

АСПЕКТИ МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ В ПРОЕКТАХ ІНФРАСТРУКТУРИ ТРАНСПОРТУ

Мельниченко О.І., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, melnichenko@ntu.edu.ua, orcid.org/0000-0001-9694-9824

Кульбовський І.І., кандидат технічних наук, Державний університет інфраструктури та технологій, Київ, Україна, kulbovskiy@ukr.net, orcid.org/0000-0002-5329-3842

Голуб Г.М., кандидат технічних наук, Державний університет інфраструктури та технологій, Київ, Україна, golub.galina@ukr.net, orcid.org/0000-0002-4028-1025

Харута В.Л., Коледж інформаційних технологій та землевпорядкування Національного авіаційного університету, Київ, Україна, kharuta_val84@ukr.net, orcid.org/0000-0003-2462-8604

ASPECTS OF THE METROLOGICAL PROVISION OF TECHNOLOGICAL PROCESSES OF INFORMATION AND MEASUREMENT SYSTEMS IN TRANSPORT INFRASTRUCTURE PROJECTS

Melnichenko O.I., Candidate of Science in Engineering, National Transport University, Kyiv, Ukraine, melnichenko@ntu.edu.ua, orcid.org/0000-0001-9694-9824

Kulbovskiy I.I., PhD, State University Of Infrastructure And Technologies, Kyiv, Ukraine, kulbovskiy@ukr.net, orcid.org/0000-0002-5329-3842

Holub H.M., PhD, State University Of Infrastructure And Technologies, Kyiv, Ukraine, golub.galina@ukr.net, orcid.org/0000-0002-4028-1025

Kharuta V.L., College of Information Technology and Land Management, National Aviation University, Kyiv, Ukraine, kharuta_val84@ukr.net, orcid.org/0000-0003-2462-8604

АСПЕКТЫ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ В ПРОЕКТАХ ИНФРАСТРУКТУРЫ ТРАНСПОРТА

Мельниченко А.И., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, melnichenko@ntu.edu.ua, orcid.org/0000-0001-9694-9824

Кульбовский И.И., кандидат технических наук, Государственный университет инфраструктуры и технологий, Киев, Украина, kulbovskiy@ukr.net, orcid.org/0000-0002-5329-3842

Голуб Г.М., кандидат технических наук, Государственный университет инфраструктуры и технологий, Киев, Украина, golub.galina@ukr.net, orcid.org/0000-0002-4028-1025

Харута В.Л., Колледж информационных технологий и землеустройства Национального авиационного университета, Киев, Украина, kharuta_val84@ukr.net, orcid.org/0000-0003-2462-8604

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Метрологічне забезпечення – це встановлення та застосування метрологічних норм і правил, а також розроблення, виготовлення та застосування технічних засобів, що забезпечують єдність та необхідну точність вимірювання. Метрологічне забезпечення складається з наукової, законодавчої, технічної та організаційної основ.

Науковою основою метрологічного забезпечення є метрологія. Законодавчою основою метрологічного забезпечення є Закон України, декрети й постанови Кабінету міністрів України, які спрямовані на забезпечення єдності вимірювань. Нормативною основою метрологічного забезпечення є Державні стандарти та інші документи Державної системи забезпечення єдності вимірювань, відповідні нормативні документи Держстандарту України, методичні вказівки та рекомендації.

Технічну основу складає система державних еталонів і зразкових засобів вимірювань, яка забезпечує їх відтворення з найвищою точністю; система робочих еталонів і зразкових засобів вимірювань, за допомогою яких здійснюється передача розмірів одиниць фізичних величин робочим засобам вимірювань. А також система стандартних зразків складу та властивостей речовин і матеріалів, що забезпечує відтворення одиниць, склад і властивостей речовин і матеріалів. Система

робочих засобів вимірювальної техніки, які використовуються під час розроблення, виробництва, випробувань і експлуатації продукції, наукових досліджень та інших видів діяльності.

Організаційною основою метрологічного забезпечення є метрологічна служба України.

Метою метрологічного забезпечення є покращення якості, підвищення ефективності виробництва, використання матеріальних цінностей та енергетичних ресурсів, а також наукових досліджень.

Постановка проблеми. Можна виділити основні завдання метрологічного забезпечення технологічного процесу, це – встановлення одиниць фізичних величин; формування системи державних еталонів одиниць фізичних величин і забезпечення їхнього функціонування; розроблення методів і засобів передавання розмірів одиниць фізичних величин від еталонів зразковим і робочим засобам вимірювання. А також розроблення науково-методичних, правових та організаційних основ, які необхідні для досягнення єдності та необхідної точності вимірювання. Розроблення та впровадження в метрологічну практику норм правил законодавчої метрології. Державний та відомчий нагляд за розробленням, виробництвом, станом, застосуванням і ремонтом засобів вимірювань. Проведення державних випробувань, перевірки, калібрування та метрологічної атестації засобів вимірювань. Сертифікація засобів вимірювання. Розробка та атестація методик виконання вимірювань. Створення та атестація стандартних зразків складу і властивостей речовин і матеріалів. Проведення метрологічної експертизи, проектної, конструкторської та технологічної документації [1].

Методика проведення дослідження. Метрологічне забезпечення є досить широким поняттям. Тому коли йде мова про метрологічне забезпечення технологічного процесу (виробництва, підприємства, відомства тощо, то при цьому мають на увазі метрологічне забезпечення вимірювань даного технологічного процесу, конкретного виробництва, підприємства).

Виклад основного матеріалу. Метрологічне забезпечення технологічного процесу підприємства містить проведення аналізу стану вимірювань на підприємстві, встановлення раціональної номенклатури вимірюваних величин, номенклатури робочих і зразкових засобів вимірювань, оптимальних норм вимірювань, точності. Вибір, перевірку та метрологічну атестацію необхідних засобів, розробку методик вимірювань залежно від встановлених норм точності. Створення та підтримку умов необхідних для проведення вимірювань, метрологічну експертизу технічних завдань, конструкторської і технологічної документації. За умови відсутності засобів вимірювань, що серійно випускаються промисловістю, та необхідні для контролю технологічного процесу, в метрологічне забезпечення входить створення та визнання законом так званих нестандартизованих засобів вимірювань. В метрологічне забезпечення входить також впровадження державних і відомчих нормативно-технічних документів, розробка нормативно-відомчих документів підприємств по метрологічним питанням, проведення контролю за виробництвом, станом, застосуванням та ремонтом засобів вимірювань та дотримання метрологічних правил, норм і вимог на підприємстві.

Важливим видом діяльності по метрологічному забезпеченню є створення робочих та зразкових засобів вимірювань та їх готовність до застосування.

Важливою складовою частиною процесу проектування та виготовлення різних технічних систем є випробування. У результаті випробувань отримують майже всі дані про параметри та характеристики систем на всіх етапах їх створення. Тут можна виділити такі основні моменти

Інформація, яку отримують під час випробувань, є технічною основою вдосконалення та оптимізації вирішальних схемотехнічних рішень.

Забезпечення якості систем на етапі виробництва значною мірою залежить від випробувань.

На проведення випробувань витрачається значна частина коштів, що виділяються на проведення випробувань. Перш за все це випробувальне обладнання, тобто технічні засоби для відтворення умов випробувань.

Складовою частиною засобів випробувань є пристрої вимірювання. Вони можуть бути вбудованими до випробувального обладнання або автономними. До їх функцій належить вимірювання параметрів випробувального об'єкта або контролю умов випробувань.

До засобів випробувань відносяться також допоміжні технічні пристрої для закріплення об'єктів випробувань і реєстрації та обладнання результатів. Засоби випробувань мають бути виконані у повній відповідності із вимогами єдиної конструкторської документації і своєчасно атестовані. Атестація випробувального обладнання передбачає визначення його нормованих технічних характеристик та встановлення придатності до роботи.

Метрологічне забезпечення систем та пристроїв електроспоживання на залізничному транспорті є важливим завданням керівництва. Досить складне завдання у зв'язку з специфікою процесів постачання електроенергії на тягу поїздів, процесів контролю та забезпечення безпеки руху поїздів.

Питання забезпечення надійної, економічної і якісної роботи електроенергетичних об'єктів вирішується за допомогою їх комплексної автоматизації та інформатизації, одним із стратегічних напрямків яких є впровадження на великих електроенергетичних об'єктах цифрових електровимірювальних реєструючих приладів синхронізованих вимірів [2]. Використання їх на цих об'єктах стає загальноприйнятою нормою і значно полегшує умови праці обслуговуючого персоналу і підвищує надійність обладнання за рахунок постійного контролю режимів його роботи та інформаційного забезпечення. Технічні дані цих приладів дозволяють вирішувати безліч завдань, пов'язаних з реєстрацією режимів роботи енергосистем, визначенням електричних і часових параметрів, відшукування пошкодження на лініях електропередач, діагностикою електрообладнання та багато інших.

Результати та обговорення дослідження. Відомо, що експериментальні дослідження та випробування потребують значних коштів, частка яких у загальних витратах на проектування постійно зростає. Якщо йдеться про сучасні складні технічні системи, то кошти на творення відповідного контрольно-вимірювального та випробувального обладнання значно більші ніж затрати на розроблення самих систем. Тому автоматизація контрольно-вимірювальних та випробувальних процесів є одним із найбільш важливих напрямів підвищення ефективності проектування систем [3].

Зазвичай, підприємства, що займаються створенням складних технічних систем, мають у своєму розпорядженні випробувальне обладнання, яке дозволяє імітувати практично, всі види зовнішніх впливів, а саме підвищену та понижену температури, підвищені вологість, соляний туман, вібрацію, удари та ін. Висока трудомісткість та тривалість випробувань частково пояснюється тим, що проведення випробувань на такому обладнанні потребує значних затрат часу на підготовчі операції, у тому числі встановлювання систем на випробувальному обладнанні, підключення контрольно-вимірювальної апаратури і т ін. Застосування універсального обладнання, яке дозволяє на одній установці проводити випробування різних видів і в різній послідовності, приводить до значного підвищення ефективності випробувань.

Найбільш ефективний спосіб підвищення надійності, економічності та безпеки роботи електроенергетичного обладнання – це використання методів і засобів технічного діагностування. Завдяки застосуванню систем моніторингу контролю та діагностики електричних параметрів електроенергетичних об'єктів залізниць, мінімізується як час відновлення електропостачання (з цим пов'язано відновлення руху поїздів), так і відповідні економічні збитки, обумовлені аварійним знеструмленням, а також скорочуються витрати пов'язані з оперативним виконанням ремонтних робіт по усуненню наслідків пошкоджень [4-5].

Характеристики цифрових реєстраторів та системи моніторингу, які пропонуються на ринку електроенергетичних систем провідними виробниками регламентуються міжнародними стандартами [6-8]. Проведені порівняння точності вимірювань різних пристроїв реєстрації параметрів режимів PMUs [9] демонструють схожі показники та підтверджують можливість застосування системи моніторингу режимних параметрів (WAMS) в задачах оцінювання стану енергетичних систем. Разом з тим, тривають роботи по вдосконаленню розподілених вимірювань, зокрема оцінки та компенсації похибок пов'язаних із транспортними затримками інформаційних ліній передач.

Компанія ABB належить до лідерів галузі електротехнічного обладнання, однією з перших налагодила випуск цифрових реєстраторів типу RES 521 [10] та впровадження WAMS для ОЕС країн центральної Європи. Характеристики реєстраторів RES 521 стали основою для формування міжнародних стандартів відносно характеристик вимірювальних каналів, точності синхронізації по часу, спеціалізованих модифікацій мережесих протоколів та форматів повідомлень [11].

Компанія Arbiter Systems здійснює впровадження та обслуговування систем моніторингу на основі реєстраторів Power Sentinel 1133A. Характеристики продукції Arbiter Systems задають стандарти точності синхронізації вимірювань на основі GPS, оскільки пристрої супутникової орієнтації є однією із спеціалізацій компанії. Результати порівняння точності вимірювань потужності за допомогою PMU Power Sentinel 1133A (0.025%) та стандартного ватметра (0.1%), свідчать про можливість збільшення ефективності обліку електроенергії засобами реєстраторів Power Sentinel [12]. Особливістю каналів вимірювання аналогових сигналів є використання автокалібрування в режимі реального часу, завдяки чому усуваються ряд джерел помилок, які могли б погіршити точність.

Процес калібрування реалізовано по принципу інжекції у вимірювальний канал внутрішнього еталонного сигналу, при цьому, повний набір допоміжних вимірів виконується один раз в секунду.

Компанія General Electric, що є лідером на ринку електроенергетичного обладнання регіону Північної Америки, здійснює випуск загальних систем управління, захисту та моніторингу на основі пристроїв Multilin N-60 [13]. Розглядувані пристрої призначені для реалізації інтелектуальних систем захисту електроенергетичного об'єкту, є основою побудови автоматизованих інформаційно-керуючих мереж ЕС. Система здатна генерувати інтелектуальні рішення відносно керування режимами електроенергетичних систем.

Система моніторингу якості енергозабезпечення ОЕС Туреччини побудована на основі цифрових реєстраторів з прив'язкою до GPS, які мають назву Power Quality (PQ) analyzers (аналізатори якості живлення), чим підкреслюється використання системи, в основному, для комерційного обліку електроенергії. Для побудови інформаційної мережі використовуються GPRS-, ADSL- та оптоволоконні канали передачі даних. Система сертифікована згідно міжнародних стандартів [6-8], при цьому, канали вимірювання струмів та напруг забезпечують дискретизацію на рівні 512 значень на період основної гармоніки (50 Гц), а GPS синхронізація по часу забезпечується з похибкою яка не перевищує 100 нс.

На основі територіально розподілених високоточних реєстраторів «Регіна-Ч» створена системи моніторингу перехідних режимів (СМІР), яка призначена для постійного спостереження за параметрами режимів електроенергетичних систем, оцінкою та прогнозом розвитку поточних режимів роботи та видачею отриманої інформації в цифровому вигляді системам керування та інформаційним системам, що застосовуються в електроенергетиці.

Для моніторингу режимів об'єднаної електроенергетичної система України на системі утворюючих електроенергетичних об'єктах впроваджено діагностичний комплекс «Регіна-Ч» [14], що є спільною розробкою провідних вітчизняних наукових установ. Характеристики вітчизняних реєстраторів не поступаються закордонним аналогам та відповідають міжнародним стандартам [15]. WAMS на базі пристроїв «Регіна-Ч» забезпечують сучасні функціональні можливості діагностики електроенергетичної системи, зокрема оцінювання стану, моніторинг перехідних режимів та низькочастотних коливань.

Багатофункціональність цифрового електровимірювального пристрою синхронізованих вимірювань (ЦПСВ), яка полягає у визначенні різних по своїй фізичній природі величин, вимагає в свою чергу комплексного підходу до його метрологічного забезпечення. Розглянемо основні методи і засоби їх реалізації для визначення метрологічних характеристик ЦПСВ, розробленого для вимірювання і моніторингу параметрів електричних мереж [16].

Основними параметрами, що підлягають визначенню в процесі моніторингу це:

- 1) діючі значення перших гармонік кожної фази;
- 2) діючі значення активної і реактивної потужності; значення кутів між фазами векторів напруг;
- 3) значення частоти напруги кожної фази;
- 4) значення точного часу переходу фазної напруги через нуль;
- 5) кут між синусоїдою напруги мережі і синусоїдою 50 Гц, прив'язаною до сигналів точного часу.

З метою визначення метрологічних характеристик електровимірювального реєструючого приладу («Регіна-Ч») була проведена державна метрологічна атестація, в ході якої були визначені похибки вимірювання наступних величин: сили змінного струму; напруги змінного струму; частоти змінного струму; активної потужності; реактивної потужності; електричних кутів між векторами напруг; електричних кутів між векторами струмів; електричних кутів між векторами напруг і струмів; коефіцієнта потужності; синхронізації приладу «Регіна-Ч» від GPS.

При проведенні державної метрологічної атестації було використано наступне обладнання: частотомер ЧЗ-63; калібратор універсальний Н4-6; вимірювач різниці фаз Ф2-34; міра опору змінного струму РТ-1; установка ED8421 з еталонним лічильником EPZ 303-5, клас точності 0,02.

Співвідношення меж допустимих значень похибок еталонних засобів вимірювальної техніки та електровимірювання реєструючого приладу «Регіна-Ч» не перевищує 1/3.

Оскільки прилади «Регіна-Ч» призначені для роботи в нормальних режимах, діапазон зміни вхідних сигналів по струму, напрузі і відповідно потужності обмежений їх номінальними значеннями. Для експериментального визначення його нормованих метрологічних характеристик, необхідно на вхід приладу «Регіна-Ч» подати калібрований сигнал струму, напруги або потужності і визначити похибка його вимірювання.

Однією з основних метрологічних характеристик приладу «Регіна-Ч» для моніторингу частоти є похибка вимірювання частоти вхідної напруги, абсолютне значення якої унормовано в межах $\pm 0,001$ Гц. Для визначення даної метрологічної характеристики запропонована електрична схема з використанням в якості джерела стабільного за частотою напруги калібратора універсального Н4-6, в якості робочого еталона для вимірювання частоти застосовується частотомір ЧЗ-63.

Вимірювання частоти з такою точністю можливо лише за умови правильного і раціонального вибору частоти дискретизації сигналу з подальшою апроксимацією переходів синусоїди через нуль, що забезпечує задану точність вимірювань.

Інформація, яка зареєстрована «Регіна-Ч» розглядається як дискрета, так як прилад є цифровим.

Для забезпечення однакової інтерпретації результатів синхронізованих вимірювань параметрів режимів роботи систем, використовується метод синхронізації вимірювальних модулів систем реєстрації параметрів розподілених електроенергетичних об'єктів. Даний метод полягає в прив'язці всіх вимірювань, в тому числі і кута вектора напруги до так званої ідеальної синусоїди. Для цього, наприклад, о 12 годині 00 хвилин 00 секунд 000 мілісекунд 000 мікросекунд на всіх реєстраторах синхронізованих вимірів, розташованих на електроенергетичних об'єктах запускається віртуальна синусоїда з частотою 50 Гц і нульовий фазою. Далі, всі виміри величин, в тому числі і кутів векторів напруги, виробляються щодо цієї синусоїди, на кожному її періоді. По суті, синхронізація вимірювальних модулів систем реєстрації, встановлених на різних об'єктах полягає в прив'язці переходів через нуль вимірюваної синусоїди напруги до шкали часу GPS вироблених через 20 мілісекунд.

Для визначення переходів через нуль основної гармоніки синусоїдальної напруги використовується апроксимація степовими поліномами. Передбачається, що після реєстрації сигнал був пропущений через фільтр, на виході якого є дискретні значення основної гармоніки синусоїдального сигналу.

Розглянемо лінійну апроксимацію. Апроксимувати значення в точці дорівнює:

$$u(t) = f_0 + f_1 \cdot (t - t_0), \quad (1)$$

$$\text{де } f_0 = u(t_0), \quad f_1 = \frac{u(t_1) - u(t_0)}{t_1 - t_0}.$$

Так як необхідно знайти перехід через нуль, прирівняємо (1) до нуля і знайдемо t .

$$t = \frac{f_1 \cdot t_0 - f_0}{f_1}. \quad (2)$$

Важливим тимчасовим параметром режиму є фази напруг різних вузлів електроенергетичних систем, виміряні в єдиному форматі астрономічного часу. Тобто вимірювання кута вектора напруги мережі контрольованих приєднань з прив'язкою до тимчасових сигналів, одержуваних від GPS приймача. Вимірювання цього параметра із заданою точністю необхідно для синхронної роботи різних частин електроенергетичних систем; контролю перетікань потужностей в системах; експертної оцінки стану мереж; контролю станів систем при підключенні до неї електроенергетичних об'єктів; контролю роботи диференційно фазних захистів на лініях електропередач; періодичний контроль стану електроенергетичних систем електроспоживаючими організаціями.

При цьому похибка синхронізації вимірювальних модулів системи реєстрації параметрів режимів мережі від GPS не повинна перевищувати ± 20 мкс, а похибка кута вектора напруги вимірюваної синусоїди щодо синусоїди, прив'язаною до астрономічного часу не повинна перевищувати $\pm 1^\circ$.

Задана похибка синхронізації вимірювальних модулів системи реєстрації, була підтверджена при їх метрологічних випробуваннях, в процесі проведення в Укрметртестстандарті державної атестації згідно з вимогами [17].

За результатами експериментальних досліджень можна розрахувати середнє значення абсолютної похибки прив'язки переходу через нуль синусоїдального сигналу до шкали часу за формулою (3):

$$\Delta_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_i, \quad (3)$$

де $\Delta_i = X_p - X_q$ – абсолютна похибка i -го вимірювання;

X_q – результати вимірювань за допомогою частотоміра;

X_p – результати вимірювань за допомогою приладу «Регіна-Ч»;

n – кількість вимірювань.

Якщо значення похибки не задовольняє вимогам, нормованим в технічній документації на прилад «Регіна-Ч», то необхідно ввести в його програму відповідну поправку на величину похибки [18], розраховану за формулою (3) з протилежним знаком і повторити описану процедуру вимірів.

Державна атестація показала, що прилад «Регіна-Ч» задовольняє всім вимогам його нормативної документації і може бути використаний як засіб вимірювання для контролю параметрів і моніторингу електричних мереж.

Державна метрологічна атестація цього приладу, проведена в криметрестандарті, показала, що його характеристики по точності і швидкодії відповідають всім вимогам до вимірювання електричних параметрів в електроенергетичних системах і на її об'єктах з прив'язкою до сигналів точного часу, одержуваних від GPS джерела. Прилади пройшли державну метрологічну атестацію в ДП Укрметрестандарт, яка підтвердила їх високий технічний і метрологічний рівень. Вони успішно експлуатуються на багатьох електроенергетичних об'єктах України, Білорусі та Казахстану.

Вимірювання електричних параметрів електроенергетичних систем і об'єктів в масштабі реального астрономічного часу є актуальною та своєчасною завданням, для реалізації якої необхідні високоточні і метрологічно забезпечені прилади.

Висновки. Проаналізовані основні аспекти метрологічного забезпечення технологічного процесу і засобів в інформаційно-вимірювальних системах. Визначені основні складові їх метрологічного забезпечення. Наведені завдання метрологічного забезпечення технологічного процесу підприємств.

Проаналізовано метрологічне забезпечення цифрових електровимірювальних реєструючих приладів синхронізованих вимірів типу «Регіна-Ч» використання яких на електроенергетичних об'єктах стає загальноприйнятою нормою і значно полегшує умови праці обслуговуючого персоналу і підвищує надійність обладнання за рахунок постійного контролю режимів його роботи та інформаційного забезпечення. Розглянуто питання контролю метрологічних характеристик технічних засобів системи моніторингу перехідних режимів енергосистем.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Бичківський Р.В. Основи метрологічного забезпечення: Навч. Посібник / Р.В. Бичківський, В.І. Зорій, П.Г. Столярчук // – Львів: Видавництво Держ. ун-ту «Львівська політехніка», 1999. – 180 с.
2. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» від 11 лютого 1998 року, № 113/98-ВР.
3. Кульбовський І.І. Перспективні напрями розвитку сертифікації на транспорті / І.І. Кульбовський, О.В. Бамбура // Вісник сертифікації транспорту. – Дніпро: ДП «ДОСЗТ», 2019. – №2 (54) – С. 23-26.
4. Kulbovskiy I.I. Metrological aspects of electric safety system analysis at underground enterprises / I.I. Kulbovskiy, O.L. Sorochynska, G.M. Golub, O.V. Bambura // *Metallurgical and Mining Industry*. – 2017. №5. P. 14-19.
5. Kulbovskiy I.I. Information model of railway transport power supply system computer monitoring data flow / I.I. Kulbovskiy, Holub H.M., Kyiashko V.T., Snezhina Andonova // *Metallurgical and Mining Industry*. – 2018. – № 2 – P. 31-36.
6. Synchrophasor Measurements for Power Systems: IEEE Std. C37.118.1-2011 (Revision of IEEE Std. C37.118-2005) / IEEE Standard. – New York, 2011. – 61 p.
7. Testing and measurement techniques – power quality measurement methods: IEC 61000-4-30 [Електронний ресурс]. – IEC, 2008. – 71 p. – Режим доступу: http://webstore.iec.ch/preview/info_iec61000-4-30%7Bed2.0%7Db.pdf.

8. Testing and measurement techniques – general guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation, for power supply systems and equipment connected thereto: IEC 61000-4-7 [Електронний ресурс]. – IEC, 2002. – 13 p. – Режим доступу: http://webstore.iec.ch/preview/info_iec61000-4-7%7Bed2.0%7Den_d.pdf.
9. Testing and measurement techniques – flickermeter – functional and design specifications: IEC 61000-4-15 [Електронний ресурс]. – IEC, 2010. – 48p. – Режим доступу: http://webstore.iec.ch/preview/info_iec61000-4-15%7Bed2.0%7Db.pdf.
10. Phasor measurement terminal RES 521 [Електронний ресурс] / ABB. – Режим доступу: <http://www.abb.com/product/db0003db004281/c12573e700330419c1256fef002c6cbf.aspx>.
11. Kirrmann H. Performance of a full-hardware PTP implementation for an IEC 621439-3 redundant IEC 61850 substation automation network / H. Kirrmann, C. Honegger, D. Pie, I. Sotiropoulos / *International IEEE Symposium on Precision Clock Synchronization for Measurement, Control and Communication*, San Francisco, 23-28 September 2012. – San Francisco, 2012. – P. 43-48.
12. Model 1133A Power Sentinel with energy Digital Signal Analysis [Електронний ресурс] / Arbiter systems. – Режим доступу: <http://www.arbiter.com/files/product-attachments/1133a.pdf>
13. N60 Network Stability and Synchrophasor Measurement System [Електронний ресурс] / GE Multilin. – Canada, 2006. – 378 p. – Режим доступу: <http://www.gedigitalenergy.com/products/manuals/n60/n60man-m2.pdf>.
14. Стогній Б. С. Інформаційне забезпечення задач керування електроенергетичними системами / Б. С. Стогній, О. В. Кириленко, О. Ф. Буткевич, М. Ф. Сопель // *Енергетика: економіка, технології, екологія*. – К.: НТУ КПІ. – 2012. – №1. – С. 13-22.
15. Synchrophasor Measurements for Power Systems: IEEE Std. C37.118.1-2011 (Revision of IEEE Std. C37.118-2005) / IEEE Standard. – New York, 2011. – 61 p.
16. Слынько В.М. Метрологическое обеспечение цифровых электроизмерительных регистрирующих приборов / В.М. Слынько, Ю.В. Пилипенко, С.А. Ахмадов, С.А. Трофименко // *Праці ІЕД НАНУ*. – 2006. – № 2(14). – С. 111-114.
17. Метрологічна атестація засобів вимірювальної техніки. Організація та порядок проведення: ДСТУ 3215-95. – К.: 2000. – 64 с.
18. Гайденко О.С. Дослідження проблеми «комп'ютерної неточності» в автоматизованих системах транспорту / О.С. Гайденко, Г.М. Голуб, О.В. Галан // *Збірник наукових праць ДУІТ, серія «Транспортні системи і технології»*. – 2019. – №2 (33). – С. 92-98.

REFERENCES

1. Bychkivskiy, R.V., Zorii, V.I., Stoliarchuk, P.H. (1999). *Osnovy metrolohichnoho zabezpechennya: navchalnyi posibnyk* [Basics of metrological support: Tutorial]. Lviv: State Publishing House. Lviv Polytechnic University. 180 p.
2. *Pro metrolohiu ta metrilohichnu diialnist': zakon Ukrainy* [About metrology and metrological activity: Ukrainian law]. 1998, № 113/98-BP.
3. Kulbovskiy, I.I., Bambura, O.V. (2019) Perspektivni napriamy rozvytku sertyfikatsii na transporti [Promising directions for the development of certification in transport]. *Dnipro, Transport Certification Bulletin*. – №2 (54) – P. 23-26.
4. Kulbovskiy I.I., Sorochynska. O.L., Golub. G.M., Bambura. O.V. (2017). Metrological aspects of electric safety system analysis at underground enterprises. *Metallurgical and Mining Industry*. – №5. P. 14-19. [in English].
5. Kulbovskiy. I.I., Holub. H.M., Kyiashko. V.T., Andonova S. (2018). Information model of railway transport power supply system computer monitoring data flow. *Metallurgical and Mining Industry*. – № 2 – P. 31-36. [in English].
6. Synchrophasor Measurements for Power Systems: IEEE Std. C37.118.1-2011 (Revision of IEEE Std. C37.118-2005) / IEEE Standard. – New York, 2011. – 61 p. [in English].
7. Testing and measurement techniques – power quality measurement methods: IEC 61000-4-30 [Electronic resource]. – IEC, 2008. – 71 p. – Available at: http://webstore.iec.ch/preview/info_iec61000-4-30%7Bed2.0%7Db.pdf. [in English].
8. Testing and measurement techniques – general guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation, for power supply systems and equipment connected thereto: IEC 61000-4-7 [Electronic resource]. – IEC, 2002. – 13 p. – Available at: http://webstore.iec.ch/preview/info_iec61000-4-7%7Bed2.0%7Den_d.pdf. [in English].
9. Testing and measurement techniques – flickermeter – functional and design specifications: IEC 61000-4-15 [Electronic resource]. – IEC, 2010. – 48p. – Available at: http://webstore.iec.ch/preview/info_iec61000-4-15%7Bed2.0%7Db.pdf. [in English].

10. Phasor measurement terminal RES 521 [Electronic resource]. / ABB. – Available at: <http://www.abb.com/product/db0003db004281/c12573e700330419c1256fef002c6cbf.aspx>. [in English].
11. Kirrmann H. Performance of a full-hardware PTP implementation for an IEC 621439-3 redundant IEC 61850 substation automation network / H. Kirrmann, C. Honegger, D. Ilie, I. Sotiropoulos / International IEEE Symposium on Precision Clock Synchronization for Measurement, Control and Communication, San Francisco, 23-28 September 2012. – San Francisco, 2012. – P. 43-48. [in English].
12. Model 1133A Power Sentinel with energy Digital Signal Analysis [Electronic resource]. / Arbiter systems. – Available at: <http://www.arbiter.com/files/product-attachments/1133a.pdf> [in English].
13. N60 Network Stability and Synchrophasor Measurement System [Electronic resource]. / GE Multilin. – Canada, 2006. – 378 p. – Available at: <http://www.gedigitalenergy.com/products/manuals/n60/n60man-m2.pdf>. [in English].
14. Stohnii. B.S., Kyrylenko. O.V., Butkevych. O.F., Sopel. M.F. (2012) Informatsiine zabezpechennia zadach keruvannia elektroenerhetychnymy systemamy [Information support of problems of control of power systems]. *Kyiv. NTU KPI*. – №1. – P. 13-22.
15. Synchrophasor Measurements for Power Systems: IEEE Std. C37.118.1-2011 (Revision of IEEE Std. C37.118-2005) / IEEE Standard. – New York, 2011. – 61 p. [in English].
16. Slynko. V.M., Pylypenko. Yu.V., Akhmadov. S.A., Trofymenko. S.A. (2006) Metrologicheskoe obespechenie tsifrovyykh elektroizmeritelnykh registriruyushchih priborov [Metrological support of digital electrical measuring recorders]. *Praci IED NASU*. – № 2 (14). – P. 111-114.
17. DSTU 3215-95. Metrolohichna atestatsiia zasobiv vymiriuvai'noi tekhnika. Orhanizatsiia ta poriadok provedennia [Metrological attestation of the interests of measurement technology. Organizations and procedures]. Kyiv, 2000. 64 p.
18. Haidenko. O.S., Holub. H.M., Halan. O.V. (2019) Doslidzhennia problem “kompiuternoї netochnosti” v avtomatyzovanykh systemekh transportu [Research on the problem of “computer inaccuracy” in automated transport systems]. *Zbirnyk naukovykh prats' DUIT, seriia “Transportni systemy i tekhnologii”* [Collection of scientific works of DUIT, series “Transport systems and technologies”]. №2 (33). – P. 92-98.

РЕФЕРАТ

Мельниченко О.І. Аспекти метрологічного забезпечення технологічних процесів інформаційно-вимірювальних систем в проектах інфраструктури транспорту / О.І. Мельниченко, І.І. Кульбовський, Г.М. Голуб, В.Л. Харута // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. К.: НТУ, 2020 – Вип. 1 (46).

В статті розглянуті основні методологічні аспекти метрологічного забезпечення засобів інформаційно-вимірювальних систем в проектах інфраструктури транспорту.

Об'єкт дослідження – засоби інформаційно-вимірювальних систем електроенергетичних об'єктів транспорту України.

Мета роботи – дослідження метрологічного забезпечення засобів інформаційно-вимірювальних систем на електроенергетичних об'єктах, зокрема транспорту, які дозволяють вирішувати безліч завдань, пов'язаних з реєстрацією режимів роботи енергосистем, визначенням електричних і часових параметрів, відшукування пошкодження на лініях електропередач, діагностикою електрообладнання та багато інших.

Метод дослідження – системний аналіз метрологічного забезпечення надійної, економічної і якісної роботи електроенергетичних об'єктів завдяки впровадження на великих електроенергетичних об'єктах цифрових електровимірювальних реєструючих приладів синхронізованих вимірів.

Нормативною основою метрологічного забезпечення є Державні стандарти та інші документи Державної системи забезпечення єдності вимірювань, відповідні нормативні документи Держстандарту України, методичні вказівки та рекомендації.

Технічну основу складає система державних еталонів і зразкових засобів вимірювань, яка забезпечує їх відтворення з найвищою точністю; система робочих еталонів і зразкових засобів вимірювань, за допомогою яких здійснюється передача розмірів одиниць фізичних величин робочим засобам вимірювань. А також система стандартних зразків складу та властивостей речовин і матеріалів, що забезпечує відтворення одиниць, склад і властивостей речовин і матеріалів. Метою метрологічного забезпечення є покращення якості, підвищення ефективності виробництва, використання матеріальних цінностей та енергетичних ресурсів, а також наукових досліджень.

Найбільш ефективний спосіб підвищення надійності, економічності та безпеки роботи електроенергетичного обладнання – це використання методів і засобів технічного діагностування. Завдяки застосуванню систем моніторингу контролю та діагностики електричних параметрів електроенергетичних об'єктів залізниць, мінімізується як час відновлення електропостачання (з цим пов'язано відновлення руху поїздів), так і відповідні економічні збитки, обумовлені аварійним

знеструмленням, а також скорочуються витрати пов'язані з оперативним виконанням ремонтних робіт по усуненню наслідків пошкоджень.

Характеристики цифрових реєстраторів та системи моніторингу, які пропонуються на ринку електроенергетичних систем провідними виробниками регламентуються міжнародними стандартами. Проведені порівняння точності вимірювань різних пристроїв реєстрації параметрів режимів демонструють схожі показники та підтверджують можливість застосування системи моніторингу режимних параметрів в задачах оцінювання стану енергетичних систем.

Результати дослідження можуть бути використані в технологічних процесах в проектах інфраструктури транспорту при застосування цифрових пристроїв, як засобу вимірювання для контролю параметрів і моніторингу електричних мереж як в Україні, так і за її межами.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: МЕТРОЛОГІЯ, АНАЛІЗ, СТАНДАРТ, ІНФОРМАЦІЯ, ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА, ПРОЕКТ, УПРАВЛІННЯ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС.

ABSTRACT

Melnichenko A.I., Kulbovskiy I.I., Holub H.M., Kharuta V.L. Aspects of metrological support of technological processes of information-measuring systems in projects of transport infrastructure. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2020. – Issue 1 (46).

The article deals with the main methodological aspects of the metrological provision of information and measurement systems in transport infrastructure projects.

The object of study is the means of information-measuring systems of electric power objects of transport of Ukraine.

The purpose of the work is to study the metrological provision of information and measurement systems at electric power facilities, in particular transport, which allow to solve many problems related to registration of operating modes of power systems, determination of electrical and time parameters, finding damage on power lines, diagnostics of electrical equipment and others.

The research method is a systematic analysis of the metrological assurance of reliable, economical and high-quality operation of electric power objects due to the introduction of synchronized measurements on large electric power objects at large electric power objects.

The regulatory framework for metrological support is the State Standards and other documents of the State System for Ensuring Unity of Measurements, the relevant normative documents of the State Standard of Ukraine, methodical instructions and recommendations.

The technical basis is the system of state standards and standard measuring instruments, which ensures their reproduction with the highest accuracy; a system of working standards and exemplary measuring instruments by means of which the sizes of units of physical quantities are transferred to the working measuring instruments. As well as a system of standard samples of the composition and properties of substances and materials, which ensures the reproduction of units, composition and properties of substances and materials. The purpose of metrological support is to improve quality, increase production efficiency, use of material values and energy resources, as well as scientific research.

The most effective way to improve the reliability, economy and safety of power equipment is to use methods and techniques for technical diagnostics. Due to the use of monitoring systems for monitoring and diagnostics of the electrical parameters of the electric power objects of the railways, both the renewal time of the power supply (associated with the restoration of train traffic) and the corresponding economic losses caused by emergency shutdown are minimized, as well as the costs associated with the operational repair works to eliminate the effects of damage.

The characteristics of digital registrars and monitoring systems offered by the leading manufacturers in the electricity market are regulated by international standards. The made comparisons of the accuracy of measurements of different devices for recording the parameters of the modes show similar indicators and confirm the possibility of using the system of monitoring the mode parameters in the problems of estimating the state of power systems.

The results of the study can be used in technological processes in transport infrastructure projects when using digital devices as a measurement tool for parameter control and monitoring of electric networks both in Ukraine and abroad.

KEYWORDS: METROLOGY, ANALYSIS, STANDARD, INFORMATION, INFORMATION AND MEASUREMENT SYSTEM, PROJECT, MANAGEMENT, TECHNOLOGICAL PROCESS.

РЕФЕРАТ

Мельниченко А.И. Аспекты метрологического обеспечения технологических процессов информационно-измерительных систем в проектах инфраструктуры транспорта / А.И. Мельниченко, И.И. Кульбовський, Г.М. Голуб, В.Л. Харута // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К. : НТУ, 2020 – Вып. 1 (46).

В статье рассмотрены основные методологические аспекты метрологического обеспечения средств информационно-измерительных систем в проектах инфраструктуры транспорта.

Объект исследования – средства информационно-измерительных систем электроэнергетических объектов транспорта Украины.

Цель работы – исследование метрологического обеспечения средств информационно-измерительных систем на электроэнергетических объектах, в частности транспорта, которые позволяют решать множество задач, связанных с регистрацией режимов работы энергосистем, определением электрических и временных параметров, отыскания повреждения на линиях электропередач, диагностикой электрооборудования и много других.

Метод исследования – системный анализ метрологического обеспечения надежной, экономичной и качественной работы электроэнергетических объектов благодаря внедрению на крупных электроэнергетических объектах цифровых электроизмерительных регистрирующих приборов синхронизированных измерений.

Нормативной основой метрологического обеспечения является Государственные стандарты и другие документы Государственной системы обеспечения единства измерений, соответствующие нормативные документы Госстандарта Украины, методические указания и рекомендации.

Техническую основу составляет система государственных эталонов и образцовых средств измерений, которая обеспечивает их воспроизведения с высочайшей точностью; система рабочих эталонов и образцовых средств измерений, с помощью которых осуществляется передача размеров единиц физических величин рабочим средствам измерений. А также система стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов, обеспечивает воспроизведение единиц, состав и свойств веществ и материалов. Целью метрологического обеспечения является улучшение качества, повышение эффективности производства, использования материальных ценностей и энергетических ресурсов, а также научных исследований.

Наиболее эффективный способ повышения надежности, экономичности и безопасности работы электроэнергетического оборудования - это использование методов и средств технического диагностирования. Благодаря применению систем мониторинга контроля и диагностики электрических параметров электроэнергетических объектов железных дорог, минимизируется как время восстановления электроснабжения (с этим связано восстановление движения поездов), так и соответствующие экономические убытки, обусловленные аварийным обесточиванием, а также сокращаются затраты связанные с оперативным выполнением ремонтных работ по устранению последствий повреждений.

Характеристики цифровых регистраторов и системы мониторинга, которые предлагаются на рынке электроэнергетических систем ведущими производителями регламентируются международными стандартами. Проведенные сравнения точности измерений различных устройства регистрации параметров режимов демонстрируют схожие показатели и подтверждают возможность применения системы мониторинга режимных параметров в задачах оценки состояния энергетических систем.

Результаты исследования могут быть использованы в технологических процессах в проектах инфраструктуры транспорта при применении цифровых устройств, как средства измерения для контроля параметров и мониторинга электрических сетей как в Украине, так и за ее пределами.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: МЕТРОЛОГИЯ, АНАЛИЗ, СТАНДАРТ, ИНФОРМАЦИЯ, ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ, ПРОЕКТ, УПРАВЛЕНИЕ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС.

АВТОРИ:

Мельниченко О.І., кандидат технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри “Виробництво, ремонт та матеріалознавство”, e-mail: melnichenko@ntu.edu.ua, тел. +380506562446, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, orcid.org/0000-0001-9694-9824

Кульбовський І.І., кандидат технічних наук, доцент, Державний університет інфраструктури та технологій, доцент кафедри «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології транспорту», e-

mail: kulbovskiy@ukr.net, тел. +38(050)832-21-81, Україна, 04071, м. Київ, вул. Кирилівська, 9, 0000-0002-5329-3842

Голуб Г.М., кандидат технічних наук, доцент, Державний університет інфраструктури та технологій, доцент кафедри «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології транспорту», e-mail: golub.galina@ukr.net, тел. +38(097)822-76-13, Україна, 04071, м. Київ, вул. Кирилівська, 9, orcid.org/0000-0002-4028-1025

Харута В.Л. Коледж інформаційних технологій та землевпорядкування Національного авіаційного університету, e-mail: kharuta_val84@ukr.net, тел.: +38 (097) 465-68-89, Україна, 02000, м. Київ, вул. Дружківська 6, orcid.org/0000-0003-2462-8604

AUTHOR:

Melnichenko Olexander I., Candidate of Science in Engineering, professor, National Transport University, the head of the department «Manufacturing, Repair and Materials Engineering», e-mail: melnichenko@ntu.edu.ua, tel. +380506562446, Ukraine, 01010, Kyiv, Omeljanovicha-Pavlenka str. 1, orcid.org/0000-0001-9694-9824

Kulbovskiy Ivan I., PhD, associate professor, State University Of Infrastructure And Technologies, associate professor of the department «Automation and computer-integrated technologies of transport», e-mail: kulbovskiy@ukr.net, tel. +38 (050) 832-21-81, Ukraine, 04071, Kyiv, str. Kyrylivska, 9, 0000-0002-5329-3842

Holub Halyna M., PhD, associate professor, State University Of Infrastructure And Technologies, associate professor of the department «Automation and computer-integrated technologies of transport», e-mail: golub.galina@ukr.net, tel. +38 (097) 822-76-13, Ukraine, 04071, Kyiv, str. Kyrylivska, 9, orcid.org/0000-0002-4028-1025

Kharuta Valentina L., College of Information Technology and Land Management, National Aviation University, e-mail: kharuta_val84@ukr.net, tel: +38 (097) 465-68-89, Ukraine, 02000, Kyiv, str. Druzhkovskaya 6, orcid.org/0000-0003-2462-8604

АВТОРЫ:

Мельниченко А.И., кандидат технических наук, профессор, Национальный транспортный университет, заведующий кафедрой «Производство, ремонт и материаловедение, e-mail: melnichenko@ntu.edu.ua, тел. +380506562446, Украина, 01010, г. Киев, ул. М. Омелянович-Павленко, 1, orcid.org/0000-0001-9694-9824

Кульбовський І.І., кандидат технических наук, доцент, Государственный университет инфраструктуры и технологий, доцент кафедры «Автоматизация и компьютерно-интегрированные технологии транспорта», e-mail: kulbovskiy@ukr.net, тел. +38 (050) 832-21-81, Украина, 04071, г. Киев, ул. Кирилловская, 9, 0000-0002-5329-3842

Голуб Г.М., кандидат технических наук, доцент, Государственный университет инфраструктуры и технологий, доцент кафедры «Автоматизация и компьютерно-интегрированные технологии транспорта», e-mail: golub.galina@ukr.net, тел. +38 (097) 822-76-13, Украина, 04071, г. Киев, ул. Кирилловская, 9, orcid.org/0000-0002-4028-1025

Харута В.Л. Колледж информационных технологий и землеустройства Национального авиационного университета, e-mail: kharuta_val84@ukr.net, тел.: +38 (097) 465-68-89, Украина, 02000, г. Киев, ул. Дружковская 6, orcid.org/0000-0003-2462-8604.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Прокудін Г.С., доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри “Міжнародних перевезень та митного контролю” Національного транспортного університету, Київ, Україна.

Стасюк О.І., доктор технічних наук, професор, професор кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій транспорту Державного університету інфраструктури та технологій, Київ, Україна.

REVIEWER:

Prokudin G.S., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department for International Transportation and Customs Control, National Transport University, Kyiv, Ukraine.

Stasiuk O.I., Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Automation and Computer Integrated Transport Technologies, State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv, Ukraine.