювання та вдосконалення процесів життєвого циклу ПЗ конкретного призначення, зокрема ПЗ для засобів вимірювальної техніки (ЗВТ).

Аналіз публікацій та досліджень

Існує велика різноманітність ПЗ з точки зору їх призначення, сфери застосування, складності, розміру, новизни, адаптованості, місця розташування, тривалості життєвого циклу тощо. За багаторічної практики розроблення різноманітного ПЗ створено низку типових схем упорядкування етапів робіт з його проектування і розроблення. Такі схеми одержали назву життєвого циклу ПЗ і узагальнені в міжнародному стандарті ISO/IEC/IEEE 12207 [1], який гармонізований в Україні [3]. Цей стандарт описує процеси, що складаються з життєвого циклу техногенного ПЗ і надає загальну технологічну основу для визначення життєвого циклу ПЗ із застосуванням підходу інженерії ПЗ.

Зазначений стандарт містить процеси, діяльність і завдання, які застосовуються під час розроблення, придбання чи постачання, експлуатації, обслуговування або розпорядження програмними системами, продуктами та послугами.

Згідно з вимогами міжнародного стандарту ISO/IEC 14764 [4], який гармонізований в Україні [5], процес супроводження продукту проводиться шляхом:

коригування продукту для його зміни з метою усунення виявлених помилок або нереалізованих задач;

адаптації продукту, тобто його налаштування в умовах експлуатації, що змінилися, або в новому середовищі виконання;

поліпшення продукту чи еволюційної його зміни для підвищення продуктивності або рівня супроводу;

перевірки ПЗ, пошуку і виправлення помилок під час його експлуатації тощо [6].

Залежно від моделі життєвого циклу ПЗ визначають основні моменти щодо процесу замовлення, розроблення та супроводу ПЗ [2, 7]. У працях [8, 9] розглянуті та запропоновані каскадна (V-модель) та спіральна моделі життєвого циклу ПЗ ЗВТ. В [8] зроблено висновок про доцільність застосування загальної V-моделі під час розроблення та оцінювання якості (тестування) ПЗ ЗВТ (права гілка V-моделі). В [9] запропонована удосконалена спіральна модель розроблення ПЗ ЗВТ, яке можна віднести до ПЗ середнього та високого ризику, що найчастіше застосовується у приладах обліку матеріальних і енергетичних ресурсів.

У працях [10–12] досліджено та описано особливості оцінювання якості (тестування) ПЗ для ЗВТ та наведено основні складові для оцінювання якості ПЗ ЗВТ, базовані на аналізі міжнародних та регіональних документів [13–17].

Постановка завдання

Метою дослідження є здійснення аналізу та встановлення основних складових життєвого циклу ПЗ для ЗВТ. При цих дослідженнях необхідно використати як базові стандарти щодо інженерії ПЗ для визначення можливостей їх застосування з метою тестування та оцінювання якості ПЗ, так і специфічні міжнародні та регіо-

нальні документи щодо ПЗ ЗВТ.

Методи дослідження

Процеси, дії і задачі наведені в стандарті ISO/IEC/IEEE 12207 у найбільш загальній природній послідовності, але це не означає, що в такій самій послідовності вони повинні бути застосовані для конкретної моделі життєвого циклу ПЗ, зокрема для ПЗ ЗВТ. Залежно від проекту ПЗ процеси, дії та задачі стандарту вибираються, упорядковуються і включаються в модель життєвого циклу ПЗ.

Таким чином, для ПЗ ЗВТ можна застосувати додаткові стандарти або процедури, які визначатимуть специфічні деталі використання вибраних елементів життєвого циклу залежно від конкретного ПЗ. Для цього існують відповідні міжнародні стандарти або настанови щодо керування конфігурацією ПЗ, його супроводу, документування, оцінювання якості, верифікації, валідації, тестування тощо.

Стандарт ISO/IEC/IEEE 24748-1 [18], який гармонізований в Україні [19], встановлює керівні принципи щодо управління життєвим циклом інженерії систем і ПЗ, а стандарт ISO/IEC/IEEE 24748-3 [20], який також гармонізований в Україні [21], надає настанови щодо застосування стандарту ISO/IEC/IEEE 12207 [1].

Процеси впровадження ПЗ використовуються для створення певного системного елемента, реалізованого в ПЗ. Ці процеси перетворюють задану поведінку, інтерфейси та обмеження на реалізацію в дії щодо впровадження ПЗ, в результаті чого системний елемент повинен задовольняти вимоги, що випливають із системних вимог. Кінцевим елементом підгрупи процесу впровадження ПЗ є процес тестування придатності ПЗ до встановленого застосування. Основною його метою є підтвердження того, що інтегроване ПЗ відповідає встановленим замовником вимогам.

Тестування ПЗ є процесом багаторазового повторення його роботи з метою виявлення можливих помилок. Основна мета виділення тестування як окремого етапу створення ПЗ полягає в тому, щоб звернути увагу на обов'язковість цього етапу і необхідність спеціального планування певних витрат щодо нього. Відомо два традиційні підходи (методи) тестування придатності ПЗ: «чорний ящик» (без доступу до початкового коду) і «білий ящик» (з доступом до початкового коду) [1]. Розширену класифікацію підходів та методів тестування ПЗ, базованих на підходах до проектування тестів, розглянуто у [7, 22].

Згідно з вимогами стандарту ISO/IEC/IEEE 12207 [1] у результаті успішної реалізації процесу тестування придатності ПЗ мають бути:

розроблені критерії інтегрованого ПЗ, що демонструє відповідність вимогам ПЗ;

інтегроване ПЗ перевірено за допомогою визначених критеріїв;

документально зареєстровані результати тестування інтегрованого ПЗ;

розроблена і застосована стратегія регресії для повторного тестування інтегрованого ПЗ при зміні елементів ПЗ.

Для кожного елемента ПЗ (або елемента конфігурації ПЗ, якщо він визначений) процедура тестування придатності ПЗ складається з наступних поетапних завдань [1].

Етап 1. Розробник ПЗ повинен провести кваліфікаційне тестування ПЗ відповідно до кваліфікаційних вимог до нього. При цьому слід забезпечити перевірку виконання кожної встановленої вимоги до ПЗ на відповідність і результати цього кваліфікаційного тестування повинні бути задокументовані.

Етап 2. Розробник ПЗ повинен оновити документацію користувача ПЗ, якщо це необхідно.

Етап 3. Розробник ПЗ повинен оцінити з відповідним документуванням дизайн, код, тести, результати тестів і документацію користувача, враховуючи такі критерії:

випробування щодо охоплення встановлених вимог до ПЗ.

відповідність очікуваним результатам розроблення ПЗ;

доцільність інтеграції та тестування ПЗ, якщо вона проводиться;

можливість експлуатації та обслуговування ПЗ.

Етап 4. Розробник ПЗ повинен підтримувати аудит відповідно до встановлених вимог до ПЗ. Результати цього аудиту повинні бути задокументовані, а сам аудит повинен проводитись до тестування кваліфікації ПЗ.

Етап 5. Реалізатор ПЗ після успішного завершення аудиту повинен, перед наданням ПЗ його замовнику, оновити та підготувати ПЗ для інтеграції системи, тестування придатності ПЗ, встановлення ПЗ або підтримки прийняття ПЗ. Процес тестування придатності ПЗ може бути застосований під час верифікації або валідації ПЗ.

Результати досліджень

Стандарт ISO/IEC/IEEE 12207 призначено для досягнення цілком узгодженого уявлення про процеси життєвого циклу системи та ПЗ. Він об'єднує дії, які можуть виконуватися протягом життєвого циклу системи ПЗ, із семи технологічних груп. Кожен із процесів життєвого циклу в межах цих груп описується з точки зору його мети та бажаних результатів, а також перераховані заходи та завдання, які необхідно вико-

нати для досягнення цих результатів. Цілі та результати процесів життєвого циклу складають довідкову модель процесу.

Підпроцеси і групи підпроцесів життєвого циклу ПЗ відповідно до стандарту ISO/IEC/IEEE 12207 наведено у табл. 1.

Таблиця 1 – Послідовність групи підпроцесів життєвого циклу ПЗ

	Процеси системного контексту				Програмно-орієнтовані процеси		
Підпроцеси	Процеси угоди	Організаційні процеси, що сприяють реалізації проектів	Процеси проекту	*Технічні процеси*	*Процеси впровадження ПЗ*	*Процеси підтримки ПЗ*	Процеси повторного використання ПЗ
Групи підпроцесів	Процеси придбання	*Процес управління моделлю життєвого циклу*	*Процес планування проекту*	*Процес визначення вимог зацікавлених сторін*	*Процес аналізу вимог до ПЗ*	*Процес управління документами ПЗ*	Процес доменної інженерії
	Процеси постачання	Процес управління інфраструктурою	*Процес оцінки та контролю проекту*	*Процес аналізу системних вимог*	*Процес архітектурного проектування ПЗ*	*Процес управління конфігурацією ПЗ*	Повторне використання процесу управління активами
		Процес управління портфелем проектів	Процес управління рішеннями	*Процес архітектурного проектування ПЗ*	*Процес розробки ПЗ*	*Процес забезпечення якості ПЗ*	Повторне використання процесу управління програмою
		Процес управління людськими ресурсами	*Процес управління ризиками*	*Процес впровадження*	*Процес створення ПЗ*	*Процес верифікації ПЗ*	
		Процес управління якістю	Процес управління конфігурацією	*Процес системної інтеграції*	*Процес інтеграції ПЗ*	*Процес валідації ПЗ*	
			Процес управління інформацією	*Процес тестування придатності системи*	*Процес тестування придатності ПЗ*	Процес огляду ПЗ	
			Процес вимірювання	*Процес встановлення ПЗ*		Процес аудиту ПЗ	
				Процес підтримки прийняття ПЗ		Процес вирішення проблем ПЗ	
				Процеси роботи, обслуговування і видалення ПЗ			

Як видно з цієї таблиці, усі процеси поділяються на процеси системного контексту та програмно-орієнтовані процеси. Процеси системного контексту поділяються на процеси угоди, організаційні процеси, що сприяють реалізації проектів, процеси проекту і технічні процеси. Програмно-орієнтовані процеси поділяються на процеси впровадження ПЗ, процеси підтримки ПЗ і процеси повторного використання ПЗ. Кожен з підпроцесів має свою групу підпроцесів. Всі ці процеси і підпроцеси можуть бути застосовані для ПЗ ЗВТ, однак для нього необхідна деталізація групи підпроцесів, що відносяться до технічних процесів.

Зазначений стандарт також забезпечує процеси, які можна використовувати для визначення, контролю та вдосконалення процесів життєвого циклу ПЗ в організації чи проекті. Проце-

си, діяльність та завдання у ньому можуть також застосовуватися під час придбання системи, яка містить ПЗ, самостійно або спільно зі стандартом ISO/IEC/IEEE 15288 [23], який гармонізований в Україні [24].

Розгляду і аналізу основних етапів життєвого циклу розробки ПЗ присвячена низка публікацій [2, 6, 25–27]. Тестуванню ПЗ ЗВТ присвячені спеціальні міжнародні та регіональні документи і рекомендації, тому саме цьому процесу була приділена основна увага у працях [8–12].

В табл. 2 наведено порівняння етапів життєвих циклів ПЗ загального призначення і ПЗ для ЗВТ, побудованих з урахуванням вимог міжнародних стандартів щодо життєвого циклу ПЗ загального призначення (так званий стандартизований), а також з урахуванням спіральної моделі та моделі V (для обох видів ПЗ). Для цієї побудови використані результати праць [8, 9].

Отримані у результаті порівняльного аналізу етапи життєвих циклів ПЗ для ЗВТ дозволяють як розробнику такого ПЗ, так і його замовнику чи споживачу сконцентруватись на найбільш важливих етапах для цього ПЗ.

На етапі формування вимог до ПЗ ЗВТ повинні враховуватися не тільки загальні вимоги до ПЗ ЗВТ (вбудованого у ЗВТ – P, встановленого на універсальних комп'ютерах – U), але і специфічні вимоги до складових такого ПЗ. Для ПЗ ЗВТ є необхідність встановлення рівня розділення ПЗ на законодавчо значиму та інші частини (вимоги S), ступеня перевірки зчитування ПЗ (D), запам'ятовуючих пристроїв (L) і пристроїв передачі даних (T) [10, 11, 13].

Випробування ПЗ ЗВТ є складовою приймальних випробувань самого ЗВТ, за результатами якого це ЗВТ приймається. Лише при успішному завершенні всіх необхідних перевірок ПЗ ЗВТ, можна стверджувати про завершення загальної оцінки якості ПЗ ЗВТ.

У загальному випадку перед проведенням тестування ПЗ ЗВТ створюють спеціальну програму тестування, в якій описують всі необхідні складові тестування окремих компонентів ПЗ і його в цілому. У цій програмі відзначають всі необхідні методи тестування ПЗ ЗВТ і подання результатів його тестування. Ступінь тестування складових ПЗ ЗВТ залежить від класів ризиків, які присвоюються ПЗ залежно від ЗВТ, для якого воно створюється.

Для проведення якісного процесу тестування важливо володіти повним набором даних, що представляють різні варіанти ситуації цього процесу. Як правило, такий набір даних надає кінцевий користувач ПЗ ЗВТ, але в багатьох випадках розробники ПЗ самі можуть доповнити наданий набір своїми варіантами ситуацій. Однак основними вимогами для такого тестування є спеціальні вимоги міжнародних і регіональних документів щодо ПЗ ЗВТ [13–17].

Одним із важливих елементів життєвого циклу ПЗ є його супровід – сукупність дій із забезпечення роботи, внесення змін при виявленні помилок, адаптації ПЗ до нового середовища функціонування, а також підвищення продуктивності або поліпшення деяких характеристик ПЗ. Супровід життєвого циклу ПЗ проводиться відповідно до положень стандартів ISO/IEC/IEEE 12207 [1] і ISO/IEC 14764 [4] з метою виконання і модифікації ПЗ в процесі експлуатації за умови збереження його цілісності [2].

Стандарт ISO/IEC 14764 [4] більш детально описує управління процесами технічного обслуговування ПЗ, що наведені у стандарті ISO/IEC/IEEE 12207 [1], а також надає настанови щодо планування, виконання, контролю, огляду, оцінки та завершення процесів технічного обслуговування ПЗ. Він забезпечує основу, в рамках якої загальні та конкретні плани технічного обслуговування ПЗ можуть бути виконані, оцінені та пристосовані до обсягу технічного обслуговування та масштабів ПЗ. Стандарт регламентує процеси, що дозволяють послідовно застосовувати технології (інструменти, прийоми та методи) для обслуговування ПЗ.

Висновки

Особливістю ПЗ ЗВТ є те, що результатом приймання такого ПЗ є успішно випробуваний ЗВТ, ПЗ якого є важливою складовою цього ЗВТ.

Для етапів життєвого циклу ПЗ для ЗВТ потребується врахування особливостей такого ПЗ із урахуванням відповідних специфічних вимог міжнародних і регіональних документів.

Врахування специфічних вимог до ПЗ ЗВТ вкрай важливе на етапах процесів аналізу системних вимог, аналізу вимог до ПЗ і тестування придатності ПЗ.

Таблиця 2 – Порівняння етапів життєвих циклів ПЗ загального призначення і ПЗ для ЗВТ

Стандартизований	Спіральна модель	Модель V	
ПЗ загального призначення	ПЗ для ЗВТ	ПЗ загального призначення	ПЗ для ЗВТ
Процес визначення вимог зацікавлених сторін	Концептуальне визначення проекту з розроблення ПЗ	Сфера застосування ПЗ	Розроблюваний ЗВТ
Процес аналізу системних вимог	Концептуальний прототип ПЗ	Визначення вимог до ПЗ (користувач)	Визначення вимог до ЗВТ (U чи P)
Процес аналізу вимог до ПЗ	Визначення загальних вимог до ПЗ	Визначення вимог до ПЗ	Визначення вимог до ПЗ ЗВТ (S)
Процес архітектурного проектування ПЗ	-	Дизайн ПЗ високого рівня	Дизайн ПЗ ЗВТ високого рівня
	-	Детальний дизайн ПЗ	Детальний дизайн ПЗ ЗВТ
Процес управління моделлю життєвого циклу, процес управління документами ПЗ	Планування життєвого циклу ПЗ і виконання вимог замовника, цілі, завдання, варіанти підходів до вирішення завдань та організації процесів	-	-
Процес управління ризиками	Аналіз ризиків	-	-
Процес оцінки та контролю проекту	Демонстративний, операційний і функціональний (робочий) прототипи ПЗ	-	-
-	Імітаційне моделювання	-	-
Процес управління документами ПЗ	Аналіз встановлених вимог до ПЗ	-	-
Процес планування проекту, процес управління конфігурацією ПЗ	Планування розроблення ПЗ	-	-
Процеси розробки ПЗ, процес створення ПЗ	Варіанти організації процесів розроблення ПЗ, проектування ПЗ	-	-
Процес верифікації ПЗ, процес валідації ПЗ	Верифікація і валідація проекту	-	-
-	План інтегрування і випробування ПЗ, варіанти рішення розроблення ПЗ та його модулів, проектування модулів ПЗ	-	-
-	Кодування ПЗ	Кодування ПЗ	Кодування ПЗ ЗВТ
Процес тестування придатності ПЗ	Набори для тестування ПЗ, тестування модулів ПЗ	Випробування модулів ПЗ	Перевірка зчитування ПЗ ЗВТ (D), запам’ятовуючих пристроїв (L), пристроїв передачі даних (T)
Процес системної інтеграції	Інтеграція і комплексне тестування ПЗ	Інтеграція модулів ПЗ, системна інтеграція ПЗ	-
Процес забезпечення якості ПЗ	Приймально-здавальні випробування ПЗ	Приймальні випробування ПЗ	Приймальні випробування ЗВТ
Процес підтримки прийняття ПЗ	Впровадження розробленого ПЗ	Прийняте ПЗ	Прийнятий ЗВТ

Список використаних джерел

1. ISO/IEC/IEEE 12207:2017. Systems and software engineering. Software life cycle processes. [Valid from 2017-11-01]. ISO/IEC/IEEE, 2017. 145 p.
2. Лавріщева К. М. Програмна інженерія: підручник. Київ: НАН України, 2008. 319 с.
3. ДСТУ ISO/IEC/IEEE 12207:2018. Інженерія систем і програмних засобів. Процеси життєвого циклу програмних засобів. (ISO/IEC/IEEE 12207:2017, IDT). [Чинний від 2018-08-15]. Вид. офіц. Київ, 2018. 145 с.
4. ISO/IEC 14764:2006. Software Engineering. Software Life Cycle Processes. Maintenance. [Valid from 2006-09-01]. ISO/IEC, 2006. 44 p.
5. ДСТУ ISO/IEC 14764:2014. Інженерія програмного забезпечення. Процеси життєвого циклу програмного забезпечення. Технічне обслуговування (ISO/IEC 14764:2006, IDT) [Чинний від 2016-01-01]. Вид. офіц. Київ, 2016. 45 с.
6. Пацей Н. В., Шиман Д. В., Сухорукова И. Г. Технология разработки программного обеспечения: учеб.-метод. пособие. Минск: БГТУ, 2011. 130 с.
7. Коротун Т. М. Моделі і методи тестування програмних систем. Проблеми програмування. 2007. № 2. С. 76–84.
8. Величко О. М., Грабовський О. В., Гордієнко Т. Б. Особливості застосування V-моделі при розробленні та оцінюванні якості програмного забезпечення засобів вимірювальної техніки. Збірник наукових праць ОДАТРЯ. 2019. Вип. 1 (14). С. 6–11.
9. Величко О. М., Грабовський О. В., Гордієнко Т. Б. Особливості застосування спіральної моделі для випробувань програмного забезпечення засобів вимірювальної техніки. Збірник наукових праць ОДАТРЯ. 2019. Вип. 2(15). С. 42–49.
10. Velychko O., Gordiyenko T., Hrabovskyi O. Testing of measurement instrument software on the national level. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Information and controlling systems. 2018. № 2/9 (92). P. 13–20.
11. Velychko O., Gaman V., Gordiyenko T., Hrabovskyi O. Testing of measurement instrument software with the purpose of conformity assessment. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Information and controlling systems. 2019. № 1/9 (97). P. 19–26.
12. Velychko O., Hrabovskyi O., Gordiyenko T. Peculiarities of Testing of Measurement Instrument Software in Ukraine. Sensors and Electronics Instrumentation Advances: Proceedings of the 5th International Conference on Sensors Engineering and Electronics Instrumentation Advances (SEIA' 2019), 25-27 September 2019, Adaje, Canary Islands (Tenerife), Spain. P. 241–243.
13. OIML D 31:2008. General Requirements for Software Controlled Measuring Instruments. OIML. Paris, 2008. 53 p.
14. WELMEC 7.1. Informative Document: Development of Software Requirements. WELMEC, 2005. 47 p.
15. WELMEC 7.2. Software Guide (Measuring Instruments Directive 2014/32/EC). WELMEC, 2019. 132 p.
16. WELMEC 2.3. Guide for Examining Software (Non-automatic Weighing Instruments). WELMEC, 2005. 23 p.
17. COOMET R/LM/10:2004. COOMET Recommendation: Software for Measuring Instruments: General Technical Specifications. COOMET. 2004. 10 p.
18. ISO/IEC/IEEE 24748-1:2018. Systems and software engineering. Life cycle management. Part 1: Guidelines for life cycle management. [Valid from 2018-11-01]. ISO/IEC/IEEE, 2018. 72 p.
19. ДСТУ ISO/IEC TS 24748-1:2018. Інженерія систем і програмних засобів. Керування життєвим циклом. Частина 1. Настанови щодо керування життєвим циклом. (ISO/IEC TS 24748-1:2018, IDT). [Чинний від 2018-08-15]. Вид. офіц. Київ, 2018. 72 с.
20. ISO/IEC/IEEE 24748-3:2011. Systems and software engineering. Life cycle management. Part 3: Guide to the application of ISO/IEC 12207 (Software life cycle processes). [Valid from 2011-09-01]. ISO/IEC/IEEE, 2011. 111 p.
21. ДСТУ ISO/IEC TR 24748-3:2016. Інженерія систем і програмного забезпечення. Керування життєвим циклом. Частина 3. Настанова щодо застосування ISO/IEC 12207 (Процеси життєвого циклу програмного забезпечення). (ISO/IEC TR 24748-3:2011, IDT). [Чинний від 2018-01-01]. Вид. офіц. Київ, 2016. 91 с.
22. SWEBOK. Guide to the Software Engineering Body of Knowledge. Version 3.0. IEEE Computer Society, 2014. 335 p.
23. ISO/IEC/IEEE 15288: 2015. Systems and software engineering. System life cycle processes. [Valid from 2015-05-01]. ISO/IEC/IEEE, 2015. 108 p.
24. ДСТУ ISO/IEC/IEEE 15288:2016. Інженерія систем і програмного забезпечення. Процеси життєвого циклу систем. (ISO/IEC/IEEE 15288:2015, IDT). [Чинний від 2018-01-01]. Вид. офіц. Київ, 2018. 90 с.
25. Бахтизин В. В., Глухова Л. А. Технология разработки программного обеспечения: учеб. пособие. Минск: БГУИР, 2010. 267 с.
26. Software Development Methodology Today. Software Development Strategies and Life-

Cycle Models. URL: http://www.informit.com/articles/article.aspx?p=605374&seqNum=2

27. Брауде Э. Технология разработки программного обеспечения. СПб.: Питер, 2004. 655 с.

References

1. ISO/IEC/IEEE 12207:2017. Systems and software engineering. Software life cycle processes. [Valid from 2017-11-01]. ISO/IEC/IEEE, 2017. 145 p.

2. Lavrishcheva K. M. Programna inzheneriya pidruchnyk. Kyiv: NAN Ukrayiny, 2008. 319 p.

3. DSTU ISO/IEC/IEEE 12207:2018. Inzheneriya system i programnyh zasobiv. Protcesy zhyttyevogo tsyklu programnyh zasobiv. (ISO/IEC/IEEE 12207:2017, IDT). [Chynnuy vid 2018-08-15]. Vyd. ofits. Kyiv, 2018. 145 p.

4. ISO/IEC 14764:2006. Software Engineering. Software Life Cycle Processes. Maintenance. [Valid from 2006-09-01]. ISO/IEC, 2006. 44 p.

5. DSTU ISO/IEC 14764:2014. Inzheneriya programnogo zabezpechennya. Protsesy zhyttyevogo tsyklu programnogo zabezpechennya. Tekhnichne obslugovuvannya (ISO/IEC 14764:2006, IDT) [Chynnuy vid 2016-01-01]. Vyd. ofits. Kyiv, 2016. 45 p.

6. Patsey N. V., Shyman D. V., Suhorukova I. G. Tekhnologiya razrabotki programmnogo obespecheniya: ucheb.-method. posobiye. Minsk: BGTU, 2011. 130 p.

7. Korotun T. M. Modeli i methody tastuvannya programnyh system. Problemy programuvannya. 2007. № 2. P. 76–84.

8. Velychko O. M., Hrabovskyi O. V., Gordiyenko T. B. Osoblyvosti zastosuvannya V-modeli pry rozroblenni ta otsinyuvanni yakosti programnogo zabezpechennya zasobiv vymiryuvalnoyi tekhniky. Zbirnyk naukovykh prats ODATRYA. 2019. Vyp. 1 (14). P. 6–11.

9. Velychko O. M., Hrabovskyi O. V., Gordiyenko T. B. Osoblyvosti zastosuvannya spiralnoyi modeli dlya vyprobuvan programnogo zabezpechennya zasobiv vymiryuvalnoyi tekhniky. Zbirnyk naukovykh prats ODATRYA. 2019. Vup. 2 (15). P. 42–49.

10. Velychko O., Gordiyenko T., Hrabovskyi O. Testing of measurement instrument software on the national level. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Information and controlling systems. 2018. № 2/9 (92).

11. Velychko O., Gaman V., Gordiyenko T., Hrabovskyi O. Testing of measurement instrument software with the purpose of conformity assessment. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Information and controlling systems. 2019. No 1/9 (97).

12. Velychko O., Hrabovskyi O., Gordiyenko T. Peculiarities of Testing of Measurement Instrument Software in Ukraine. Sensors and Electronics Instrumentation Advances: Proceedings of the 5th International Conference on Sensors Engineering and Electronics Instrumentation Advances (SEIA' 2019), 25-27 September 2019, Adaje, Canary Islands (Tenerife), Spain. P. 241–243.

13. OIML D 31:2008. General Requirements for Software Controlled Measuring Instruments. OIML. Paris, 2008. 53 p.

14. WELMEC 7.1. Informative Document: Development of Software Requirements. WELMEC, 2005. 47 p.

15. WELMEC 7.2. Software Guide (Measuring Instruments Directive 2014/32/EC). WELMEC, 2019. 132 p.

16. WELMEC 2.3. Guide for Examining Software (Non-automatic Weighing Instruments). WELMEC, 2005. 23 p.

17. COOMET R/LM/10:2004. COOMET Recommendation: Software for Measuring Instruments: General Technical Specifications. COOMET. 2004. 10 p.

18. ISO/IEC/IEEE 24748-1:2018. Systems and software engineering. Life cycle management. Part 1: Guidelines for life cycle management. [Valid from 2018-11-01]. ISO/IEC/IEEE, 2018. 72 p.

19. DSTU ISO/IEC TS 24748-1:2018. Inzheneriya system i programnyh zasobiv. Keruvannya zhyttyevym tsyklom. Chastyna 1. Nastanovy shchodo keruvannya zhyttyevym tsyklom. (ISO/IEC TS 24748-1:2018, IDT). [Chynnuy vid 2018-08-15]. Vyd. ofits. Kyiv, 2018. 72 p.

20. ISO/IEC/IEEE 24748-3:2011. Systems and software engineering. Life cycle management. Part 3: Guide to the application of ISO/IEC 12207 (Software life cycle processes). [Valid from 2011-09-01]. ISO/IEC/IEEE, 2011. 111 p.

21. DSTU ISO/IEC TR 24748-3:2016. Inzheneriya system i programnogo zabezpechennya. Keruvannya zhyttyevym tsyklom. Chastyna 3. Nastanovy shchodo zastosuvannya ISO/IEC 12207 (Protsesy zhyttyevogo tsyklu programnogo zabezpechennya). (ISO/IEC TR 24748-3:2011, IDT). [Chynnuy vid 2018-01-01]. Vyd. ofits. Kyiv, 2016. 91 p.

22. SWEBOK. Guide to the Software Engineering Body of Knowledge. Version 3.0. IEEE Computer Society, 2014. 335 p.

23. ISO/IEC/IEEE 15288: 2015. Systems and software engineering. System life cycle processes. [Valid from 2015-05-01]. ISO/IEC/IEEE, 2015. 108 p.

24. DSTU ISO/IEC/IEEE 15288:2016. Inzheneriya system i programnogo zabezpechennya. Protsesy zhyttyevogo tsyklu system. (ISO/IEC/IEEE 15288:2015, IDT). [Chynnuy vid 2018-01-01]. Vyd. ofits. Kyiv, 2018. 90 p.

25. Bahtizin V. V., Gluhova L. A. Tehnologiya razrabotki programmnogo obespecheniya: ucheb. posobiye. Minsk: BGUIR, 2010. 267 p.

26. Software Development Methodology Today. Software Development Strategies and Life-Cycle Models. URL: http://www.informit.com/articles/article.aspx?p=605374&seqNum=2

27. Braude E. Tehnologiya razrabotki programmnogo obespecheniya. SPb.: Piter, 2004. 655 p.

Надійшла до редакції 10.12.2020

АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК

Анохін Ю. Л. …….. 22
Букрєєва О. С. ……. 6
Величко О. М. ……..... 14, 22, 37
Гордієнко Т. Б. ……..... 37
Грабовський О. В. ……..... 37
Ісаєв В.В. ……. 14
Ткачук О. В. …..…… 29

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

АНОХІН Юрій Леонідович — *Державне підприємство «Всеукраїнський державний науково-виробничий центр стандартизації, метрології, сертифікації та захисту прав споживачів» (ДП «Укрметртестстандарт»), м. Київ, начальник науково-дослідного відділу вимірювань електричних величин*

БУКРЄЄВА Ольга Сергіївна — *Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків, кандидат технічних наук, доцент кафедри метрології та безпеки життєдіяльності*

ВЕЛИЧКО Олег Миколайович — *Державне підприємство «Всеукраїнський державний науково-виробничий центр стандартизації метрології, сертифікації та захисту прав споживачів» (ДП «Укрметртестстандарт»), м. Київ, директор Науково-виробничого інституту електромагнітних вимірювань, доктор технічних наук, професор*

ГОРДІЄНКО Тетяна Богданівна — *Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса, завідувач кафедри стандартизації, оцінки відповідності та освітніх вимірювань, доктор технічних наук, професор*

ГРАБОВСЬКИЙ Олег Вікторович — *Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса, директор Навчально-наукового інституту метрології, автоматизації, інтелектуальних технологій та електроніки, кандидат технічних наук, доцент*

ІСАЄВ Валентин Володимирович — *Державне підприємство «Всеукраїнський державний науково-виробничий центр стандартизації метрології, сертифікації та захисту прав споживачів» (ДП «Укрметртестстандарт»), м. Київ, начальник науково-дослідної лабораторії Науково-виробничого інституту електромагнітних вимірювань, кандидат технічних наук*

ТКАЧУК Олена Вікторівна — *Військова академія (м. Одеса), старший викладач кафедри фундаментальних наук*

Наукове видання

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ ОДЕСЬКОЇ ДЕРЖАВНОЇ АКАДЕМІЇ ТЕХНІЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ТА ЯКОСТІ

Випуск 2(17) 2020

Редактор Братченко Г. Д.

Комп'ютерна верстка Постоварова В. Д.

Адреса редакції: 65020, м. Одеса, вул. Ковальська 15, ОДАТРЯ,
Тел.: (048)728-07-11 – довідки;
E-mail: bratchenkohd@gmail.com

Надруковано з готового оригінал-макету
у друкарні «Апрель»
ФОП Бондаренко М. О.

Підписано до друку 28.12.2020
*Формат 60*88/8. Папір офсетний.*
Друк цифровий. Ум. друк. арк. 6,1
Тираж 100 прим.
65045, м. Одеса, вул. В. Арнаутська, 60.
www.aprel.od.ua