

УДК 621.391

ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ПЕРЕДАВАННЯ ЕТАЛОННИХ ЗНАЧЕНЬ ШКАЛИ ЧАСУ ІНТЕГРОВАНИХ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ МЕРЕЖ SMART-ТЕХНОЛОГІЙ

DOI 10.36994/2707-4110-2019-1-22-16

Коваль В. В., д.т.н., проф., Національний університет біоресурсів та природокористування України, Київ, Україна. v.koval@nubip.edu.ua

Самков А. В., д.т.н., Інститут електродинаміки НАН України м. Київ, Україна. samkov@ied.org.ua

Пискун О. Н., Медина Н. С., Національний центр управління та досліджень космічних засобів, Київ, Україна. piskun@nka.gov.ua

Головня М. В., Державне підприємство «Укрметртестстандарт», Київ, Україна. ermatec@ukrcsm.kiev.ua

Шклярєвський І. Ю., ТОВ «Інформаційні сервісні технології», Київ, Україна. ish@ist.net.ua

Анотація. Наведено порівняльний аналіз особливостей існуючих і перспективних технологій забезпечення мітками часу процесу безперервного моніторингу стабільності параметрів енергосистем, згідно концепції інтелектуальної енергомережі (SMART Grid). Розглянуто новий механізм синхронізації, згідно стандарту IEEE-1588, який здатний забезпечити передавання міток точного часу за технологією комутації пакетів, який не вимагає побудови виділеної мережі. Представлені експериментальні дані результатів досліджень обладнання українського виробництва для передачі IP-мережею шкали часу «енергетичного» профілю з використанням протоколу RTP.

Для технічної реалізації інформаційної системи передавання еталонних значень шкали часу з визначеними якісними характеристиками необхідно провести аналіз особливостей існуючих і перспективних технологій забезпечення мітками часу процесу безперервного моніторингу стабільності параметрів енергосистем, згідно концепції інтелектуальної енергомережі (SMART Grid). При цьому доцільно врахувати те, що телекомунікаційні оператори, зважаючи на зростаючий попит щодо надання послуг Інтернет, активно розвивають асинхронні мережі з комутацією пакетів (IP-мережі), які можуть бути використані для відтворення національної шкали часу і частоти на основі сучасного протоколу синхронізації RTP (Precision Time Protocol) [4], рекомендованого міжнародним стандартом МЕК 61850-9. Важливою складовою підготовки до технічної реалізації інформаційної системи є експериментальне підтвердження можливості використання обладнання, в тому числі,

українського виробництва для передачі по діючим IP-мережам мітки часу з точністю ± 1 мкс, застосування якого створить умови диверсифікації синхроінформаційного забезпечення та зниження аварійності в інтелектуальних електроенергосистемах.

Результати випробувань комплексу обладнання українського виробництва показали відповідність його основних характеристик вимогам «енергетичного» профілю РТР та вказують на те, що його техніко-економічні показники відповідають світовому рівню.

Ключові слова: Інформаційна система, передавання, електроенергетичні мережі, SMART-технології, мітка точного часу, синхронізація, протокол IEEE 1588.

INFORMATION SYSTEM OF THE TIME SCALE TRANSMISSION THROUGH AN INTEGRATED ELECTRICITY NETWORKS OF SMART TECHNOLOGIES

Valerii Koval, Dr. habil., Prof., National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine. v.koval@nubip.edu.ua

Olexander Samkov, Dr. habil., Institute of Electrodynamics of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine. samkov@ied.org.ua

Oleg Piskun, Nikolai Medina, National Space Facilities Control And Test Center, Kyiv, Ukraine. piskun@nka.gov.ua

Milentyi Golovnya, State Enterprise «Ukrmetrteststandard», Kyiv, Ukraine. ermatac@ukrcsm.kiev.ua

Igor Shkliarevskyi, Information Service Technologies Ltd, Kyiv, Ukraine. ish@ist.net.ua

Abstract. The comparative analysis of the features of the existing and perspective technologies of providing timestamps of the process of continuous monitoring of the stability of power system parameters, according to the concept of smart grid (SMART Grid). A new IEEE-1588 synchronization mechanism is considered that is capable of providing accurate time stamping by packet switching technology that does not require a dedicated network. The experimental data of the results of the research of the equipment of Ukrainian production for transmitting the time scale of the «energy» profile using the RTR protocol are presented.

For the technical implementation of the information system for the transmission of reference values of the time scale with certain qualitative characteristics, it is necessary to analyze the features of existing and promising technologies to ensure timing of the process of continuous monitoring of the stability of power system parameters, according to the concept of smart grid (SMART Grid). It is appropriate to take into account the fact that, given the increasing demand for Internet service providers, telecommunications operators are actively developing packet switched asynchronous networks (IP networks) that can be used to reproduce the national time and frequency scale based on the modern RTD synchronization protocol (Precision Time Protocol) [4] recommended by international standard IEC 61850-9. An important component of the preparation for the technical implementation of the information system is the experimental confirmation of the possibility of using equipment, including Ukrainian production for transmission over the current IP-networks timestamp with an accuracy

of ± 1 microseconds, the use of which will create conditions for diversification of synchronization support and reduction of the accident in the intelligent electric power.

Test results of a set of equipment of Ukrainian production showed that its basic characteristics meet the requirements of the «energy» profile of RTR and indicate that its technical and economic indicators correspond to the world level.

Keywords: *Information system, time teg transmission, electric power networks, SMART technologies, precise time marker, synchronization, protocol IEEE 1588.*

Вступ

Існуючі в Україні інформаційні системи не можуть задовольнити вимоги усіх споживачів частотно-часової інформації. Наприклад, в енергетиці для запобігання небажаних наслідків, так званих, каскадних аварійних відключень електроенергії розроблена концепція інтелектуальної енергомережі (SMART Grid), що має важливу складову частину, яка пов'язана з безперервним моніторингом стабільності параметрів електромережі з прив'язкою до реального часу [1, 2]. Реалізація даної концепції спонукає до використання синхро-інформації інших держав (наприклад, від супутникових навігаційних систем GPS, ГЛОНАСС тощо), що

збільшує ризики втрати достовірності результатів векторних вимірювань у реальному часі, і як наслідок, можливості втрати керованості електроенергомережі. Очевидними принциповими недоліками таких супутникових систем є залежність якості сигналу від нестаціонарних характеристик відкритого середовища розповсюдження радіосигналів, а також відсутність повного захисту від навмисного спотворення синхроінформації.

Зважаючи на це актуальним є використання існуючих в Україні технічних засобів, які необхідно задіяти для створення інформаційної системи з метою високонадійного формування мітки часу для безперервного моніторингу стабільності параметрів інтелектуальної енергомережі (SMART Grid) з прив'язкою до реального часу і, як наслідок, підвищення її енергоефективності.

Формулювання задачі

Проведений аналіз каскадних відключень електроенергії, які недавно відбулися у світі [1, 3], дозволяє виділити, крім чисто технічних, наявність інших, більш загальних причин таких подій. Перш за все, це скасування державного регулювання ринку електроенергії, що зробило даний ринок виключно висококонкурентним, але і менш керованим. З метою запобігання небажаних наслідків вказаної проблемної ситуації в енергетиці розроблена концепція інтелектуальної енергомережі (SMART Grid), що має важливу складову частину, яка пов'язана з безперервним моніторингом стабільності параметрів електромережі з прив'язкою до реального часу з точністю до одної мікросекунди.

Для технічної реалізації інформаційної системи передавання еталонних значень шкали часу з визначеними якісними характеристиками необхідно провести аналіз особливостей існуючих і перспективних технологій забезпечення мітками часу процесу безперервного моніторингу стабільності параметрів енергосистем, згідно концепції інтелектуальної енергомережі (SMART Grid). При цьому доцільно врахувати те, що телекомунікаційні оператори, зважаючи на

зростаючий попит щодо надання послуг Інтернет, активно розвивають асинхронні мережі з комутацією пакетів (IP-мережі), які можуть бути використані для відтворення національної шкали часу і частоти на основі сучасного протоколу синхронізації PTP (Precision Time Protocol) [4], рекомендованого міжнародним стандартом МЕК 61850-9. Важливою складовою підготовки до технічної реалізації інформаційної системи є експериментальне підтвердження можливості використання обладнання, в тому числі, українського виробництва для передачі по діючим IP-мережам мітки часу з точністю ± 1 мкс, застосування якого створить умови диверсифікації синхроінформаційного забезпечення та зниження аварійності в інтелектуальних електроенергосистемах.

Вищезазначений перелік заходів щодо створення інформаційної системи передавання еталонних значень шкали часу для забезпечення безперервного моніторингу стабільності параметрів інтелектуальних енергосистем SMART-технологій від еталонів обумовлює актуальність теми даної доповіді.

Безперервний моніторинг параметрів енергосистем у реальному часі

Очевидно, що більш досконалі інформаційні технології допоможуть вирішити одну з найважливіших проблем світової енергетики — проблему зберігання енергії. Зберігання електроенергії може зробити енергетичні мережі більш надійними і стабільними, підвищити якість енергії і надати споживачам функції управління енергетичними потоками. Технології передачі і зберігання енергії, що дозволяють оперативно реагувати на коливання попиту і пропозиції, стають комерційно вигідними за умови розгортання технології SMART Grid, основи якої закладені у технічних вимогах до мережі керування цифровими підстанціями в групі міжнародних стандартів МЕК 61850.

Ретельний аналіз ряду каскадних відключень електроенергії [1, 3], які відбулися в світі дозволив відзначити, що крім скасування державного регулювання ринку електроенергії, однією з причин збільшення кількості системних аварій, що призводять до каскадних відключень, є також перепади розподілу потоків електроенергії між взаємопов'язаними країнами. Існуючі взаємопов'язані електроенергетичні мережі стали нести підвищене навантаження, пов'язане із забезпеченням контрактів на поставку електроенергії і здатну в деяких випадках перевищувати максимальну пропускну здатність. Крім того, оператори великих електричних мереж неминуче стикаються з труднощами при виборі заходів реагування в разі виникнення нестандартних або несподіваних ситуацій.

Розглянемо приклад механізму виникнення каскадних аварійних відключень електроенергії, який з технічної точки зору може бути описаний як послідовність наступних подій:

1) виникнення провокуючого фактора для запуску механізму аварії (позапланове відключення електроенергії, несподіване підвищення рівня навантаження і т.д.);

2) затримка в первісному реагуванні (оволодіння ситуацією, прийняття «пом'якшуючих» заходів і т.п.);

3) виникнення каскадних аварійних ситуацій (каскадні відключення електроенергії, обвал напруги, хитання потужності, неузгодженість, падіння частоти і т.д.);

4) прийняття захисних заходів (відключення відповідних потужностей за допомогою захисних реле).

В 2004–2005 р.р. були прийняті рекомендації і проведені заходи щодо зменшення ймовірності каскадних аварій, а саме це аналіз заходів протидії, що вживаються в міжнародному масштабі, представлений в трьох основних напрямках: моніторинг проблем безпеки; профілактичний контроль; аварійне керування.

Пошук нових рішень доцільно робити в напрямку удосконалення процесу моніторингу та превентивного контролю. Одним з принципово нових рішень в питаннях превентивного контролю був метод системного аналізу параметрів електромереж, виміряних ОДНОЧАСНО в масштабі всієї мережі. Так, в рамках організації «Північноамериканська синхрофазорна ініціатива» (NASPI), яка була заснована в 2007 році Міністерством енергетики США, Північноамериканською корпорацією щодо забезпечення надійності електросистем (NERC), енергетичним компаніям та іншим організаціям, було запропоновано поліпшити контроль енергосистем і підвищити їх надійність за рахунок використання синхрофазорної технології. Синхрофазори (системи одночасного вимірювання фази змінного струму і напруги в різних точках електромережі) були обрані зважаючи на їх здатності відображати в режимі реального часу результати синхронізованих по абсолютній шкалі часу вимірювань з частотою 30 або 60 ГЦ для США і 25 або 50 ГЦ для Європи. Прилади для вимірювання фазори (PMU — Phasor Measurement Unit) передбачені стандартами як обов'язкова складова сучасних об'єктів енергетики.

Дані синхрофазорів особливо важливі для випадків підключення поновлюваних джерел до загальної енергетичної мережі, збільшення обсягів енергії, що надійно доставляється і передачі даних в диспетчерські центри комунальних служб. Таким чином, для здійснення коректного аналізу стану енергосистеми стає вкрай актуальним забезпечення одночасності зазначених вимірювань, іншими словами — синхронізація, або «прив'язка» функціонування обладнання синхрофазорів до єдиної шкали часу в масштабі мережі.

Деякі стандарти групи міжнародних стандартів МЕК 61850, зокрема, МЕК61850-9-1, МЕК61850-9-2 визначають вимоги до точності міток часу (наприклад, до ± 1 мкс), необхідних для ряду функцій (наприклад, для синхронізації інтелектуальних промислових контролерів високих класів точності в різних ланках енергетичних мереж і т.п.). Аналогічними є вимоги до точності часових міток для коректної роботи синхрофазорів, що визначаються міжнародними стандартами IEEE C37.118.1-2011, IEEE C37.118.2-2011. Згідно висновків вказаних стандартів у частині синхронізації, необхідно забезпечити передачу мітки часу по локальним мережам з точністю не гірше 1 мікросекунди (у ланцюзі з 16 мережевих вузлів), що можливо лише при умові побудови локальної мережі з застосуванням протоколу IEEE-1588 на всіх мережевих пристроях.

Підсумовуючи вищезазначене, можна стверджувати, що для забезпечення мітками часу процесу безперервного моніторингу стабільності параметрів енергосистем, згідно концепції інтелектуальної енергомережі, необхідна розробка і впровадження засобів передавання та відтворення національної шкали часу і частоти з прив'язкою до реального часу з мікросекундною точністю.

Механізм передавання еталонних значень шкали часу з використанням протоколу РТР

Проблема забезпечення мітками точного часу може бути вирішена за рахунок використання синхронізації інших держав (наприклад, від супутникових навігаційних систем GPS чи ГЛОНАСС), що створює загрозу як національній безпеці, так і збільшує ризики втрати єдності вимірювань часу і частоти в межах держави.

Одним із варіантів підвищення надійності та покращення інформаційної живучості є диверсифікація процесу забезпечення мітками точного часу інтегрованих систем електропостачання. Пропонується забезпечити диверсифікацію, як процесу передавання сигналів, включно і середовища розповсюдження, так і самого джерела еталонних сигналів часу і частоти.

Важливим є те, що в Україні існує державна служба єдиного часу і еталонних частот яка здійснює міжрегіональну і міжгалузеву координацію та виконання робіт, спрямованих на забезпечення єдності вимірювань часу і частоти, формуючи і зберігаючи національну шкалу часу на рівні кращих національних шкал країн світу. Існуючі в Україні технічні засоби не утворюють ефективної системи передавання сигналів точного часу, а тому не можуть задовольнити вимоги багатьох споживачів частотно-часової інформації.

Ретроспективний аналіз вирішення проблеми передавання еталонних значень шкали часу для забезпечення мітками точного часу інтегрованих електроенергетичних мереж SMART-технологій дає можливість визначити найбільш розповсюджені способи, протоколи і механізми передавання синхронізації [1, 2].

В XXI столітті був розроблений новий протокол для передачі мітки часу по діючим IP-мережам, який визначений в міжнародному стандарті IEEE-1588 як протокол прецизійного часу РТР (Precision Time Protocol). Підвищений інтерес до впровадження протоколу РТР сформувався в значній мірі у зв'язку з активним переходом телекомунікаційних мереж на використання технології комутації пакетів (замість комутації каналів), причому в таких мережах РТР може застосовуватися, з деяким погіршенням характеристик, навіть без підтримки протоколу іншим мережевим обладнанням.

Варто відзначити, що енергетичні компанії все більше використовують Ethernet/IP і впроваджують мережі з багато-протоковою комутацією по мітках (MPLS), щоб забезпечити гармонійний перехід від традиційних систем передачі інформації до нових рішень, які включають застосування синхрофазорів та системи дистанційного захисту. Аналіз наведених результатів досліджень [1, 2] дає можливість зробити висновок, що єдиним на сьогоднішній день протоколом, здатним забезпечити задані вимоги, використовуючи для передачі міток часу технології комутації пакетів, а також такий, який не вимагає будівництва виділеної мережі, є саме протокол стандарту IEEE-1588.

В перспективі планується створення в Україні єдиної національної системи для забезпечення споживачів частотно-часової інформації, пілотним проектом якої стане інформаційна система передавання еталонних значень шкали часу інтегрованих електроенергетичних мереж SMART-технологій. Єдина національна синхронізаційна система (ЄНСС) України повинна реалізувати процеси

транспортування інформації про єдиний точний час, еталонні частоти, часові інтервали і т.д. по об'єктах, які її потребують (в межах кордонів країни), з метою забезпечення синхронної, узгодженої роботи [1].

Експериментальні дослідження інформаційної системи передавання мітки точного часу по IP-мережам

Виконаємо аналіз результатів досліджень протоколу РТР, який отримав назву «енергетичний» профіль РТР, щодо можливості його застосування в інтелектуальних електроенергетичних системах. Оскільки базовий стандарт [4] містить широкий спектр допустимих установок і налаштувань протоколу РТР, по мірі впровадження в тій чи іншій галузі фахівці оптимізують конфігурацію протоколу для застосування саме в цій галузі, в залежності від особливостей галузевих мереж, що підвищує характеристики або спрощує впровадження протоколу.

Експериментальні дослідження інформаційної системи передавання мітки точного часу по діючим IP-мережам виконувались з використанням комплекту обладнання УС-1588 вітчизняного виробництва (ТОВ «Інформаційні сервісні технології», м. Київ).

Обладнання УС-1588 призначено для передавання мітки точного часу по мережам передачі даних, що використовують комутацію пакетів на основі протоколів TCP/IP або UDP/IP зі швидкістю 10/100 Мбіт/с, відповідні вимогам, викладеним у стандарті IEEE-1588 [4]. Найбільш поширеним прикладом зазначених пакетних мереж, в яких може використовуватися обладнання УС-1588, є локальна мережа Ethernet 10/100 Мбіт/с або мережа на основі протоколу IP версії 4.

Обладнання УС-1588 складається з передавача УС-1588М («мастер») та приймача УС-1588S («слейв»). Зовнішній вигляд пристрою УС-1588М («мастер»), який виконаний в корпусі, розрахованому на встановлення в 19-дюймову телекомунікаційну стійку показаний на рис. 1.

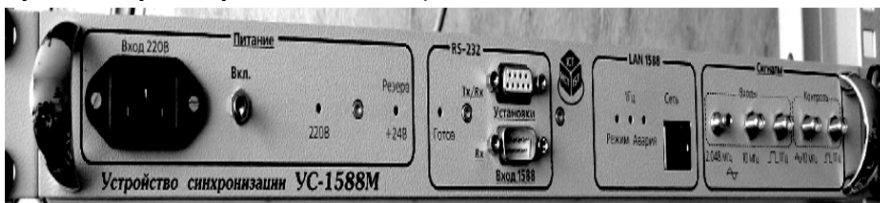


Рис.1. Зовнішній вигляд передньої панелі УС-1588М

Випробування комплекту обладнання УС-1588 вітчизняного виробництва показали відповідність його основних характеристик вимогам «енергетичного» профілю РТР при передаванні мітки точного часу по діючій корпоративній IP-мережі НУБіП України [5]. Варто відмітити, що вклад синхронізуючого пристрою УС-1588М («мастер») у відхилення часового інтервалу становить не більше 50 нс при нормі не більше ніж 200 нс.

Параметри комплекту обладнання УС-1588 дозволяють забезпечити нестабільність переданої мітки часу на рівні 300 нс (розмах).

Проведено експериментальні дослідження інформаційної системи передавання мітки точного часу, що складається з системи цифрової передачі інформації, яка базується на апаратурі УС-1588М і УС-1588S, адаптивного пристрою синхронізації АПС та забезпечує цифрову передачу синхроінформації через корпоративну IP-мережу НУБіП України. Параметрами, що вимірюються є характеристики синхросигналів TIE визначені згідно міжнародних Рекомендацій ITU-T G.810 та G.8262.

Результати порівняння випробувань декількох видів обладнання RTP «енергетичного» профілю та комплекту обладнання УС-1588 українського виробництва, які наведені в статті [6], вказують на те, що характеристики даного обладнання відповідають світовому рівню.

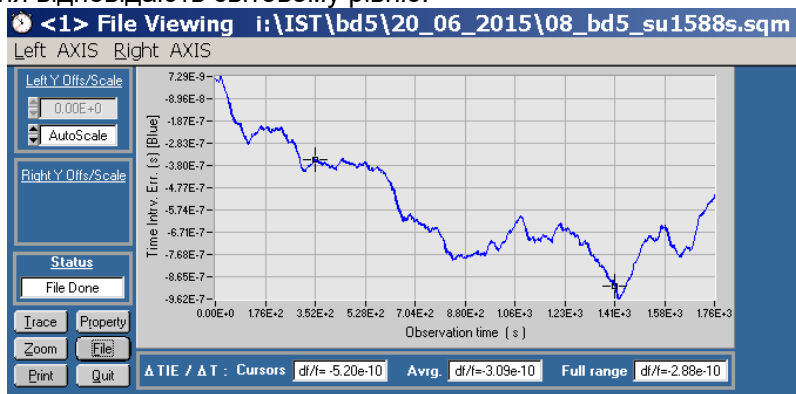


Рис. 2. Залежності TIE від часу вихідного сигналу інформаційної системи передавання мітки точного часу корпоративну IP-мережу НУБіП України

Висновок

Забезпечення зниження аварійності в інтелектуальних енергосистемах можливе за рахунок підвищення якості та надійності формування міток часу для безперервного моніторингу стабільності параметрів електромережі з прив'язкою до реального часу. Для високоякісного забезпечення мітками часу пропонується забезпечити диверсифікацію, як процесу передавання сигналів, включно і середовища розповсюдження, так і самого джерела еталонних сигналів часу і частоти.

Інформаційна система передавання еталонних значень шкали часу інтегрованих електроенергетичних мереж SMART-технологій в перспективі може виступати пілотним проектом створення в Україні єдиної національної системи (ЄНСС) для забезпечення усіх споживачів частотно-часовою інформацією.

На сьогоднішній день протоколом, здатним забезпечити передавання міток точного часу для безперервного моніторингу стабільності параметрів енергосистем з прив'язкою до реального часу з мікро-секундною точністю за технологією комутації пакетів, а також такий, який не вимагає будівництва виділеної мережі, є протокол стандарту IEEE-1588.

Результати випробувань комплекту обладнання українського виробництва показали відповідність його основних характеристик вимогам «енергетичного» профілю RTP та вказують на те, що його техніко-економічні показники відповідають світовому рівню.

Література

1. 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.
2. 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.
3. Смирнов С. О., Успенский М. И., «Причины возникновения и меры противодействия крупным авариям в электроэнергетических системах» // Известия Коми научного центра УРО РАН, выпуск № 1 (9), 2012 г. стр. 68–77.
4. IEEE C37.238-2011 IEEE Standard Profile for Use of IEEE 1588 Precision Time Protocol in Power System Applications, 2011.
5. Автоматизована система передачі синхросигналів з використанням IP-мереж: монографія / В. В. Коваль, Д. О. Кальян, О. В. Самков. — К.: НУБіП України, 2016. — 182 с.
6. 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.

References

1. Avtomatyzovana systema synkhronizatsiyi tsyfrovyykh syhnaliv: monohrafiya / V.V. Koval', O.V. Samkov, M.M. Khudyntsev, D.O. Kal'yan. — K.: TOV TSP «Komprynt», 2018. — 494 s.
2. Velychko O.M., Koval' V.V., Samkov O.V., Shklyarevs'kyi I.YU. Suchasni protokoly peredachi shkaly chasu intelektual'nykh elektroenerhetychnykh system zi znyzhenoyu avariynistyuu // Naukovyy visnyk Natsional'noho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannya Ukrainy. Seriya «Tekhnika ta enerhetyka APK». — K., 2016. — Vyp.242. — S.41–50.
3. Smyrnov S. O., Uspenskyi M. Y., «Prychyny voznyknovenyya y mery protyvoedystvyia krupnym avaryiam v élektroénerhetycheskykh systemakh» // Yzvestyya Komy nauchnoho tsentra URO RAN, vypusk № 1 (9), 2012 h. str. 68–77.
4. IEEE C37.238-2011 IEEE Standard Profile for Use of IEEE 1588 Precision Time Protocol in Power System Applications, 2011.
5. Avtomatyzovana systema peredachi synkhrosyhnaliv z vykorystannnyam IR-merezh: monohrafiya / V. V. Koval', D. O. Kal'yan, O. V. Samkov. — K.: NUBiP Ukrainy, 2016. — 182 s.
6. Velychko O.M., Koval' V.V., Samkov O.V., Shklyarevs'kyi I.YU. Suchasni protokoly peredachi shkaly chasu intelektual'nykh elektroenerhetychnykh system zi znyzhenoyu avariynistyuu // Naukovyy visnyk Natsional'noho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannya Ukrainy. Seriya «Tekhnika ta enerhetyka APK». — K., 2016. — Vyp. 242. — S. 41–50.