

**СЕКЦІЯ 8**  
**ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ. ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ.**  
**ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОБЛІКУ**  
**ЕНЕРГОНОСІЇВ**

УДК 621.311

**USE OF FFT AND DFT TO EVALUATE HARMONIC CURRENT AND VOLTAGE DISTORTION**

*Filyanin D., Kalinchyk V., Meita O., Pobigaylo V., Zhuravlow A.*

*National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine*

*E-Mail: [daniel\\_f@rambler.ru](mailto:daniel_f@rambler.ru), [vkalin@i.ua](mailto:vkalin@i.ua), [meyta@meta.ua](mailto:meyta@meta.ua), [pobigaylo@gmail.com](mailto:pobigaylo@gmail.com), [aazhur@ukr.net](mailto:aazhur@ukr.net)*

The presence of non-linear loads and the growing number of distributed generation systems lead to distortion of the shape of voltage and current curves in distribution systems, that is, to the appearance of current and voltage harmonics.

The impact of harmonics is fraught with a disruption in the operation of power equipment and a harmful effect on the consumer's electrical loads.

For the effective implementation of measures to improve the power quality, a correct assessment of the characteristics of distortion is necessary, which largely depends on the harmonic analysis method used.

The classical method of power quality analysis used in power quality monitoring systems is the Fourier Transform.

A feature of the Fast Fourier Transform (FFT) is that with the help of this transformation all components of the output spectrum of the signal are calculated at once. As a result, the original signal  $x(t)$  is represented as the sum of harmonics of different frequencies:

$$x(t)=A_1\sin(\omega t+\alpha_1)+A_2\sin(2\omega t+\alpha_2)+\dots+A_n\sin(n\omega t+\alpha_n) \quad (1)$$

where  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$  – the harmonic components phase angle of the signal;  $n$  – the maximum harmonics order;  $\omega$  – the angular frequency;  $A_1, A_2, \dots, A_n$  – the amplitudes harmonic components of signal  $x(t)$ .

It can be argued that the FFT is an indicator of the presence of certain harmonic components in the signal in the measurement interval.

A distinctive feature of the Discrete Fourier Transform (DFT) in relation to the FFT is the ability to analyze the original signal for each harmonic separately.

For power supply systems with a frequency of 50 Hz, as the main time interval when measuring power quality indicators, an interval of 10 periods of the fundamental frequency harmonic is taken.

In order to detail the frequency content of the signal in the measurement interval, we will calculate the spectrum points obtained as a result of the FFT using the DFT (Fig. 1) [1].

To do this, it is necessary to multiply each period of the original signal (1) on the main measurement interval by sinusoids and cosine waves of unit amplitude with frequencies obtained as a result of the FFT of the signal, and integrate over the interval of  $2\pi$ .

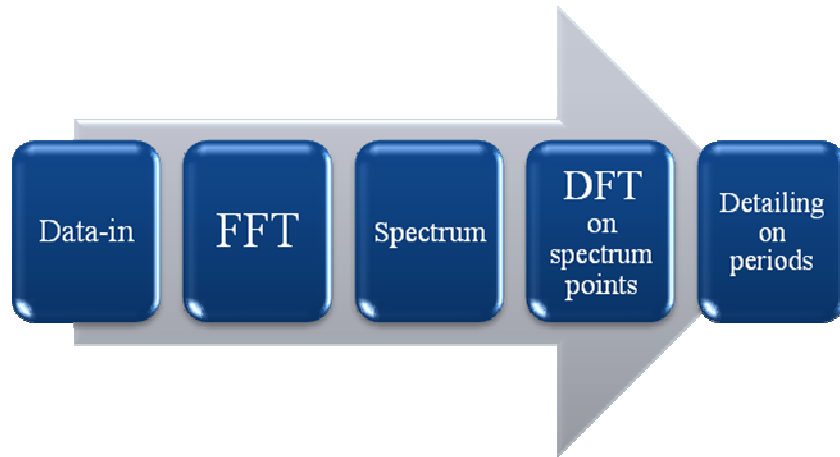


Figure 1. Improvement of the harmonic analysis method

As a result, for each harmonic component in the  $l$ -th period of the main measurement interval, we obtain the following system of equations:

$$\begin{cases} A_{kl} \pi \cos \alpha_{kl} = a_{kl} \\ A_{kl} \pi \sin \alpha_{kl} = b_{kl} \end{cases}, \quad (2)$$

where  $a_{kl}$  – the integral sum over the interval  $2\pi$  of product of the signal by the unit amplitude sine of the  $k$ -th harmonic on the  $l$ -th period of the sample time;  $A_{kl}$ , – the amplitude of the  $k$ -th harmonic on the  $l$ -th period of the sample time;  $\alpha_{kl}$  – the phase angle of the  $k$ -th harmonic at the  $l$ -th period of the sample time;  $k$  – harmonic order;  $l=1\div 10$  – the serial number of the period of the sample time;  $b_{kl}$  – the integral sum over the interval  $2\pi$  of product of the signal by the unit amplitude cosine of the  $k$ -th harmonic on the  $l$ -th period of the sample time.

The system of equations (2) is nothing more than a trigonometric representation of a complex number  $z_{kl} = a_{kl} + jb_{kl}$ . Then the amplitude of the  $k$ -th harmonic component in the  $l$ th period of the main measurement interval is determined as:

$$A_{kl} = \frac{|z_{kl}|}{\pi},$$

where  $|z_{kl}|$  – the absolute value of the complex number  $z_{kl}$ .

The phase angle of the  $k$ -th harmonic on the  $l$ -th period of the sample time:

$$\alpha_{kl} = \arg z_{kl},$$

where  $\arg z_{kl}$  – the argument of the complex number  $z_{kl}$ .

Thus, with the help of an additional DFT over the periods of the harmonic of the fundamental frequency (DFT over the periods), it is possible to localize the time of

appearance and disappearance of high harmonics with an accuracy of one period of the harmonic of the fundamental frequency.

*Keywords:* FFT, DFT, power quality, harmonics, harmonic distortion.

**References**

- [1] D. Filyanin. “Detection and localization of power quality disturbances based on Fast Fourier Transform and Discrete Fourier Transform”, *POWER ENGINEERING: Economics, Technique, Ecology*, № 2, pp. 110–119, 2018

УДК 681.121.84

**АНАЛІЗ ДОДАТКОВИХ СКЛАДОВИХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ РЕЗУЛЬТАТУ  
ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ ПЛИННИХ ЕНЕРГОНОСІЇВ ЗА МЕТОДОМ  
ЗМІННОГО ПЕРЕПАДУ ТИСКУ**

*Костик І. В., Матіко Ф. Д., Лум'яник О. Г.  
Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна  
E-mail: [ihor.v.kostyk@lpnu.ua](mailto:ihor.v.kostyk@lpnu.ua)*

Економне використання плинних енергоносіїв, основним з яких є природний газ, можливе тільки за умови налагодження точного вимірювання його витрати та кількості. Часто для вимірювання витрати плинних енергоносіїв застосовують витратоміри на основі звужувальних пристроїв (ЗП), зокрема, витратоміри зі стандартними діафрагмами, які характеризуються простотою конструкції, виготовлення, монтажу і можливістю їх застосування в трубопроводах з внутрішнім діаметром від 50 до 3000 мм.

Під час транспортування та розподілення природного газу, його параметри багаторазово змінюються, як внаслідок виконання над газом роботи, так і внаслідок зміни конструктивних параметрів чи умов прокладання газопроводів. У результаті цього в газопроводах виникають ділянки із змінною структурою потоку, зокрема виникають ділянки із нестационарним потоком, а також ділянки зі спотвореним профілем швидкості потоку, перед ЗП. Ці явища негативно впливають на точність вимірювання витрати газоподібного середовища, оскільки спричиняють виникнення додаткових складових невизначеності.

Авторами досліджено додаткові складові невизначеності вимірюваного значення витрати, які виникають внаслідок наявної нестационарності (пульсацій) потоку, виникнення явища резонансу у вимірювальному трубопроводі (ВТ) і пневматичних каналах вимірювальних перетворювачів тиску та перепаду тиску, а також додаткову складову невизначеності, що виникає внаслідок наявності перед діафрагмою виступів у внутрішній порожнині трубопроводу. Встановлено, що додаткові складові невизначеності, спричинені названими явищами та конструктивними особливостями ВТ, можуть сягати декількох відсотків.

Авторами також виконано систематизацію джерел додаткових складових невизначеності вимірюваного значення витрати та виконано аналіз науково-

технічних джерел щодо впливу на точність вимірювання витрати методом змінного перепаду тиску неоднорідної шорсткості внутрішньої поверхні ВТ перед діафрагмою, а також впливу скорочення довжин прямолінійних ділянок ВТ між діафрагмою та місцевими опорами різних видів. Однак наявні літературні джерела не містять матеріалів для формування чітких рекомендацій, які б дозволяли провести кількісне оцінювання таких додаткових складових невизначеності. У зв'язку з цим, особливої актуальності набувають дослідження, що дозволяють здійснити кількісне оцінювання невизначеностей, які б враховували вплив місцевих опорів та шорсткості внутрішньої поверхні ВТ на точність вимірювання витрати енергоносіїв методом змінного перепаду тиску.

*Ключові слова:* метод змінного перепаду тиску, нестационарний потік, невизначеність вимірюваного значення витрати, звужувальний пристрій.

УДК 681.121.833

## ЛАБОРАТОРНИЙ СТЕНД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВОДЯНОЇ ПАРИ НА ФУНКЦІОНУВАННЯ ЗАСОБІВ ТЕРМОАНЕМОМЕТРІЇ

*Ткачук В. В., Середюк О. Є.*

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,*

*Івано-Франківськ, Україна*

*E-mail: [mivt@nung.edu.ua](mailto:mivt@nung.edu.ua)*

Останнім часом відбувається розвиток різних методів вимірювання, в тому числі термоанемометричних, оскільки вони характеризуються відсутністю в конструкції рухомих механічних вузлів, достатньо широким діапазоном вимірювання, а також порівняно малою інерційністю, яка визначається насамперед геометричними розмірами і конструкцією термоанемометричного перетворювача.

Відомими є дослідження можливості їх застосування при обліку природного газу [1], на результат вимірювання витрати і об'єму якого впливає компонентний склад газу. Водночас на результати вимірювання може впливати наявність водяної пари. Виконані нами теоретичні дослідження по впливу водяної пари на зміну теплофізичних властивостей газу показують, що термоанемометричні перетворювачі реагують і на вологість, як одну із якісних характеристик газової суміші [2].

Однак необхідно провести експериментальні дослідження для підтвердження теоретично отриманих закономірностей, щодо впливу водяної пари на функціонування термоанемометричних перетворювачів. Це є метою даної публікації.

Авторами розроблено концепцію побудови лабораторного стенду для дослідження впливу вологи газового потоку на функціонування засобів термоанемометрії.

Лабораторний стенд містить джерело витрати робочого середовища, яке через регулятор витрати під'єднано до змішувача газових потоків. Другим каналом в цей змішувач поступає потік вологого повітря, який створюється генератором водяної пари і є регульованим по витраті на вході змішувача. Утворений на виході змішувача парогазовий потік проходить через пристрій регулювання його температури, в якому відбувається його нагрівання або охолодження. Вологоміром вимірюється вологість створеного потоку газу, який поступає до витратоміра газу, на виході якого монтується термоанемометричний вимірювальний засіб. У лабораторному стенді як досліджуваний засіб використаний цифровий анемометр моделі GM8903, який вимірює швидкість потоку та його температуру. Стенд також обладнаний засобами вимірювання тиску і температури на виході змішувача парогазової суміші та на виході витратоміра газу перед термоанемометричним вимірювальним засобом. Конструкція стенда передбачає використання джерела витрати як з повітряним робочим середовищем, так і з середовищем природного газу.

Розроблений лабораторний стенд відкриває можливість експериментального дослідження впливу вмісту водяної пари на зміну вихідного сигналу термоанемометричного засобу вимірювання при різних значеннях витрат газового потоку та їх температури.

*Ключові слова:* термоанемометричний перетворювач, газове середовище, витрата, вологість, температура.

#### **Література**

- [1] О. Є. Середюк, О. С. Криницький, та В. В. Ткачук, “Сучасні тенденції розвитку термоанемометрії у сфері обліку природного газу”, *Український метеорологічний журнал*, № 3А, с. 51–55, 2020.
- [2] В. В. Ткачук, О. Є. Середюк, Р. Т. Боднар та Л. В. Саманів, “Моделювання впливу компонентного складу та вологості природного газу на його теплофізичні характеристики”, *Перспективні технології та прилади: зб. наук. праць Луцького НТУ*, № 18, с. 129–137, 2021.

УДК 681.121.42

## **МОДЕЛІ, ЩО КЕРУЮТЬСЯ ДАНИМИ, І ПІДХІД МАШИННОГО НАВЧАННЯ У ВИТРАТОМЕТРІЇ**

*Гришанова І. А.*

*Національний технічний університет України*

*«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна*

*E-mail: [irgryshanova@gmail.com](mailto:irgryshanova@gmail.com)*

Модель, що керується даними (Data Driven Model), заснована на аналізі даних про конкретну систему. Основна концепція моделі, керованої даними, полягає у тому, щоб знайти відносини між змінними станами системи (вхідними та вихідними) без явного знання фізичної поведінки системи.

Прикладами керованих даними моделей, що застосовуються зокрема у витратометрії, є рейтингова крива, статистичні моделі (включаючи моделі лінійної регресії, авторегресійного ковзного середнього (ARMA) та авторегресійного інтегрованого ковзного середнього (ARIMA)) та моделі машинного навчання (Machine Learning). Теорія машинного навчання пов'язана з розпізнаванням образів та статистичним висновком, коли модель здатна вчитися покращувати виконання завдання на основі власного досвіду. Приклади моделей машинного навчання включають штучні нейронні мережі (ANN), машини опорних векторів (SVM) і векторні машини релевантності (RVM).

Моделювання складних фізичних систем, що описуються нелінійними рівняннями у частинних похідних, займає центральне місце в інженерних та фізичних науках із додатками, задіяними зокрема у гідродинаміці. Незважаючи на прямий зв'язок між рівняннями руху та основними законами фізики, неможливо здійснити пряме чисельне моделювання у масштабі, необхідному для вирішення цих важливих завдань. Ця фундаментальна проблема десятиліттями гальмувала прогрес у наукових обчисленнях і виникає через те, що точне моделювання має реалізовувати найдрібніші просторово-часові масштаби. На допомогу прийшли технології обчислювальної гідродинаміки (CFD), проте вони не змогли закрити собою всі проблеми. На сьогоднішній день використовуються витратоміри, які оптимізуються з точки зору обчислень, коли через цикли оптимізації проходить від кількох тисяч до сотень тисяч віртуальних проектів. Новим аспектом діджиталізації є «цифрова інженерія», де не лише чисельні моделі, а й моделі, що базуються на машинному навчанні, є частиною циклів оптимізації.

Ще одним цікавим аспектом у світлі викладеної тематики є залучення віртуальних витратомірів. Вони стають дедалі привабливішими методами оцінки однофазних і багатофазних потоків. Замість використання дорогих апаратних вимірювальних пристроїв для розрахунку витрати застосовують чисельні моделі з використанням легкодоступних польових вимірювань, таких як тиск і температура.

В даний час розроблено кілька методів реалізації віртуальних витратомірів та відповідне програмне забезпечення, які різняться за своєю методологічною природою та галузевим використанням.

Огляд показує, що віртуальні витратоміри є активною областю досліджень, яка потенційно може бути використана як автономне рішення для вимірювання або як резервне для фізичних витратомірів. Однак, щоб підвищити цінність технології віртуального витратоміра, майбутні дослідження мають бути зосереджені на розробці методів автоматичного налаштування та калібрування, що враховують зміни властивостей рідини та умов експлуатації. Крім того, потенціал методів машинного навчання у віртуальній витратометрії розкритий не повністю, і майбутні дослідження повинні бути зосереджені на розробці надійних методів, здатних кількісно надавати невизначеності оцінки витрати та



насамперед включати принципові моделі, які призведуть до більш точних та надійних гібридних систем віртуальної витратометрії. Нарешті, методи динамічної оцінки стану у поєднанні з першими принципами та моделями машинного навчання можуть ще більше підвищити точність віртуальних витратомірів, особливо в перехідних умовах, але реалізація цих методів скоріше за все буде складною, а також знадобляться подальші дослідження, щоб зробити їх надійними.

*Ключові слова:* Data Driven Model, Machine Learning, віртуальний витратомір.

УДК 681.121

## ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧІ ПОКАЗАНЬ ВІД ПРИЛАДІВ ОБЛІКУ

*Писарець А. В.*

*Національний технічний університет України*

*«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна*

*E-mail: [anna.v@ukr.net](mailto:anna.v@ukr.net)*

Технології «інтернету речей» (Internet of Things – IoT), що відкривають широкі можливості для підвищення ефективності економіки за рахунок автоматизації процесів у різних галузях діяльності людини, отримали широкого розповсюдження при видобутку енергоресурсів, у енергетиці, ЖКГ, освіті, медицині, промисловості, торгівлі, транспорті, логістиці, сфері обслуговування тощо. Їх застосовують у системах керування освітленням вулиць, для моніторингу параметрів атмосфери, контролю параметрів ґрунту тощо. Зокрема IoT набуває популярності в системах «розумного будинку» для забезпечення керування мікрокліматом, освітленням, системами безпеки та ін.

Структура таких систем окреслюється кінцевими пристроями (endpoint), шлюзами (gateway), мережевим сервером (network server) і серверами програмних застосунків (application server) [1 – 3].

Кінцеві пристрої (КП) призначені для здійснення функцій керування або вимірювання залежно від галузі застосування системи і містять необхідні вимірювальні перетворювачі та елементи керування.

Шлюзами є пристрої, що приймають дані від КП через радіоканал, збирають і передають їх до транзитної мережі.

У якості транзитної зазвичай застосовується мережа Інтернет через розповсюджені інтерфейси Ethernet або WiFi.

Мережевий сервер (МС) призначений для керування мережею: завдання розкладу опитувань, адаптація швидкості передачі, збереження і обробка даних, що приймаються, тощо.

У свою чергу, сервер програмних застосунків (СПЗ) слугує для зв'язку споживача та МС.

Завдяки високій завадостійкості, широкій зоні покриття, низькому енергоспоживанню, надійному захисту інформації, що передається, низьким витратам на розгортання та обслуговування мережі, технології IoT набувають застосування при створенні автоматизованих систем обліку споживання енергоресурсів (електричної енергії, води, кількості теплоти, газу тощо).

Створення автоматизованих систем передачі показань від приладів обліку енергоносіїв слугує зручним робочим інструментом для отримання оперативної та достовірної інформації, що забезпечує:

- автоматичне та фактично одночасне опитування усіх віддалених приладів;
- можливість аналізу поточних даних у вигляді таблиць, графіків, діаграм;
- виключення впливу «людського фактору» при зчитуванні та обробці даних.

Основні завдання таких систем охоплюють наступні аспекти: облік; контроль і реєстрацію даних; безпеку і надійність роботи системи; зручність і простоту застосування для кінцевого користувача.

При цьому облік передбачає:

- вимірювання, комерційний облік і контроль споживання енергоносіїв;
- дистанційне керування об'єктами у реальному часі.

Контроль і реєстрацію даних полягають у:

- моніторингу стану елементів системи (окремих вузлів обліку);
- періодичному збиранні даних з віддалених приладів і доставці їх на центральний вузол обліку;
- виявленні, сигналізації та реєстрації аварійних ситуацій (незначні витоки, суттєві пошкодження трубопроводу, спроби зміни напрямку потоку, вплив зовнішнього магнітного поля, перевищення меж допустимих витрат енергоносіїв тощо);

Безпека і надійність роботи системи окреслюються:

- апаратною надійністю роботи усіх вузлів системи;
- забезпеченням надійного захисту даних, що передаються, шифруванням на всіх етапах їх проходження від КП до СПЗ;
- надійним і тривалим збереженням даних про роботу системи та усіх її складових;
- тривалим терміном експлуатації КП без заміни елементу живлення.

Завдання зручності і простоти для користувача охоплюють:

- простоту налаштування обладнання на об'єкті;
- швидку зміну графічного інтерфейсу залежно від завдань користувача;
- можливість одночасного online-контролю всіх вузлів обліку, що відповідають умовам запиту.

Оскільки особливістю систем обліку є велика кількість одночасно підключених віддалених приладів, то ефективність їх роботи визначається рівнем застосовуваних технологій збору даних.

Технологія IoT призначена для обслуговування значної кількості автономних пристроїв, які рідко активуються і мають невеликі обсяги даних,



що передаються, за невеликих швидкостей.

КПІ в автоматизованих системах передачі показань від приладів обліку енергоносіїв є лічильники енергоресурсів із вбудованим або зовнішнім радіомодулем відповідної технології IoT. Інтегровані в лічильник радіомодулі активно почали з'являтися на ринку лише останнім часом, проте найбільш розповсюджені є лічильники, оснащені провідним інтерфейсом (імпульсним, RS-232, RS-485, M-Bus тощо) або радіоінтерфейсом малого радіуса дії – Wireless M-Bus [4 – 7]. Зовнішній радіомодуль в такому випадку має бути оснащений відповідним вхідним інтерфейсом для безпосереднього під'єднання до лічильника та змонтований поряд із ним.

У доповіді наведено особливості роботи елементів системи передачі показань у випадку застосування КПІ з вбудованими та зовнішніми радіомодулями.

Впровадження автоматизованих систем передачі показань від приладів обліку із застосуванням технології IoT відкриває широкі можливості з обробки і аналізу даних, у першу чергу для підприємств, що здійснюють постачання енергоносіїв. При цьому кінцевий споживач їх послуг позбувається візитів інспектора або потреби вносити покази вручну до відповідної клієнтської бази, оскільки інформація там з'являється автоматично. Суттєвим недоліком таких систем є вартість кінцевого пристрою (або оснащення його складовими, що дозволяють приєднатися до системи).

У реаліях нашої країни поки прилад обліку залишається власністю кінцевого споживача, а не організації-постачальника, основним критерієм вибору приладу обліку залишається його вартість, що й обумовлює перспективи впровадження розглянутих систем.

*Ключові слова:* прилад обліку; показання; передача показань; технології передачі даних; автоматизована система.

#### **Література**

- [1] Standardization of NB-IOT completed. [Online]. Available at: <https://www.3gpp.org/news-events/1785-nb-iot-complete>
- [2] LoRaWAN® Specification v1.1. [Online]. Available at: [https://loralliance.org/resource\\_hub/lorawan-specification-v1-1/](https://loralliance.org/resource_hub/lorawan-specification-v1-1/)
- [3] LoRaWAN® Regional Parameters v1.1rA. [Online]. Available at: [https://loralliance.org/resource\\_hub/lorawan-regional-parameters-v1-1ra/](https://loralliance.org/resource_hub/lorawan-regional-parameters-v1-1ra/)
- [4] А. В. Писарець, Є. В. Писарець, “Автоматизовані системи передачі показань від приладів обліку енергоносіїв. Частина 1”, *Вісник КПІ. Серія приладобудування*, Вип. 59(1), с. 95 – 101, 2020. DOI: [10.20535/1970.59\(1\).2020.210037](https://doi.org/10.20535/1970.59(1).2020.210037)
- [5] А. В. Писарець, Є. В. Писарець, “Автоматизовані системи передачі показань від приладів обліку енергоносіїв. Частина 2”, *Вісник КПІ. Серія приладобудування*, Вип. 60(2), с. 79 – 86, 2020. DOI: [10.20535/1970.60\(2\).2020.221452](https://doi.org/10.20535/1970.60(2).2020.221452)
- [6] EN 13757-4:2010 Communication systems for meters and remote reading of meters. Part 4. Wireless meter readout (Radio meter reading for operation in the 868 MHz to 870MHz SRD band).
- [7] EN 13757-5:2010 Communication systems for meters and remote reading of meters. Part 5. Wireless relaying.

УДК 621.311.001.57(063)

## СУЧАСНІ ПИТАННЯ ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ

*Закладний О. О.*

*Національний технічний університет України*

*«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна*

*E-mail: [zakladniy@gmail.com](mailto:zakladniy@gmail.com)*

В глобальній економіці відбуваються кардинальні перетворення – замість володіння енергетичними ресурсами, провідне місце займають інноваційні технології ефективного використання енергії та відновлювані джерела енергії. Змінилась модель сучасного світу – від споживання до сталого розвитку. В цих обставинах збільшується вага енергетичного менеджменту як основного засобу досягнення високого рівня енергоефективності.

У міжнародному стандарті ISO 50001:2018 [1] встановлено правило управління якістю – цикл Шухарта-Демінга - «Plan-Do-Check-Act» («планування, дія, перевірка, коригування»), що дозволяє ефективно управляти споживанням енергії на комплексних засадах та постійно покращувати роботу з енергетичного менеджменту. Використання методів та засобів контролю енергоефективності дозволить впровадити сучасні інформаційні smart-технології у систему енергетичного менеджменту підприємства та автоматизувати виконання таких складових стандарту ISO 50001:2018, як визначення базової лінії, показників енергетичної ефективності, здійснення моніторингу, діагностування та необхідних вимірювань для визначення якісного та кількісного рівня енергоефективності, проведення енергетичного аналізу, планування, проектування та формування протоколів звітів тощо.

Найбільшу вагу в економічному використанні електричної енергії організацією має енергоефективність електромеханічної системи (ЕМС) як головного споживача. У проектуванні технологічного процесу, під час вибору ЕМС зазвичай не приділяється уваги її енергоефективності протягом усього життєвого циклу. Мусять розглядатися не просто режими роботи ЕМС, і не тільки її робочі параметри та енергоефективність на даний момент – необхідно забезпечити економічність за весь життєвий цикл.

Експлуатація ЕМС має такі особливості: технічний стан і надійність їх роботи спричиняють критичний вплив на рівень виробничих ризиків (простої обладнання тощо); електродвигуни використовуються не в номінальних режимах роботи; фізична зношеність - 60-90 % і неефективність технологічного обладнання; високий рівень пошкоджуваності (підтримання працездатності електроприводів забезпечується за рахунок ремонтів); витрати на технічне обслуговування і ремонт становлять значну частку загальної структури витрат; висока вартість нового устаткування, тривалі терміни пусконаладжувальних робіт; завищена встановлена потужність двигунів. Ці обставини призводять до

зниження ефективності електромеханічного перетворення енергії та коефіцієнта корисної дії.

Досвід експлуатації промислових установок вказує на те, що енергоефективність ЕМС залежить від різноманітних чинників. Серед них найбільший вплив мають такі: якість напруги живлення; режим навантаження; умови експлуатації; якість виготовлення, технічного обслуговування і ремонтів; якість активних та конструкційних матеріалів; відповідність застосування виконанню.

Енергоефективність ЕМС на сьогодні оцінюється нерегулярно, наприклад, протягом здійснення енергетичного обстеження. Тому актуальним завданням є безперервний постійний контроль економичності споживання електроенергії ЕМС як складова системи управління енергоефективністю на підприємстві, відповідно до вимог ISO 50001:2018 [1].

Дотепер в енергетичному менеджменті деталізоване управління використанням енергії не розповсюджувалось на окремого технологічного споживача, його режими роботи. В першу чергу розглядалось підприємство в цілому або окремий технологічний процес, цех. Контроль конкретного устаткування, наприклад, ЕМС, не був регулярним і безперервним та здійснювався вже за фактом, а не в online, коли неефективне споживання електричної енергії мало місце протягом значущого інтервалу часу.

Останнім часом енергетичний менеджмент набув новітніх властивостей, а саме, – він став розповсюджуватися на індивідуального споживача електричної енергії. Це є новим принципом у методології енергетичного менеджменту – впроваджується високий ступінь деталізації, контроль енергетичної ефективності ЕМС і, відповідно, – швидка реакція на зниження рівня енергетичної ефективності. Ці зміни пов'язані з постійним подорожчанням електричної енергії, коли основна складова вартості життєвого циклу ЕМС – витрати на електричну енергію – становлять в середньому 85 % від усіх витрат за термін експлуатації.

В результаті багатьох чинників, зокрема таких, як робота ЕМС з недовантаженням, неякісна мережа живлення, недостатнє технічне обслуговування, нераціональне керування технологічним процесом, впливу випадкових факторів – реальне споживання енергії завжди відрізнятиметься від ідеального. Контроль та оцінка вказаних розходжень між ідеальним та фактичним споживанням енергії і є головним завданням енергетичного менеджменту ЕМС. Сам собою контроль не зекономить енергію, але з його допомогою енергетичний менеджер може визначити, де і коли слід вжити коригувальних дій для усунення неефективного її використання. Такий підхід дозволяє оцінювати стан ЕМС на всіх етапах її життєвого циклу від введення в експлуатацію до списання.

У відповідності до світових стандартів, європейських нормативних актів та довідкової літератури стосовно підвищення рівня енергетичної ефективності, відоме правило енергоменеджменту – «Не вмієш вимірювати – не зможеш

управляти» означає, що оцінювання енергетичних показників є фундаментом енергетичного менеджменту. Таким чином, підходи, які забезпечують контроль області високої енергетичної ефективності споживачів за рахунок моніторингу енергетичних показників, є необхідною складовою модерної системи енергетичного менеджменту. Такі засоби, розроблені у відповідності до принципів сучасних розумних технологій, дозволять впровадити на підприємстві систему енергоменеджменту відповідно до міжнародного стандарту ISO 50001:2018 [1].

Для визначення енергоефективності ЕМС застосовуються енергетичні показники – енергія, яка споживається з мережі за цикл роботи, питомі витрати енергії на одиницю продукції, сумарні втрати енергії. В деяких випадках застосовується безпосередньо критерій максимального ККД, оптимального імпедансу тощо. Однак не існує загально прийнятого критерію енергоефективної роботи ЕМС .

Оцінювання енергоефективності ЕМС є комплексним завданням з великою кількістю характеристик і факторів, які на нього впливають (навантаження, якість напруги живлення, технічний стан тощо). Основним показником ефективності роботи в енергетичному аспекті вважається ККД системи в цілому. Однак для комплексної оцінки енергоефективності важливі також коефіцієнт потужності, електроенергія, яка споживається протягом життєвого циклу і значення складових втрат.

Процес ефективного використання (перетворення) енергії ЕМС визначається двома базовими складниками: енергоспоживання та енерговикористання (перетворення) спожитої енергії, що відповідає принципіальному представленню параметру «рівень енергоефективності» у міжнародному стандарті ISO 50001:2018.

Автором пропонується використання критеріїв енергоефективності – ККД та коефіцієнта потужності для визначення енергетичного і технічного станів ЕМС залежно від режиму навантаження та якості електричної енергії. Оцінювання енергетичного стану ЕМС відбувається порівнянням фактичних показників з їх еталонними значеннями, тобто шляхом аналізування та порівняння параметрів енергетичної ефективності з енергетичною базовою лінією. У відповідності до ISO 50001:2018 цей процес є частиною енергоаналізу – оцінювання рівня енергоефективності на основі вимірних показників та довідкової (паспортної) інформації, що дозволить визначити заходи для його покращення. Методика контролю енергоефективності повністю відповідає процедурі енергоаналізу, яка регламентована стандартом ISO 50001:2018.

*Ключові слова:* енергоефективність, електропривод, енергетичний менеджмент, діагностика, технічний стан, smart-технології.

#### **Література**

[1] EN ISO 50001: 2018. Energy management systems - Requirements with guidance for use.