

УДК 658.51

DOI: 10.15587/2312-8372.2019.187278

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ МОНІТОРИНГУ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОСТАЧАННЯ ЗАЛІЗНИЦІ

Голуб Г. М., Кульбовський І.І., Скляренко І.Ю., Ганношина І.М., Клочков Ю.П., ХарутаВ.Л.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ МОНИТОРИНГА СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

Голуб Г. М., Кульбовский И.И., Скляренко И.Ю., Ганношина И.Н., Клочков Ю.П., ХарутаВ.Л.

RESEARCH ON THE POSSIBILITIES OF SOLUTION OF THE MONITORING PROJECTS OF THE RAILWAY POWER SUPPLY SYSTEM

HolubH., KulbovskiyI., SkliarenkoI., Hannoshyna I., Klochkov Y., Kharuta V.

Об'єктом дослідження є параметри моніторингу системи електропостачання залізничного транспорту. Пристрої реєстрації параметрів роботи об'єктів системи постачання електроенергії PMUs складають основу системи моніторингу перехідних режимів WAMS. Важливим аспектом елементів WAMS є синхронізація даних, яка технологічно забезпечується за допомогою супутникових систем орієнтації.

В ході дослідження використовувалися системний аналіз, системний підхід до проблеми, а також способи синхронізації та систематизації даних.

Досліджено методи розв'язування задач процесів моніторингу системи електропостачання залізничного транспорту. Функції діагностики, що в даний час реалізуються за допомогою PMUs, WAMS, фактично зосереджені та обмежені на ділянках електропостачання, і включають в себе моніторинг низькочастотних коливань системних параметрів. А також ідентифікацію аварійного режиму та визначення місця пошкодження в об'єктах системи електропостачання. Крім того, для використання цих функцій, разом з тим, вже при сучасному розвитку систем, необхідним є забезпечення діагностичних функцій в масштабі енергосистем, з мінімізацією участі та впливу людини у формуванні результатів оцінювання режимів. Це пов'язано з тим, що є необхідність розширення діагностичних функцій щодо параметрів об'єктів системи електропостачання, використовуваних систем моніторингу, які дозволять розв'язувати задачі оперативно-диспетчерського управління цих об'єктів.

Завдяки цьому забезпечується можливість розв'язання оперативно-диспетчерських задач, оцінювання та прогнозування стану при обробці інформації, її синхронізації та систематизації. А також спостереження і

синхронізації вимірів за часом, що значно підвищує рівень оперативно-диспетчерського управління режимами роботи об'єктів системи електропостачання. У порівнянні з аналогічними технологіями, нові, засновані на використанні пристроїв PMU для збору даних, мають перевагу перед традиційними технологіями SCADA, які проводили вимірювання об'єктів системи без синхронізації за часом.

Ключові слова: система електропостачання, залізничний транспорт, синхронізація даних, комп'ютерні засоби, налаштування інтерфейсу людина-машина.

Объектом исследования являются параметры мониторинга системы электроснабжения железнодорожного транспорта. Устройства регистрации параметров работы объектов системы поставки электроэнергии PMUs составляют основу системы мониторинга переходных режимов WAMS. Важным аспектом элементов WAMS является синхронизация данных, которая технологически обеспечивается с помощью спутниковых систем ориентации.

В ходе исследования использовались системный анализ, системный подход к проблеме, а также способы синхронизации и систематизации данных.

Исследованы методы решения задач процессов мониторинга системы электроснабжения железнодорожного транспорта. Функции диагностики, которые в настоящее время реализуются с помощью PMUs, WAMS, фактически сосредоточены и ограничены на участках электроснабжения, и включают в себя мониторинг низкочастотных колебаний системных параметров. А также идентификацию аварийного режима и определения места повреждения в объектах системы электроснабжения. Кроме того, для использования этих функций, вместе с тем, уже при современном развитии систем, необходимо обеспечение диагностических функций в масштабе энергосистем, с минимизацией участия и влияния человека в формировании результатов оценки режимов. Это связано с тем, что есть необходимость расширения диагностических функций по параметрам объектов системы электроснабжения, используемых систем мониторинга, которые позволят решать задачи оперативно-диспетчерского управления этих объектов.

Благодаря этому обеспечивается разрешение оперативно-диспетчерских задач, оценки и прогнозирования состояния при обработке информации, ее синхронизации и систематизации. А также наблюдение и синхронизация измерений по времени, что значительно повышает уровень оперативно-диспетчерского управления режимами работы объектов системы электроснабжения. По сравнению с аналогичными технологиями, новые, основанные на использовании устройств PMU для сбора данных, имеют преимущество перед традиционными технологиями SCADA, которые проводили измерения без синхронизации по времени.

Ключевые слова: система электроснабжения, железнодорожный транспорт, синхронизация данных, компьютерные средства, настройка интерфейса человек-машина.

1. Вступ

Вирішення задач оперативного управління, забезпечення надійної, гнучкої та ефективної роботи системи електропостачання можна забезпечити при переході на новий рівень інформаційного забезпечення. Функції синхронізації даних по часу в розподілених системах моніторингу найчастіше реалізуються на базі існуючих технологій супутникової орієнтації – супутникової глобальної системи позиціонування GPS та ГЛОНАСС (глобальна навігаційна супутникова система). Вирішуються задачами моніторингу перехідних процесів, що передбачає створення відповідних засобів збору інформації та програмних комплексів для її обробки, які повинні відповідати цілому ряду вимог [1]. А для забезпечення необхідного рівня надійності та безпеки функціонування системи, необхідно розв'язати задачі моніторингу частоти, потужності, струму, напруги та їх кутових параметрів. Це можливо завдяки розвитку нової технології векторного вимірювання режимних параметрів даних систем, яка забезпечує синхронізацію вимірювань шляхом використання GPS, що надає оперативному персоналу якісно нову інформацію у вигляді векторів напруг [2].

Пристрої синхронізованих вимірювань векторів напруги PMU утворюють об'єктний рівень систем моніторингу режимних параметрів WAMS. А також відкривають можливість розв'язувати задачі оперативно-диспетчерського управління електричних мереж, на основі протокол обміну інформацією, який використовується в системі збору даних при наявності PMU.

Досвід вчених у працях [3, 4] показує, що системи моніторингу призначені для постійного спостереження за параметрами режимів електроенергетичних систем, оцінкою та прогнозом розвитку поточних режимів роботи. А також видачею отриманої інформації в цифровому вигляді системам керування та інформаційним системам.

Тому актуальним є необхідність поєднання параметрів від різних реєстраторів та інших пристроїв моніторингу для можливостей розв'язання оперативно-диспетчерських задач, оцінювання та прогнозування стану при обробці інформації. При цьому, *об'єктом дослідження* є параметри моніторингу системи електропостачання залізничного транспорту. А *мета роботи* полягає в дослідженні розв'язання задач моніторингу системи електропостачання залізниці шляхом обробки значних обсягів інформації завдяки її синхронізації та систематизації.

2. Методика проведення дослідження

З метою неперервного діагностування та прогнозування стану електричного обладнання для реєстрації аварійних режимів на тягових підстанціях залізниць України застосовуються реєстратори типу «Регіна-Ч» (Україна). На основі цих реєстраторів створена система моніторингу перехідних режимів (СМПР), яка призначена для постійного спостереження за параметрами режимів електричних мереж, оцінкою та прогнозом розвитку поточних режимів роботи. А також видачею отриманої інформації в цифровому вигляді системам керування та інформаційним системам, забезпечує функціональні можливості діагностики системи електропостачання, зокрема

оцінювання стану, моніторинг перехідних режимів та низькочастотних коливань [4]. За допомогою реєстраторів «Регіна-Ч» можна отримувати результати досліджень для моделювання режимів електричних мереж, та, зокрема, вирішення задач оцінювання стану.

3. Результати досліджень та обговорення

Спостереження за параметрами режимів електричних мереж, оцінкою та прогнозом розвитку поточних режимів роботи та видачею отриманої інформації в цифровому вигляді, вимірювання миттєвих значень фазних струмів і напруги та розрахунку електричних параметрів здійснюється за допомогою СМІР. Система складається з РМУ, каналів передачі даних між об'єктами електроенергетики і диспетчерськими центрами, а також засобів обробки отриманої інформації. Комунікаційний сервер забезпечує збір, реєстрацію і архівацію даних, які надходять від багатofункціональних вимірювальних перетворювачів, прийом сигналів точного часу від GPS-приймача, надання даних за запитами віддалених споживачів в on-line та off-line режимах [5].

В загальному, при оцінці надійності WAMS виділяють три категорії ризику, до яких відносять інформаційну безпеку, надійність обладнання та працездатність людини-оператора. У фокусі уваги перебувають дослідження, пов'язані з усуненням вразливостей WAMS, пов'язаних із залежністю відмітки часу синхронізованих вимірювань від сигналів GPS [6], надійністю реєстраторів РМУ та програмного забезпечення. А також стійкість серверів та концентраторів даних відносно зосереджених кібератак.

WAMS для моніторингу стану об'єктів системи електропостачання залізничного транспорту побудована на базі пристроїв «Регіна-Ч» [7]. Це реалізує моніторинг на рівні світових програм інтелектуалізації електропостачання та дає потенціал впровадження та розвитку функцій аналізу та керування відповідно останніх напрямків.

У зв'язку з переходом до інтелектуальної енергетики, зокрема й у тягових підстанціях, зростає кількість пристроїв моніторингу, які в свою чергу накопичують більше доступних даних, щоб допомогти оперативно-диспетчерському персоналові стежити за станом системи електропостачання в режимі реального часу. Проте, більша кількість даних не обов'язково означає більше інформації. Лише обробка перетворює дані на корисну інформацію. Функції моніторингу наступного покоління призначені надавати диспетчерам корисну інформацію, а не первинні дані. Дані створюють основу прийнятих диспетчерами рішень [8].

Особливо важливо спостерігати не тільки миттєві значення струмів та напруг, а й інші величини (параметри) і сигнали, оскільки індикаторами моніторингу можуть бути всі ці величини. У вигляді лінійних або нелінійних функцій вхідних сигналів, результатів їх операторних перетворень, включно з одержання функціоналів, їх гармонічний аналіз та ін. Одержання цих параметрів та сигналів є основою для виконання обчислень інших різних параметрів струму та напруги електричних мереж, а також інших параметрів.

Фазні кути напруг на системах шин підстанцій є найбільш «важливими» змінними вектора стану, так як пов'язані з межами статичної стійкості, протіканням потужності по лінії електропередач [9]. Тому для активної потужності, що передається по лінії між шинами (n) і (k), дійсний вираз:

$$P_{nk} = \frac{U_n \cdot U_k}{X_{nk}} \sin \delta_{nk}, \quad (1)$$

де U_n – напруга на початку лінії; U_k – напруга в кінці лінії; δ_{nk} – кут між ними; X_{nk} – реактивний опір передачі.

Постійна реєстрація синхронізованих змінних стану системи дозволяє проводити верифікацію і уточнення розрахункових моделей мережі і результатів математичного моделювання. З виразу для реактивної потужності запишемо:

$$Q_{nk} = \frac{U_n^2}{X_{nk}} - \frac{U_n \cdot U_k}{X_{nk}} \cos \delta_{nk}, \quad (2)$$

звідси реактивний опір передачі:

$$X_{nk} = \frac{U_n^2 - U_n \cdot U_k \cos \delta_{nk}}{Q_{nk}}. \quad (3)$$

Таким чином, володіючи точними синхронізованими параметрами режиму, легко визначити і інші параметри мережі.

Аналіз архівів синхронізованих вимірів фазних кутів в «ключових» точках енергосистеми до і після аварійних відключень дозволяє також сформулювати висновки щодо наявності резервів в енергосистемі для реагування на різні порушення режиму [10].

Функції моніторингу та управління наступного покоління пропонують передові методи візуалізації та можливість легкого індивідуального налаштування інтерфейсу людина-машина для кожного диспетчера на основі його вподобань з метою допомоги йому в швидкому отриманні інформації. Із застосуванням орієнтованих на людину функцій моніторингу підвищиться ефективність оперативно-диспетчерського персоналу в розумінні поточних умов роботи, виявленні аномальних умов експлуатації, розгляді потенційних проблем [11]. При цьому система моніторингу повинна надавати інформацію в режимі реального часу так, щоб не перевантажувати диспетчера повідомленнями, що може заважати виконанню роботи.

Інформація з датчиків на тягових підстанціях і лініях електропередач, замість безпосереднього відправлення диспетчерам, може пройти процедуру інтелектуальної обробки даних для оперативного визначення життєздатності обладнання. Забезпечення диспетчерів потенційними даними про несправності

компонентів може допомогти їм передбачити проблеми в роботі системи тягового електропостачання та розробити план послаблення наслідків аварійного стану [11, 12].

Наприклад, система захисту на підстанціях може записувати випадки порушень нормального функціонування (аварійний стан). Замість того, щоб надати диспетчеру повний об'єм записаних даних, йому може бути надана інформація про конкретні типи несправностей та місце їх виникнення. Надання такої інформації дозволить оперативно-диспетчерському персоналові заощадити велику кількість часу. Інформація може бути додатково використана в оперативній оцінці безпеки, щоб допомогти диспетчерському персоналові в аналізі проблем стабільності системи і розробити оптимальні стратегії їх виправлення.

4. Висновки

В ході дослідження виявлено, що нові технології, які засновані на використанні пристроїв PMU для збору даних мають перевагу перед традиційними технологіями SCADA, які проводили вимірювання мережі кожні 2–4 секунди без синхронізації за часом. Тому технології з PMU, які запропоновано в даній роботі, завдяки синхронізації з GPS, забезпечать синхронізацію вимірів за часом режимів об'єктів системи електропостачання залізниці. Це значно підвищує рівень оперативно-диспетчерського управління режимами роботи. Результати досліджень дозволять проводити реєстрацію результатів моніторингового вимірювання в режимі on-line, а також в реальному часі, що особливо важливо для їх поточного використання. Досліджено, що саме пристрої PMU з синхронізацією за часом дозволяють, у режимі реального часу, здійснювати моніторинг параметрів мережі та усунення аварійних ситуацій, виконувати інформаційні операції часової та просторової синхронізації, що є необхідним при задачах моніторингу системи електропостачання залізниці.

Література

1. Butkevych, O. F., Chyzhevskiy, V. V. (2010). Deiaki aspekty monitorynhu nyzkochastotnykh kolyvan rezhymnykh parametriv enerhoobiednan. *Intelektualni enerhetychni systemy – IES (ESS10)*. Mukacheve.
2. Stohnii, B. S., Kyrylenko, O. V., Denysiuk, S. P. (2010). Intelektualni elektrychni merezhi elektroenerhetychnykh system ta yikh tekhnolohichne zabezpechennia. *Tekhnichna elektrodynamika*, 6, 44–50.
3. Stasiuk, O. I., Butkevych, O. F., Levkoniuk, A. V. (2014). Pidvyshchennia nadiinosti monitorynhu dopustymosti zavantazhen kontrolovanykh peretyniv enerhosystem. *Tekhnichna elektrodynamika*, 2, 56–67.
4. Butkevych, O. F., Tutyk, V. L. (2010). Monitorynh ta diahnostuvannia elektroenerhetychnykh obiektiv ta system Ukrainy na bazi kompleksiv «Rehina». *Hidroenerhetyka Ukrainy*, 3, 46–49.
5. Kalyniuk, I. O. (2010). Perspektyvy orhanizatsii kompiuternykh system monitorynhu ta diahnostyky elektrychnykh merezh i obiektiv. *Zb. nauk. prats DETUT: seriia «Transportni systemy i tekhnolohii»*, 17, 194–200.

6. Liu, Q., Watanabe, M., Mitani, Y. (2012). Hilbert-Huang Transform and FFT Analysis of Oscillation Characteristics for Japan Power System based on Campus WAMS. *Power and Energy Systems*. Phuket, 7–12. doi: <http://doi.org/10.2316/p.2012.768-112>

7. Stohnii, B. S., Kyrylenko, O. V., Butkevych, O. F. ta in. (2011). Systema zboru ta obrobky informatsii, shcho reiestruietsia kompleksamy «Rehina-Ch». *Pratsi IED NAN Ukrainy*, 29, 35–46.

8. Haidenko, O. S. (2014). Metodolohichni kontseptsii rozvytku informatsiinykh tekhnolohii operatyvnoho keruvannia tiahovymy elektromerezhamy. *Zbirnyk naukovykh prats «Transportni systemy i tekhnolohii»*, 25, 153–160.

9. Butkevych, O. F., Levkoniuk, A. V., Zorin, Ye. V., Bulanaia, V. S. (2010). Pro vykorystannia synkronizovanykh vymiriv kutiv napruhy z obektiv OES Ukrainy pry vyznachenni dopustymosti yii potochnykh rezhymiv za zapasamy statychnoi stiikosti. *Tekhnichna elektrodynamika*, 6, 51–58.

10. 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, 31–36.

11. Stasiuk, O. I., Tutyk, V. L., Honcharova, L. L., Holub, H. M. (2015). Matematychni modeli i kompiuterno-orientovani metody monitorynhu i identyfikatsii avariinykh rezhymiv tiahovykh merezh. *Informatsiino-keruiuchi systemy na zaliznychnomu transporti*, 2, 7–13.

12. Stasiuk, O. I., Honcharova, L. L., Maksymchuk, V. F. (2012). Metody orhanizatsii kompiuternoї merezhi monitorynhu parametriv rezhymiv system elektropostachannia. *Informatsiino-keruiuchi systemy na zaliznychnomu transporti, naukovo-tekhnichniyi zhurnal*, 2, 35–40.

The object of research is the monitoring parameters of the railway power supply system. PMUs power supply system recording devices are the basis of the WAMS transient monitoring system. An important aspect of WAMS elements is data synchronization, which is technologically ensured using satellite-based orientation systems.

The study used a system analysis, a systematic approach to the problem, as well as methods of synchronization and systematization of data.

Methods for solving problems of monitoring processes of the railway transport power supply system are investigated. Diagnostic functions, currently implemented using PMUs, WAMS, are actually concentrated and limited in the areas of power supply, and include monitoring of low-frequency fluctuations of system parameters. As well as identification of the emergency mode and determining the location of damage in the facilities of the power supply system. In addition, to use these functions, at the same time, even with the modern development of systems, it is necessary to ensure diagnostic functions on the scale of power systems, with minimizing the participation and influence of a person in the formation of the results of the assessment of modes. This is due to the fact that there is a need to expand diagnostic functions according to the parameters of the objects of the power supply

system, the monitoring systems used, which will solve the problems of operational dispatch control of these objects.

This ensures the resolution of operational dispatch tasks, assessing and predicting the state in the processing of information, its synchronization and systematization. As well as monitoring and synchronizing measurements over time, which significantly increases the level of operational dispatch control of the operating modes of objects of the power supply system. Compared with similar technologies, the new ones based on the use of PMU devices for data collection have an advantage over traditional SCADA technologies, which measured system objects without time synchronization.

Keywords: *power supply system, railway transport, data synchronization, computer tools, man-machine interface settings.*