

УДК 621.391:621.396.688

DOI: <https://doi.org/10.53920/ITS-2022-2-1>

**Валерій Вікторович КОВАЛЬ,**

д-р техн. наук, проф.,  
професор Національного університету біоресурсів  
і природокористування України  
ORCID ID: 0000-0003-0911-2538

**Олександр Всеволодович САМКОВ,**

д-р техн. наук, с.н.с.,  
заступник директора з науково-технічної роботи  
Інституту електродинаміки НАН України  
ORCID ID: 0000-0003-2790-8564

**Олександр Леонідович ОСІНСЬКИЙ,**

начальник відділу Національної академії наук України  
ORCID ID: 0000-0002-9921-699X

**Богдан Олександрович САМКОВ,**

аспірант Інституту електродинаміки НАН України  
ORCID ID: 0000-0003-0080-1978

## **ПІДВИЩЕННЯ ДОСТОВІРНОСТІ СИНХРОІНФОРМАЦІЇ СИНЕРГЕТИЧНИХ МЕРЕЖ SMART ТЕХНОЛОГІЙ**

*Предметом дослідження є структура інтелектуальної системи та результати експериментальних досліджень її складових частин: супутникові навігаційні системи, обладнання для передачі синхросигналів з використанням RTP-протоколу, пристрій багатоканального моніторингу синхросигналів. Мета – розроблення структури інтелектуальної системи з пристроєм багатоканального моніторингу, яка забезпечить формування з підвищеною достовірністю синхроінформації, що використовується для проведення синхронних векторних вимірів на об'єктах синергетичних мереж SMART технологій.*

*В статті за результатами досліджень вітчизняних і закордонних фахівців представлено обґрунтування доцільності використання IP-мереж для передавання синхроінформації на основі RTP-протоколу. Експериментально перевірено і підтверджено використання обладнання українського виробництва для передачі по IP-мережам синхросигналів з точністю  $\pm 1$  мкс, застосування якого створить умови диверсифікації синхроінформаційного забезпечення. Запропоновано структуру інтелектуальної комп'ютерно-інтегрованої системи, яка за-*

**безпечить формування з підвищеною достовірністю синхроінформації, що використовується для проведення синхронних векторних вимірів на об'єктах електроенергетичних мереж.**

**Розроблено пристрій багатоканального моніторингу синхроінформації, який в автоматичному режимі забезпечує одночасний перегляд даних вимірів контрольованих сигналів, їх запис на запам'ятовуючі пристрої та формування інформації для підтримки прийняття рішень з метою підвищення достовірності синхроінформації електроенергетичних мереж SMART технологій. Пропонується подальше проведення наукових досліджень з метою створення інтелектуальної системи, яка забезпечить формування синхросигналів з покращеними показниками якості, а також матиме можливість виконувати безперервний багатоканальний моніторинг параметрів синхроінформації у реальному часі на об'єктах різних галузей економіки країни та може використовуватись в цілях підвищення обороноздатності і безпеки держави.**

**Ключові слова:** SMART технологія, синергія, векторні вимірювання, інтелектуальна система, синхроінформація, багатоканальний моніторинг.

**Valerii KOVAL**

Doctor of Technical Sciences, Professor  
Professor National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine  
ORCID ID: 0000-0003-0911-2538

**Oleksandr SAMKOV**

Doctor of Technical Sciences  
Deputy Director for Scientific and Technical Work Institute of  
Electrodynamics of the NASU  
ORCID ID: 0000-0003-2790-8564

**Oleksandr OSINSKIY**

Head of Department National Academy of Sciences of Ukraine  
ORCID ID: 0000-0002-9921-699X

**Bogdan SAMKOV**

Postgraduate Institute of Electrodynamics of the NASU  
ORCID ID: 0000-0003-0080-1978

## **INCREASING THE RELIABILITY OF SYNCHROINFORMATION OF SYNERGETIC NETWORKS OF SMART TECHNOLOGIES**

***The subject of the article is the structure of an intelligent system and the results of experimental studies of its constituent parts: satellite navigation systems, equipment for transmitting synchronization signals using the PTP***

***protocol, a device for multi-channel monitoring of synchronization signals. The main goal is to develop the structure of an intelligent system with the multi-channel monitoring device, which will ensure the formation of synchroinformation with increased reliability, which is used for conducting synchronous vector measurements at the facilities of synergistic networks of SMART technologies. Based on the research results conducted by domestic and foreign specialists, the article presents the justification of the feasibility of using IP networks for the transmission of synchroinformation based on the PTP protocol. It has been experimentally verified and confirmed that the use of Ukrainian-made equipment for the transmission of synchronization signals with an accuracy of  $\pm 1\mu\text{s}$  over IP networks would create conditions for the diversification of synchroinformation support. The structure of an intelligent computer-integrated system is proposed. The system will ensure the formation of synchroinformation with increased reliability, which is used for conducting synchronous vector measurements at the facilities of electric power networks. A device for multi-channel monitoring of synchronous information has been developed, which provides the formation of information to support decision-making in order to increase the reliability of synchroinformation of power grids of SMART technologies. It is proposed to carry out research in order to create an intelligent system that will ensure the formation of synchronization signals with improved indicators, as well as monitor the parameters of synchroinformation in real time at the facilities of various sectors of the country's economy and can be used for the purpose of increasing the state's defense capability.***

**Keywords:** SMART technology, synergy, vector measurements, intelligent system, synchroinformation, multi-channel monitoring.

**Постановка проблеми.** Синергетична мережа є інтегрованою частиною SMART Grid системи, яка з допомогою функцій координації і контролю узгоджує синергії. SMART технології передбачають перетворення в цифрову форму основних вибіркових вимірних значень параметрів електроенергетичних мереж з можливістю їх дистанційного отримання і формування команд управління згідно концепції шини технологічного процесу визначеній стандартом МЕК 61850. Синхронізація процесів у часі, що здійснюється в мережах (електроенергетичній, інфокомунікаційній), є фундаментальною з точки зору їх ефективного та надійного функціонування. Зважаючи на зазначене, вирішення проблеми підвищення достовірності синхроінформації, з використанням

якої забезпечуються процеси часової синхронізації, є актуальним і важливим як в умовах штатного режиму роботи SMART Grid системи, так в умовах надзвичайних ситуацій.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В умовах сьогодення якість і надійність електропостачання споживачів різного призначення відзначається, як їх нормативно-правовим забезпеченням з врахуванням діючих вимог європейського законодавства, так і технічним станом об'єктів електроенергетики та інфокомунікацій. Процес адаптації вітчизняної електроенергетики по стандартам країн Євросоюзу є складною проблемою у зв'язку з її особливістю щодо дотримання всіх параметрів електроенергії на нормованих міжнародними стандартами рівнях. Одним із таких міжнародних нормативних документів є стандарт МЕК 61850, де наведена модель для систем передачі даних з метою вимірювання, моніторингу, автоматизації [1]. На території України технічна політика НЕК «Укренерго» у сфері розвитку та експлуатації магістральних та міждержавних електричних мереж має здійснюватись на нових підстанціях, а також на підстанціях із застарілим обладнанням, згідно стандарту СОУ НЕК 20.261:2021 [2].

Практичне вирішення сформульованої проблеми можливе за рахунок впровадження інтелектуальних засобів керування з використанням синхронізованих векторних вимірювань та застосуванням мульти-агентних комплексів управління, яке передбачає отримання синергетичного ефекту. Згідно визначення Г. Хакенена синергетичний ефект базується на узгодженості взаємодії елементів при утворенні структури як єдиного цілого [3]. У контексті синергетичної мережі SMART технологій це комплекси, системи, сукупність різних елементів, що працюють разом для отримання результатів, яких неможливо отримати жодним із елементів окремо. По суті, мережа являє собою набір взаємопов'язаних компонентів, які працюють разом із спільною метою: задоволення певної визначеної потреби [4].

Проблема якості і надійності електропостачання безпосередньо пов'язана з функціонуванням цифрових систем автоматизованого керування, які побудовані з використанням SMART технологій та виконують свої функції з прив'язкою до часу за рахунок використання синхроінформації [5-9]. В такому разі очевидним є те, що саме від характеристик синхроінформації залежить часова узгодженість взаємодій в системах автоматики та їх складових,

і як наслідок якість роботи синергетичних мереж SMART технологій в умовах штатного режиму і, що особливо важливо, в надзвичайних ситуаціях [8, 9].

Формування синхроінформації забезпечується пристроями синхронізації, а також засобами контролю і моніторингу параметрів синхросигналів, які використовуються для передавання синхроінформації [7, 9, 10]. Варто зауважити, що синхроінформація сформована на основі сигналів, які прийняті від супутникових навігаційних систем, не задовольняє вимогам щодо надійності і достовірності [7, 9, 10]. Разом з цим, формування і розповсюдження синхроінформації на основі засобів ДП «Укрметрестандарт», які виконують функції по зберіганню національної шкали часу на рівні кращих національних шкал країн світу, не можуть задовольнити вимоги усіх споживачів [11]. Проблема покращення якісних показників синхроінформації в частині її формування, розповсюдження та моніторингу потребує подальшого дослідження і технічного рішення. В першу чергу це стосується споживачів критичної інфраструктури, якими є електроенергетичні мережі SMART технологій.

**Мета статті** — розроблення структури інтелектуальної комп'ютерно-інтегрованої системи з пристроєм багатоканального моніторингу синхросигналів, яка забезпечить формування з підвищеною достовірністю синхроінформації, що використовується для проведення синхронних векторних вимірів на об'єктах синергетичних мереж SMART технологій.

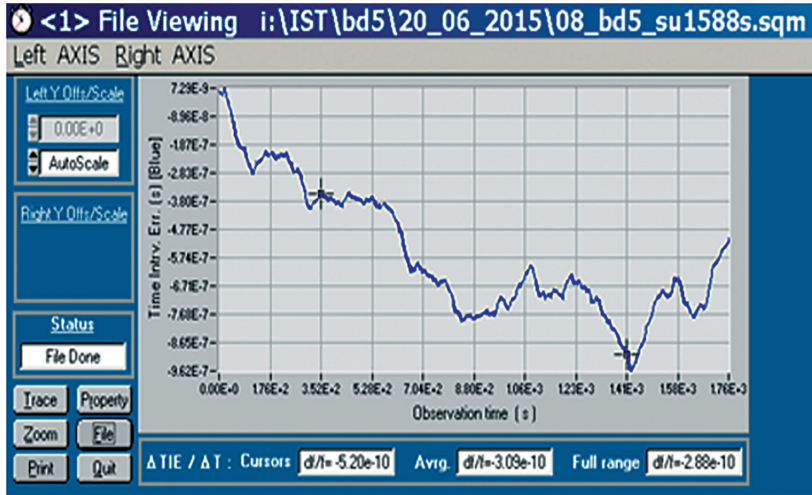
**Виклад основного матеріалу дослідження.** Функціонування сучасних генеруючих потужностей, розподільчих мереж, споживачів електроенергетичних систем SMART технологій, в яких використовуються цифрові технології, залежить від якісних показників синхроінформації [1, 2, 5-11]. Синхроінформація використовується для формування дискретних значень моментів часу в процесах цифрової обробки, передавання, збереження даних. В процесі синхронних векторних вимірів синхрофазорів (PMU - Phasor Measurement Unit), які встановлені на об'єктах електроенергетичних систем SMART технологій, синхроінформації забезпечує вирішення часової невизначеності. Результати вимірів пристроями PMU є вихідною цифровою інформацією для розрахунку стану електроенергетичних систем. Варто зауважити, що рішення сформовані автоматизованою системою керування електроенергетичних мереж SMART технологій залежать від достовірності та надійності отриманих даних векторних вимірів при-

строями PMU. Для отримання максимально достовірного виміру фазових кутів пристроями PMU в обов'язковому порядку потрібно на основі синхроінформаційних сигналів забезпечити «прив'язку» до часу дискретних моментів вимірів з точністю  $\pm 1$  мкс [1]. У разі погіршення показників якості синхроінформації, результуючі значення після вимірювання за допомогою синхрофазора можуть бути неточними та вважатимуться недійсними.

Згідно зі стандартом MEK 61850, електротехнічні засоби електроенергетичних систем SMART-технологій повинні відповідати класам точності, починаючи від T1 і закінчуючи T5 (метрологічний сигнал системи інструментальної синхронізації) [1]. Синхроінформаційні сигнали високої точності можуть бути сформовані на основі радіоданих діючих супутникових навігаційних систем GPS, ГЛОНАСС, Galileo. Синхросигнали, що сформовані тільки за супутниковими сигналами, не можуть забезпечити високу інформаційну живучість зважаючи на те, що вони можуть бути спотворені, як в умовах штатного режиму роботи, так і у надзвичайних ситуаціях [12]. Принциповим недоліком супутникових систем є залежність якості сигналу, що передається, від нестаціонарних характеристик середовища розповсюдження радіосигналів, яке є відкритим стосовно зовнішніх впливів, а також відсутність захисту сигналу від навмисного або випадкового спотворення різними діями [13]. Радіосигнали також можуть не забезпечувати задані показники якості синхроінформації зважаючи на невелике розташування приймальної антени, засмічення антени (листя, гіляки, пташині гнізда, тощо), підключення кабелів з порушеннями встановлених вимог. Навіть постійний вплив ультрафіолету може призвести до порушення роботи радіоприймачів.

Іншим способом формування синхроінформаційних сигналів може бути використання IP-мереж для відтворення національної шкали часу і частоти з прив'язкою до реального часу на основі механізму синхронізації PTP (PTP - Precision Time Protocol), який рекомендовано стандартом MEK 61850-9 [1]. Варто відзначити, що енергетичні компанії все більше використовують Ethernet/IP і впроваджують мережі з багатопротоковою комутацією по мітках (MPLS) з метою гармонійного переходу до нових технічних рішень, які включають застосування синхрофазорів. Чисельні експериментальні дослідження PTP обладнання, яке використовується для передачі діючими IP-мережам синхроінформаційних сигналів, забезпечує точність  $\pm 1$  мкс [11, 14]. Результати випробувань

комплекту обладнання УС-1588 українського виробництва [15] наведено на рис. 1. З графіка залежності TIE (TIE - Time Interval Error) від часу можна зробити висновок про те, що максимальне відхилення часового інтервалу не перевищує однієї мікросекунди.



**Рис. 1. Результати випробувань комплекту обладнання УС-1588 українського виробництва для випадку передавання синхронізаційних сигналів діючою корпоративною IP-мережею**

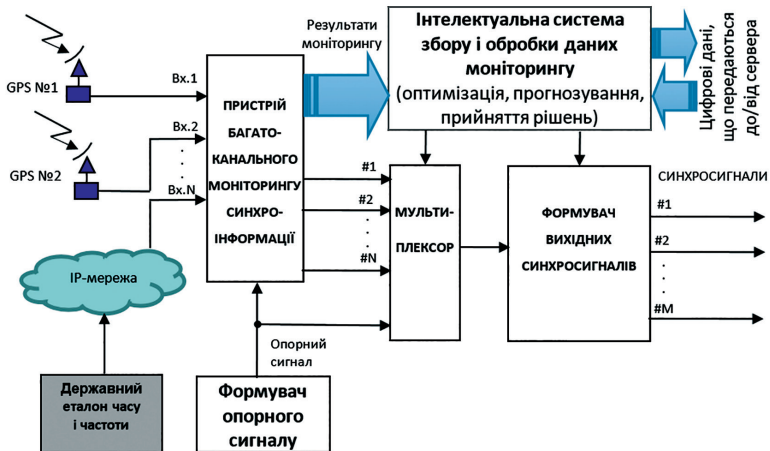
Джерело: [15]

Аналіз результатів досліджень [11, 14, 15] протоколу РТР, який отримав назву «енергетичний» профіль РТР, підтверджує можливість його практичного використання в електроенергетичних мережах SMART технологій. Можливість передавання синхросигналів діючими IP-мережам з використанням протоколу РТР створює умови для диверсифікації синхронізаційного забезпечення в синергетичних мережах SMART технологій.

Вимоги щодо забезпечення заданої точності сигналів синхронізації за умови підвищення їх надійності і достовірності, обумовлюють актуальність створення автоматизованої комп'ютерно-інтегрованої системи формування синхросигналів (рис. 2) з розробкою програмно-апаратного забезпечення, включно

і з обчислювальним інтелектом [15]. Для виявлення і оцінки змін в синхроінформації пропонується ряд організаційно-технічних заходів, які забезпечують можливість проведення безперервного моніторингу (24x7) параметрів синхроінформаційних сигналів з обробкою результатів дистанційних вимірів показників якості у реальному часі (оптимізація, прогнозування, прийняття рішень).

Складовою інтелектуальної системи формування синхросигналів (ІСФС) є пристрій багатоканального моніторингу синхроінформації, який в автоматичному режимі формує цифрові дані про результати одночасних вимірів декількох синхросигналів у реальному часі та, використовуючи засоби ІР-мереж, передає їх до/від сервера з метою забезпечення централізованого керування (рис. 2).



**Рис. 2. Структура інтелектуальної системи формування синхросигналів**

Процес вимірювань показників якості синхроінформаційних сигналів зводиться до порівняння з одиницею фізичної величини для отримання кількісної інформації, а при контролі фізичний параметр порівнюють з його нормою з метою визначення відхилень даного параметра [7]. Значна увага при зіставленні первинної інформації з заздалегідь встановленими вимогами приділяється формі подання, яка повинна бути легкою, як правило,



до візуального сприйняття, сприятливою для прийняття рішень. З цією метою інформація про стан синхроінформаційних сигналів надходить на екран у вигляді динамічних або статичних графіків, мнемонічних символів. Також формується сигнальна інформація та кількісні показники результатів моніторингу.

Створення інтелектуальної системи формування синхросигналів забезпечить можливість диверсифікації синхроінформаційного забезпечення та одночасного перегляду даних вимірів декількох контрольованих сигналів, їх запис на запам'ятовуючі пристрої та формування інформації для підтримки прийняття рішень з метою підвищення достовірності синхроінформації синергетичних мереж SMART технологій.

Запропонована інтелектуальна система може забезпечувати формування синхросигналів з покращеними показниками якості, а також виконувати безперервний моніторинг параметрів синхроінформації у реальному часі на об'єктах різних галузей економіки країни та використовуватись в цілях підвищення обороноздатності і безпеки держави.

**Висновки та пропозиції.** За результатами досліджень вітчизняних і закордонних фахівців обґрунтована доцільність використання IP-мереж для передавання синхроінформації на основі RTP-протоколу (IEEE-1588), рекомендованого міжнародним стандартом MEK 61850.

Експериментально перевірено і підтверджено використання обладнання українського виробництва (УС-1588) для передачі по діючим IP-мережам синхросигналів з точністю  $\pm 1$  мкс, застосування якого створить умови диверсифікації синхроінформаційного забезпечення.

Запропонована структура інтелектуальної комп'ютерно-інтегрованої системи, яка забезпечить формування з підвищеною достовірністю синхроінформації, що використовується для проведення синхронних векторних вимірів на об'єктах синергетичних мереж SMART технологій.

Розроблено пристрій багатоканального моніторингу синхроінформації, який в автоматичному режимі забезпечує одночасний перегляд даних вимірів контрольованих сигналів, їх запис на запам'ятовуючі пристрої та формування інформації для підтримки прийняття рішень з метою підвищення достовірності синхроінформації синергетичних мереж SMART технологій.

Пропонується виконання наукових досліджень з метою створення інтелектуальної системи, яка забезпечить формування синхросигналів з покращеними показниками якості, а також матиме можливість виконувати безперервний багатоканальний моніторинг параметрів синхроінформації у реальному часі на об'єктах різних галузей економіки країни та може використовуватись в цілях підвищення обороноздатності і безпеки держави.

© Коваль В.В., Самков О.В., Осінський О.Л., Самков Б.О., 2022

### ЛІТЕРАТУРА

1. <https://webstore.iec.ch/publication/6028>.
2. Стандарт підприємства СОУ НЕК 20.261:2021 «Технічна політика НЕК «Укренерго» у сфері розвитку та експлуатації магістральних та міждержавних електричних мереж».
3. Dynamic of synergetic systems / Ed. by H. Haken. В. etc., 1980. 271 p.
4. Blanchard BS (2004). System engineering management (3rd ed.). Hoboken, NJ: John Wiley. p. 8. ISBN 978-0-471-29176-3.
5. Кириленко О.В., Басок Б.І., Базеев Є.Т., Блінов І.В. Енергетика України та реалії глобального потепління // *Технічна електродинаміка*. 2020. № 3. С. 52–61. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2020.03.052>.
6. Інтелектуальні електричні мережі: елементи та режими. Під заг. Ред. Акад. НАН України О.В. Кириленко. К.: Ін-т електродинаміки НАН України, 2016. 400 с.
7. Автоматизований моніторинг сигналів синхронізації часу енергосистем: монографія / В.В. Коваль, О.В. Самков, І.В. Блінов, О.Л. Ламеко, І.В. Трач, С.Й. Поліщук, В.І. Вакась, В.В. Чопик, О.Л. Осінський, 2021. К.: Видавничий центр НУБіПУ, 2021. – 380 с.
8. Кириленко О.В., Блінов І.В., Парус Є.В., Трач І.В. Оцінка ефективності використання систем накопичення електроенергії в електричних мережах // *Технічна електродинаміка*. 2021. №4. С. 44–54. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2021.04.044>.
9. Valerii Koval, Vitaliy Lysenko, Oleksandr Osinskiy, Oleksandr Samkov, Mykola Khudyntsev. Infocommunication Technologies and Networks for Multichannel Monitoring of Synchronization Signals of SMART Grid and Microgrid Electrical Systems // Conference Proceedings "International Scientific-Practical Conference «Problems of Infocommunications. Science and Technology»" (PICS&T-2019).

8 – 11 October 2019: Borys Grinchenko Kyiv University, Kyiv, Ukrain. – p.p.153-156. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8632078>.

10. Koval V.V., Lysenko V.P., Kalian D.O., Osynskiy O.L., Samkov O.V. (2021) Improving Efficiency of the Phase-Locked Loop for Reference Oscillator of the Multichannel System for Time Synchronization Signals Telemonitoring. In: Vorobiyenko P., Ilchenko M., Strelkovska I. (eds) Current Trends in Communication and Information Technologies. IPF 2020. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 212. Print ISBN 978-3-030-76342-8. Online ISBN 978-3-030-76343-5. Pages 60-79. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-76343-5\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-030-76343-5_4).

11. Величко О.М., Коваль В.В., Самков О.В., Шкляревський І.Ю. Сучасні протоколи передачі шкали часу інтелектуальних електроенергетичних систем зі зниженою аварійністю // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія «Техніка та енергетика АПК». – К., 2016. – Вип.242. – С. 41-50.

12. Коваль В.В., Добровенко Д.О., Самков О.В., Осінський О.Л. Багатоканальний моніторинг синхронізуючих сигналів вимірювальних систем / Збірник XX Наук.-практ. конф. "Створення та модернізація озброєння і військової техніки в сучасних умовах". м. Чернігів, 03 - 04 вересня 2020 р. / ДНДІ ВС ОБТ. – Чернігів: Видавець Брагинець О.В., 2020. – С.116.

13. Valerii Koval, Dmytro Kalian, Oleksandr Osynskiy, Oleksandr Samkov, Mykola Khudyntsev and Vitaliy Lysenko. Diagnostics of Time Synchronization Means of the Integrated Power Grid of SMART Technologies by Using an Optimal Performance System of Automatic Frequency Adjustment // 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering, TCSET 2020; Lviv-Slavske; Ukraine; 25 February 2020 до 29 February 2020/ Conference Proceedings 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET 2020). 2020. – pp.269-276. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9088587>.

14. Автоматизована система синхронізації цифрових сигналів: монографія / В.В. Коваль, О.В. Самков, М.М. Худинцев, Д.О. Кальян. – К.: ТОВ ЦП «Компринт», 2018. – 494 с.

15. Коваль В.В., Самков О.В., Піскун О.М., Медіна М.С., Головня М.В., Шкляревський І.Ю. Інформаційна система передавання еталонних значень шкали часу інтегрованих електроенергетичних мереж SMART-технологій // Вісник університету «Україна». Серія «Інформатика, обчислювальна техніка, кібернетика». – К., 2019. – № 1(22), 2019. – С.231-239.

## REFERENCES

1. <https://webstore.iec.ch/publication/6028>.
2. Standard of SOU NEC 20.261:2021 «Technical policy of SE NEC «Ukrenergo» in the field of development and operation of trunk and interstate electric networks».
3. Dynamic of synergetic systems / Ed. by H. Haken. B. etc., 1980. 271 p.
4. Blanchard BS (2004). System engineering management (3rd ed.). Hoboken, NJ: John Wiley. p. 8. ISBN 978-0-471-29176-3.
5. Kyrylenko O.V., Basok B.I., Baseev Ye.T., Blinov I.V. Energy of Ukraine and the realities of global warming // *Tekhnichna elektrodynamika*. 2020. № 3. P. 52-61. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2020.03.052>.
6. Intelligent electrical networks: elements and modes. Under the general editorship of Acad. of the NAS of Ukraine, O.V. Kyrylenko. K.: Institute of electrodynamics of the NAS of Ukraine, 2016. 400 p.
7. Automated monitoring of time synchronization signals of power systems: monograph / V.V. Koval, O.V. Samkov, I.V. Blinov, O.L. Lameko, I.V. Trach, S.Y. Polishchuk, V.I. Vakas, V.V. Chopyk, O.L. Osinsky, 2021. K.: NUBiP of Ukraine, 2021. – 380 p.
8. Kyrylenko O.V., Blinov I.V., Parus Y.V., Trach I.V. Evaluation of efficiency of use of energy storage systems in electric networks // *Tekhnichna elektrodynamika*. 2021. №4. P. 44–54. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2021.04.044>.
9. Valerii Koval, Vitaliy Lysenko, Oleksandr Osinskiy, Oleksandr Samkov, Mykola Khudyntsev. Infocommunication Technologies and Networks for Multichannel Monitoring of Synchronization Signals of SMART Grid and Microgrid Electrical Systems // Conference Proceedings “International Scientific-Practical Conference «Problems of Infocommunications. Science and Technology»” (PICS&T-2019). 8 – 11 October 2019: Borys Grinchenko Kyiv University, Kyiv, Ukrain. – p.p.153-156. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8632078>.
10. Koval V.V., Lysenko V.P., Kalian D.O., Osynskiy O.L., Samkov O.V. (2021) Improving Efficiency of the Phase-Locked Loop for Reference Oscillator of the Multichannel System for Time Synchronization Signals Telemonitoring. In: Vorobiyenko P., Ilchenko M., Strelkovska I. (eds) Current Trends in Communication and Information Technologies. IPF 2020. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 212. Print ISBN 978-3-030-76342-8. Online ISBN 978-3-030-76343-5. Pages 60-79. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-76343-5\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-030-76343-5_4).

11. Velychko O.M., Koval V.V., Samkov O.V., Shklyarevsky I.Y. Modern protocols for the transmission of the time scale of intelligent electric power systems with reduced accident rate // Scientific Bulletin of the National University of Bioresources and Nature Management of Ukraine. Series «Agricultural machinery and energy». – K., 2016. – Issue 242. – P.41-50.

12. Koval V.V., Dobrovenko D.O., Samkov O.V., Osinsky O.L. Multi-channel monitoring of synchronization signals of measuring systems / Collection XX of Scientific and practical conf. on “Creation and modernization of weapons and military equipment in modern conditions”. Chernihiv, 03 – 04 September, 2020. / DNDI VS OVT. – Chernihiv: Publisher BrahyNETS O.V., 2020. – P.116.

13. Valerii Koval, Dmytro Kalian, Oleksandr Osynskiy, Oleksandr Samkov, Mykola Khudyntsev and Vitaliy Lysenko. Diagnostics of Time Synchronization Means of the Integrated Power Grid of SMART Technologies by Using an Optimal Performance System of Automatic Frequency Adjustment // 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering, TCSET 2020; Lviv-Slavske; Ukraine; 25 February 2020 до 29 February 2020/ Conference Proceedings 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET 2020). 2020. – pp.269-276. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9088587>.

14. Automated system of synchronization of digital signals: monograph. / V.V. Koval, O.V. Samkov, M.M. Khudyntsev, D.O. Kalian. – K.: TOV TsP «Komprynt», 2018. – 494 p.

15. Koval V.V., Samkov O.V., Piskun O.M., Medina M.S., Golovnya M.V., Shklyarevsky I.Y. Information system for transmission of reference values of the time scale of integrated electric power networks of SMART-technologies // Bulletin of the University «Ukraine». Series «Computer Science, Computer Engineering, Cybernetics». – K., 2019. – № 1(22), 2019. – P.231-239.

**СТАТТЯ НАДІЙШЛА ДО РЕДАКЦІЇ 23.11.2022**