

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ РІВНЯ  
ГАРМОНІЙНИХ СКЛАДОВИХ СИГНАЛУ НАПРУГИ ПРОМИСЛОВОЇ МЕРЕЖІ  
КРАСНОГРАДСЬКОГО РАЙОНУ ХАРКІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ**

Гриб О. Г., Жданов Р. В., Гапон Д. А.

*Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"*

*У статті наведено результати експериментальних замірів рівня гармонік в сигналі напруги методами на основі дискретного перетворення Фур'є та розробленим методом на базі методу найменших квадратів.*

**Постановка проблеми.** На кафедрі автоматизації енергосистем НТУ "ХПІ" був розроблений альтернативний метод вимірювання спектрального складу сигналів напруги та струму електричної мережі, головною перевагою якого є здатність працювати зі сталою частотою квантування, що виключає потребу у синхронізації періоду дискретизації з періодом основної гармоніки. В основі нового методу лежить метод найменших квадратів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Згідно [1-3] існуючі стандарти якості електричної енергії для вимірювання рівнів гармонійних складових основним методом виміру рівня гармонійних складових визначають дискретне перетворення Фур'є (ДПФ). Але таке перетворення чутливе до неkratності періоду квантування та періоду основної гармонійної складової. Тому засоби вимірювання повинні включати засоби синхронізації, що ускладнює апаратну та програмну частину, та, у деяких випадках, призводить до появи додаткових помилок вимірювання.

**Мета статті.** Експериментальне дослідження було виконано з метою порівняння ефективності розробленого методу вимірювання на базі методу найменших квадратів (НК) та методу на базі ДПФ.

**Основна частина дослідження.** В якості першого промислового об'єкта була обрана млин, розташована в м Красноград. Живлення здійснюється від двохтрансформаторної підстанції, потужності трансформаторів якої складають 400 і 530 кВА. До шин 0,4 кВ підключені пристрої компенсації реактивної потужності. Основна частка споживаної потужності (до 90%) припадає на асинхронні двигуни. На рис. 1 наведені спектральні оцінки отриманого сигналу напруги, виконані двома різними методами.

Узагальненим критерієм наявності гармонік є сумарний коефіцієнт гармонійних складових (total harmonic distortion, THD), якій дорівнює відношенню середньоквадратичного значення суми всіх гармонійних складових  $U_{H,k}$  до порядку  $h_{\max}$  до середньоквадратичного значенням основної складової  $U_{H,1}$ :

$$THD_U = \sqrt{\sum_{k=2}^{h_{\max}} \left( \frac{U_{H,k}}{U_{H,1}} \right)^2}, \quad (1)$$

де  $h_{\max}$  приймають рівним 40, якщо інше значення не встановлено в міжнародних стандартах, які визначають норми емісії гармонік.

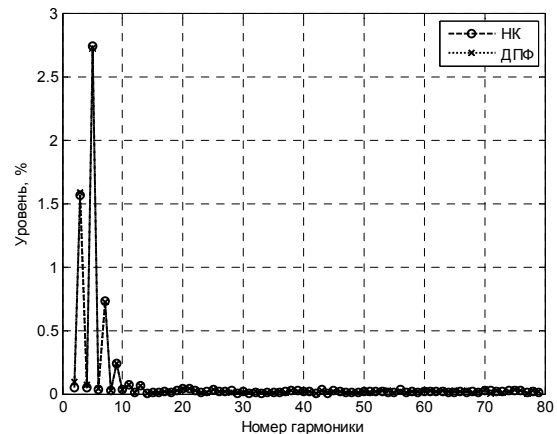


Рисунок 1 – Спектральний склад

В даному випадку враховувалися 79 гармонік, тобто  $h_{\max} = 79$ . В ГОСТ 13109 застосований термін "коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої напруги" для позначення цієї величини.

Сумарний коефіцієнт гармонійних складових наведених на рис. 1 для методу НК становить  $THD_U^{НК} = 3.2670\%$ , а для методу ДПФ  $THD_U^{ДПФ} = 3.2682\%$ . На рис. 2 наведено фрагмент спектра з 2-й по 25-ю гармонійну складову.

Найбільші рівні мають 5, 3, 7 і 9 складові в порядку убутання їх амплітуд.

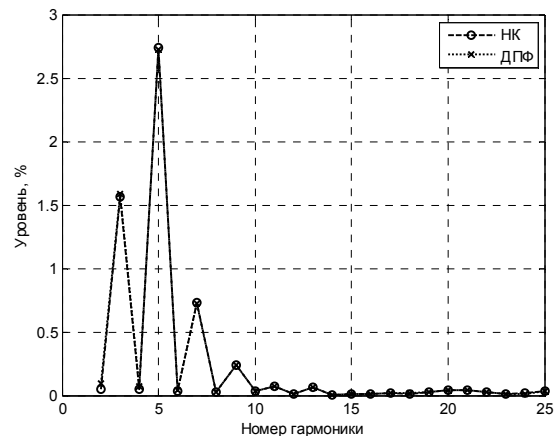


Рисунок 2 – Фрагмент спектра

На рис. 3 наведено графік зміни амплітуд 3, 5 і 7-й гармонік отриманих методами НК і ДПФ у відсотках від номінального значення. Середньоквадратичні рівні зазначених гармонійних складових за 20 секунд рівні відповідно:  $U_3^{rms} = 1.5656\%$ ,  $U_5^{rms} = 2.9966\%$ ,  $U_7^{rms} = 0.6317\%$ . Для оцінки ступеня розбіжності отриманих результатів отримано значення максимальних різниць отриманих рівнів  $\Delta U_3^{max}$ ,  $\Delta U_5^{max}$ ,  $\Delta U_7^{max}$  і середньоквадратичні значення цих різниць  $\Delta U_3^{rms}$ ,  $\Delta U_5^{rms}$ ,  $\Delta U_7^{rms}$ . Значення становлять відповідно  $\Delta U_3^{max} = 0.0449\%$ ,  $\Delta U_5^{max} = 0.0373\%$ ,  $\Delta U_7^{max} = 0.0197\%$ , відповідно  $\Delta U_3^{rms} = 0.0243\%$ ,  $\Delta U_5^{rms} = 0.0150\%$ ,  $\Delta U_7^{rms} = 0.0098\%$ .

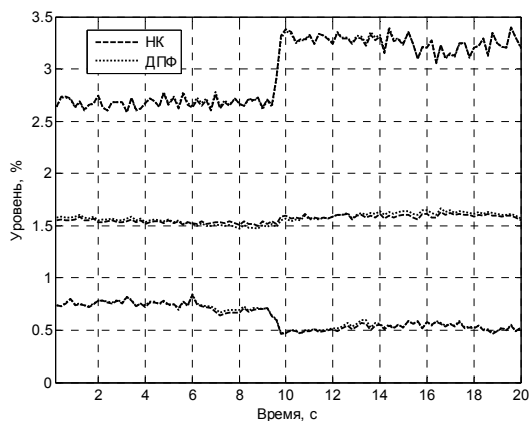


Рисунок 3 – Рівні 3-й, 5-й і 7-й гармонік

Аналогічні результати дослідження якості електричної енергії були отримані на тому ж об'єкті але в фазах В і С. В якості наступного промислового об'єкта була обрана промислова база, розташована в Красноградському районі, с Наталине. Живлення здійснюється від двохтрансформаторної підстанції, потужності трансформаторів якої складають 400 і 630 кВА. Структура споживачів змішана, присутня як рухова (АТ) так і інші види навантаження (адмінбудівля, печі). На рис. 4 наведені спектральні оцінки отриманого сигналу напруги, виконані двома різними методами.

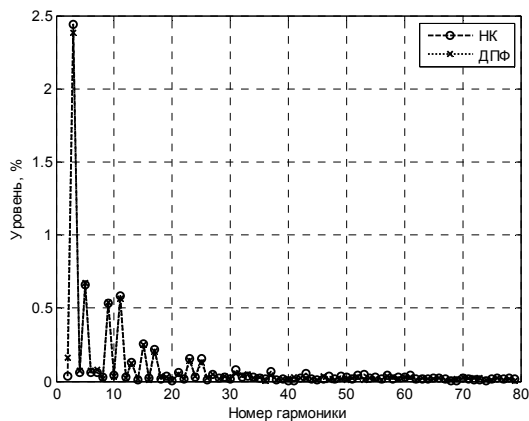


Рисунок 4 – Спектральний склад

Коефіцієнти гармонійних спотворень для методу НК становить  $THD_U^{НК} = 2.6545\%$ , для методу ДПФ  $THD_U^{ДПФ} = 2.6026\%$ . На рис. 5 наведено фрагмент спектра з 2-й по 25-ю гармонійну складову. Найбільші рівні мають 3, 5, 11 і 9 складові в порядку убавання їх амплітуд.

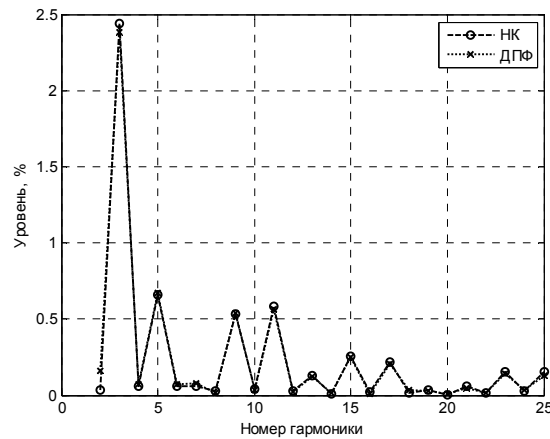


Рисунок 5 – Фрагмент спектра

Наступним об'єктом аналізу були очисні споруди в м. Красноград. Живлення здійснюється від однострансформаторної підстанції, потужністю 400 кВА. Основна частка навантаження (близько 70%) припадає на асинхронні двигуни, але маєтья також синхронна машина 100 кВт. На рис. 6 наведено спектральні оцінки отриманого сигналу напруги виконані двома різними методами.

Сумарні коефіцієнти гармонійних складових для методу НК становить  $THD_U^{НК} = 1.7904\%$ , для методу ДПФ  $THD_U^{ДПФ} = 1.7956\%$ . Найбільші рівні мають 3, 5, 7, 11 і 13 складові в порядку убавання їх амплітуд.

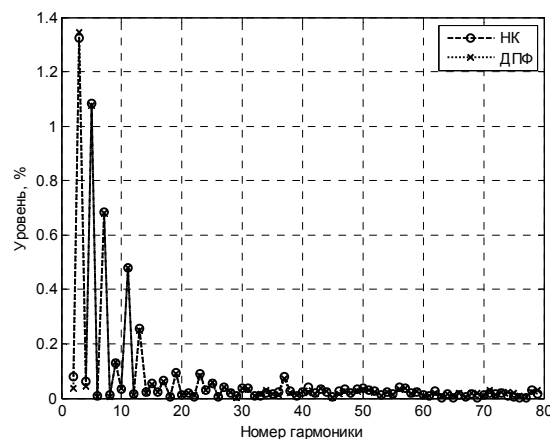


Рисунок 6 – Спектральний склад

Досить цікаві результати були отримані при виконанні замірів якості електричної енергії поблизу бурової установки, розташованої на Кобзівському родовищі в Краснодарському районі. Форма напруги

показана на рис. 7 Живлення здійснюється від одно-трансформаторної підстанції, потужністю 160 кВА. На рис. 8 наведено фрагмент спектральних оцінок отриманого сигналу напруги виконані двома різними методами.

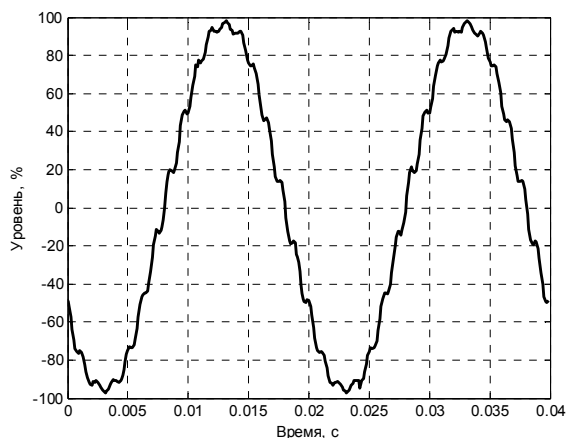


Рисунок 7 – Форма напруги

На рисунку 8 наведено фрагмент спектра з 2-й по 25-ю гармонійну складову. Найбільші рівні мають 17, 19, 3 і 5 складові в порядку убудання їх амплітуд. Сумарні коефіцієнти гармонійних складових наведених для методу НК становить  $THD_U^{НК} = 5.1853\%$ , а для методу ДПФ  $THD_U^{ДПФ} = 4.9831\%$ .

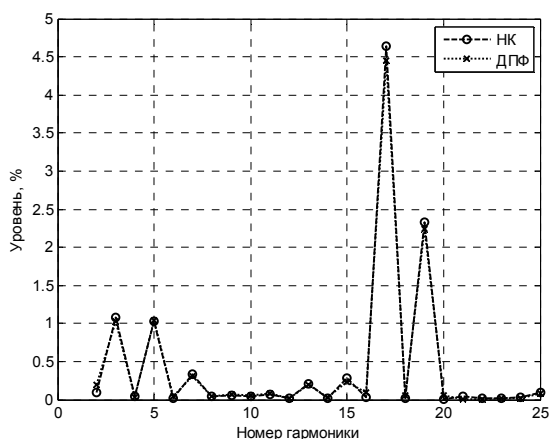


Рисунок 8 – Фрагмент спектра

Джерелом спотворень є частотний привід двигуна, з активним коректором коефіцієнта потужності, застосований на буровій установці. Останнім часом подібні пристрої все частіше знаходять застосування на напружених 3-11 кВ, при цьому, згідно з більшістю публікацій, сприяють поліпшенню показників електроспоживання.

Однак, на рисунку можна побачити підвищений рівень 17 (4,62%) і 19 (2,31%) гармонік, а також наявність ще більш високочастотних складових, таких як 73 гармоніка з рівнем 0,3%. Було зроблено деякі припущення, щодо причин появи гармонійних складових

високих порядків. Така картина може бути обумовлена відмовою частини вентилів у складі перетворювача або резонансними явищами.

**Висновки.** За результатами порівняльного аналізу можна говорити про високу ефективність розробленого методу вимірювання рівню гармонійних складових. Відмінності між результатами в більшості випадків не перевищували 0,1%. Різниця отриманих результатів зростала зі збільшенням номеру складової, що, в першу чергу, викликано неможливістю забезпечити ідеальну синхронізацію для методу ДПФ. Відсутність потреби у синхронізації періоду квантування з періодом основної гармоніки спрощує схему пристрою та відкриває широкі можливості для постаналізу отриманих даних.

#### Список використаних джерел

1. Контроль потребления электроэнергии с учетом ее качества / О. Г. Гриб, В. И. Васильченко, Г. А. Сендерович, П. Г. Щербакова и др.; под ред. О.Г. Гриба. – Харьков: ХНУРЭ, 2010. – 444с.
2. Wang, M.; Rowe, G. I.; Manishev, A. V. “Classification of power quality events using optimal time-frequency representations, theory and application” IEEE Trans. Power Del. 2004, vol. 19, no. 3, pp. 1496–1503
3. Gargoom, A. M.; Ertugrul, N.; Soong, W. L. “A comparative study on effective signal processing tools for power quality monitoring” Power Electronics and Applications, European Conference, 2005, pp.10-20.

#### Аннотация

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ ГАРМОНИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ СИГНАЛА НАПРЯЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ СЕТИ КРАСНОГРАДСКОГО РАЙОНА ХАРЬКОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Гриб О. Г., Жданов Р. В., Гапон Д. А.

*В статье приведены результаты экспериментальных замеров уровня гармоник в сигнале напряжения методами на основе дискретного преобразования Фурье и разработанным методом на базе метода наименьших квадратов.*

#### Abstract

### EXPERIMENTAL COMPARISON OF HARMONIC DISTORTION MEASURING METHODS OF THE VOLTAGE IN KHARKOV REGION INDUSTRIAL NETWORK

O. Grib, R. Zhdanov, D. Gapon

*The results of experimental measurements of harmonics in the voltage signal using methods based on the discrete Fourier transform and a method based on the method of least squares presented in this paper.*