



23.03.2014р. сталися аварійні вимикання ліній зв'язку Кримської ЕЕС з ОЕС і відповідні режими (перетоки потужності і напруга у вузлах, з яких Кримська ЕЕС одержує потужність) зареєстровані МП реєстраторами. На рис.2 показаний графік зміни активної потужності по окремих лініях зв'язку до і після аварійного вимикання лінії НК-Остр о 12.35. а в таб.1 – середні значення і стандартне відхилення потужностей цих ліній і сумарної потужності по перетину Крим-ОЕС. Значення напруги на шинах 330кВ ПС Ново-Каховська і ПС Мелітополь до/після вимикання лінії НК-Остр відповідно становило: 345,9/343,2 та 346,8/345,7 кВ.

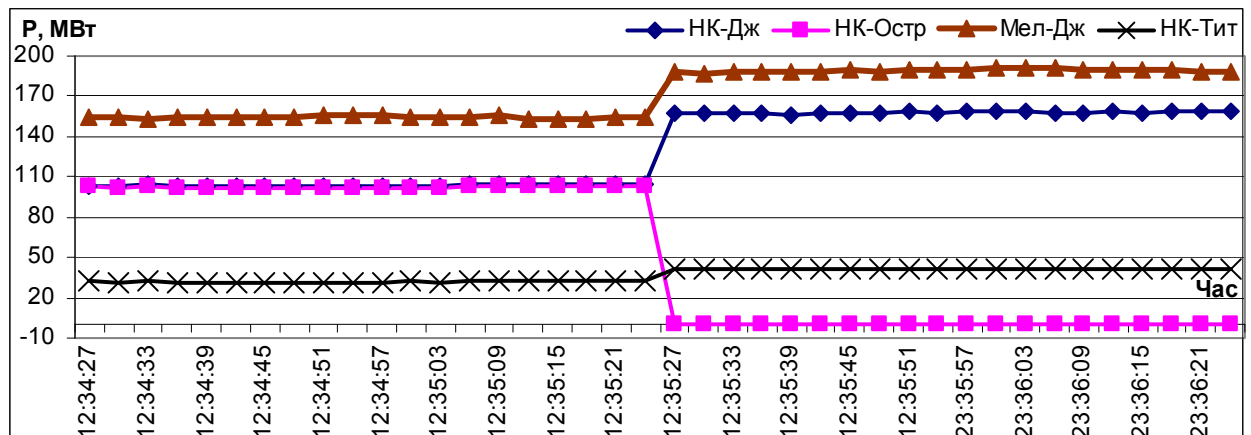


Рис.2. Графік зміни активної потужності по окремих лініях зв'язку

Табл.1. Середні значення і стандартне відхилення потужностей

	НК-Дж, P	НК-Остр, P	НК-Тит, P	Мел-Дж, P	Заг. переток
До відключення, ср. знач	103,6	102,3	31,8	153,6	391,4
До відключення, ст. відх	0,6	0,6	0,2	1,0	1,4
Після відключення, ср. знач	158,2	0,2	41,7	189,8	389,9
Після відключення, ст. відх	0,5	0,1	0,2	1,0	1,6

Відтворення цих режимів розрахунками усталеного і післяаварійного режимів здійснювалося з використанням СХН, параметри яких певним способом змінювалися. Для СХН використовується [1] квадратична апроксимація залежності активної потужності навантаження у вузлі розрахункової схеми від напруги  $P_i = f(U)$ :

$$P_i = P_{i0} (a_0 + a_1 U_* + a_2 U_*^2),$$

де  $U_*$  - напруга у відносних одиницях, до напруги у базовому режимі  $U_0$ ,

$P_{i0}$  - активна потужність навантаження у базовому режимі,

$$a_0 + a_1 + a_2 = 1.$$

Для підбору коефіцієнтів СХН, які дозволяють найбільше наблизитися до зареєстрованих даних, використовуємо такий прийом: визначаємо для типової характеристики крутизну  $k_i = dP_i / dU$  для  $U = U_0$ , а також  $U_{\min}$ , де  $P_i$  має мінімум, а потім, змінюючи  $k_i$  і  $U_{\min}$ , знаходимо коефіцієнти  $a$

$$k_i = a_1 + 2a_2 \cdot 1; \quad (1)$$

$$a_1 + 2a_2 \cdot U_{\min} = 0, \text{ звідки } a_1 = -2a_2 U_{\min}.$$

Після підстановки в (1) маємо  $k_i = -2a_2 U_{\min} + 2a_2$ , звідки

$$a_2 = \frac{k_i}{2(1 - U_{\min})}.$$

Для типової СХН, яка широко використовується в розрахунках усталених режимів енергосистем, зокрема в програмному комплексі RASTR [2]  $a_1 = -0.3$ ,  $a_2 = 0.47$  і  $k_i = 0.64$ ,  $U_{\min} = 0.32$ .

Для інтегрального порівняння натурних і розрахункових даних використаємо співвідношення величини зміни загального перетоку активної потужності  $dP$  з ОЕС України до

Кримської ЕЕС до величини зміни напруги на шинах ПС Ново-Каховська, з якої Кримська ЕЕС одержує значну частину потужності,  $dU$  внаслідок аварійного вимикання однієї з ліній зв'язку. Послідовною варіацією  $k_i$  і  $U_{\min}$  і відповідно  $a_2$  і  $a_1$  знайдені оптимальні значення  $a_2=0.92$ ,  $a_1 = -0.37$  для модифікованої СХН. В табл.2 наведені результати розрахунків.

Табл.2. Результати розрахунку режимів для різних СХН

	$U_{\text{НК}}$ до вимикання	$U_{\text{НК}}$ після вимикання	$dU$ , кВ	$P_{\text{перетину}}$ до вимикання	$P_{\text{перетину}}$ після вимикання	$dP$ , МВт	$dP/dU$ МВт/кВ
Натурна реєстрація	345.9	343.2	-2.7	392.5	388.8	-3.7	1.37
Типова СХН	344.9	341.6	-3.3	388.0	386.0	-2.0	0.61
Модифікована СХН	344.8	341.6	-3.2	397.4	393.0	-4.4	1.38

Таким чином, модифікація параметрів СХН з використанням натурно зареєстрованої інформації дозволила суттєво покращити результати розрахунків після аварійних режимів Кримської ЕЕС.

Мікропроцесорна реєстрація параметрів електричного режиму ЕЕС створює також можливість глибокого статистичного аналізу і визначення на цій основі амплітуди нерегулярних коливань активної потужності у перетині енергосистеми, що є важливим для розрахунку коефіцієнта запасу стійкості у перетині.

На тому ж вихідному матеріалі, який використовувався для визначення параметрів СХН, з використанням пакету Statistica знайдені середні значення активної потужності по лініях і загального перетоку по перетину і їхні стандартні відхилення, а також гістограми стохастичної складової перетоку на двоххвилинних інтервалах до і після аварійного вимикання лінії. Графічний аналіз наведених на рис. 3,4 гістограм, а також перевірка за критерієм  $\chi^2$  Пірсона [3] показує невідповідність закону розподілу стохастичної складової загального перетоку нормальному або унімодальному.

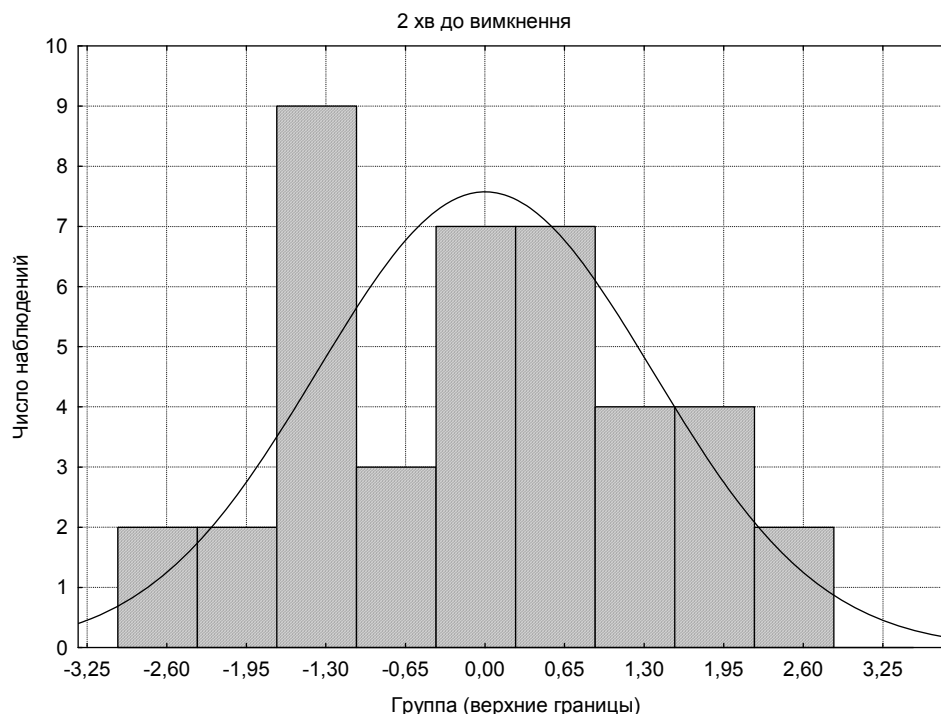


Рис. 3. Гістограма стохастичної складової перетоку на двоххвилинному інтервалі до аварійного вимикання лінії

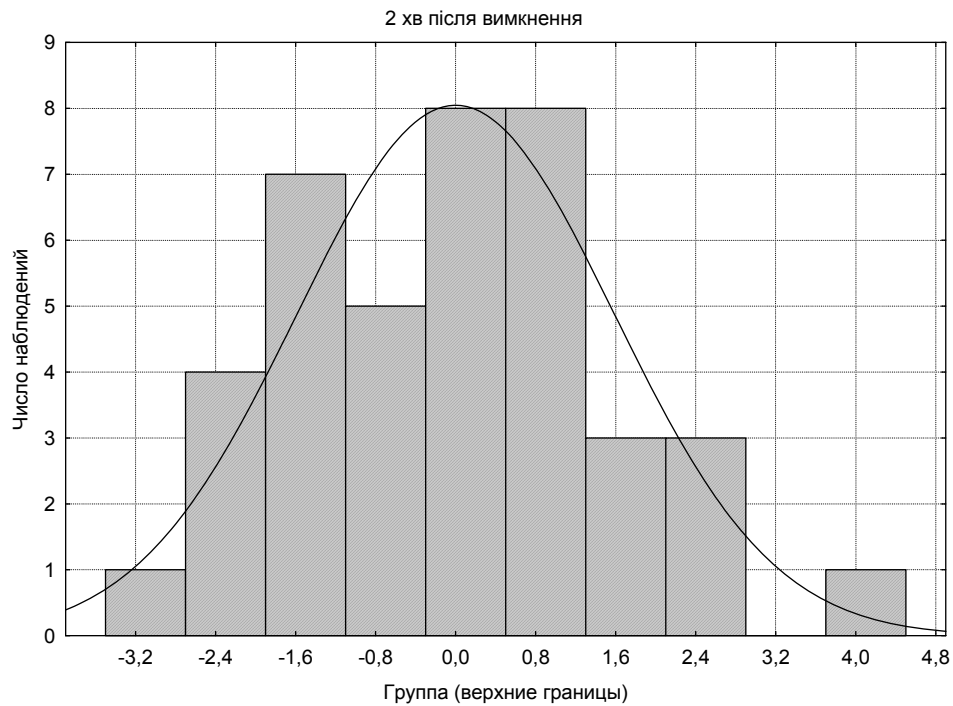


Рис. 4. Гістограма стохастичної складової перетоку на двоххвилинному інтервалі після аварійного вимкнення лінії

Згідно з критерієм Чебишева [4] довірчий інтервал для випадкової величини з довільним законом розподілу і ймовірності  $P=0,95$  становить  $\pm 4.24\sigma$ . Таким чином, для даного випадку амплітуда нерегулярних коливань у середньому становить  $1.5 \cdot 4.24=6.4$  МВт, або 1.6%.

Був виконаний також статистичний аналіз перетоку активної потужності по лінії 750 кВ Хмельницька АЕС – Київська-750. Результати первинної реєстрації, здійсненої АПК «Регіна» для десятихвилинного інтервалу 9.10 ... 9.20 11 листопада 2013 р. наведені на рис 5.

#### Перетік активної потужності по лінії 750 кВ ХАЕС-Київська

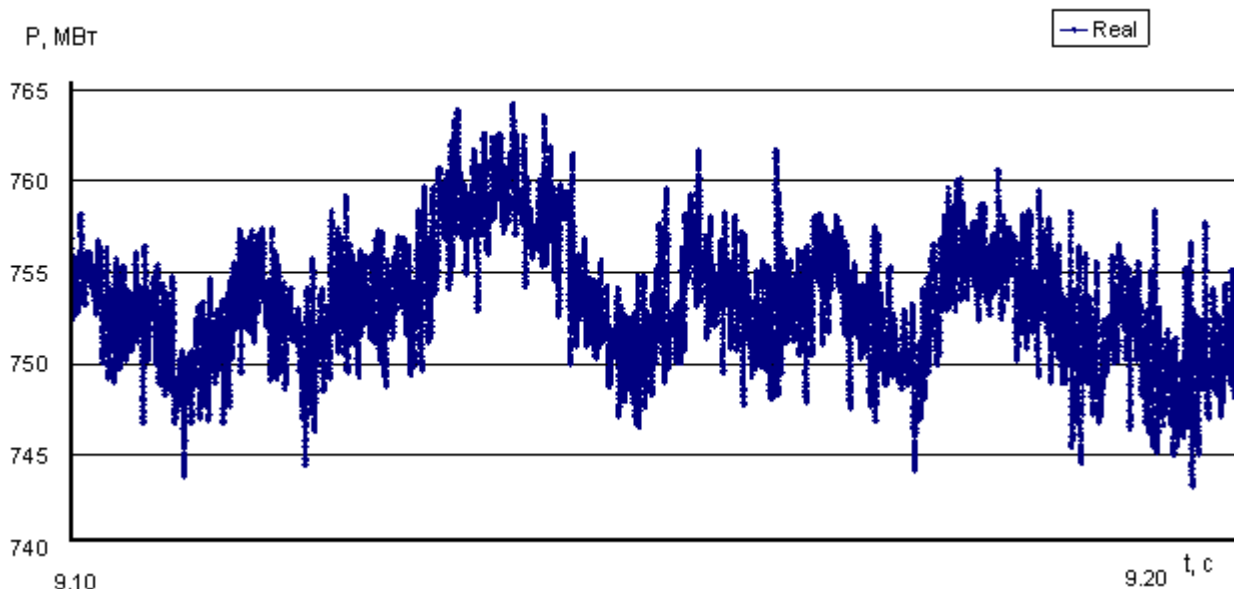


Рис. 5. Графік перетоку активної потужності по лінії 750 кВ Хмельницька АЕС – Київська-750

Через великий об'єм зареєстрованої інформації (50 точок на секунду, загалом 30000 значень перетоку) не вдалось обчислити критерій Пірсона для перевірки нормального закону, однак, візуальний аналіз гістограми відхилень  $dP$  активної потужності перетоку від середнього значення, наведеної на рис. 6, показує достатню близькість до нормального закону. Результати аналізу наведені у табл.3.

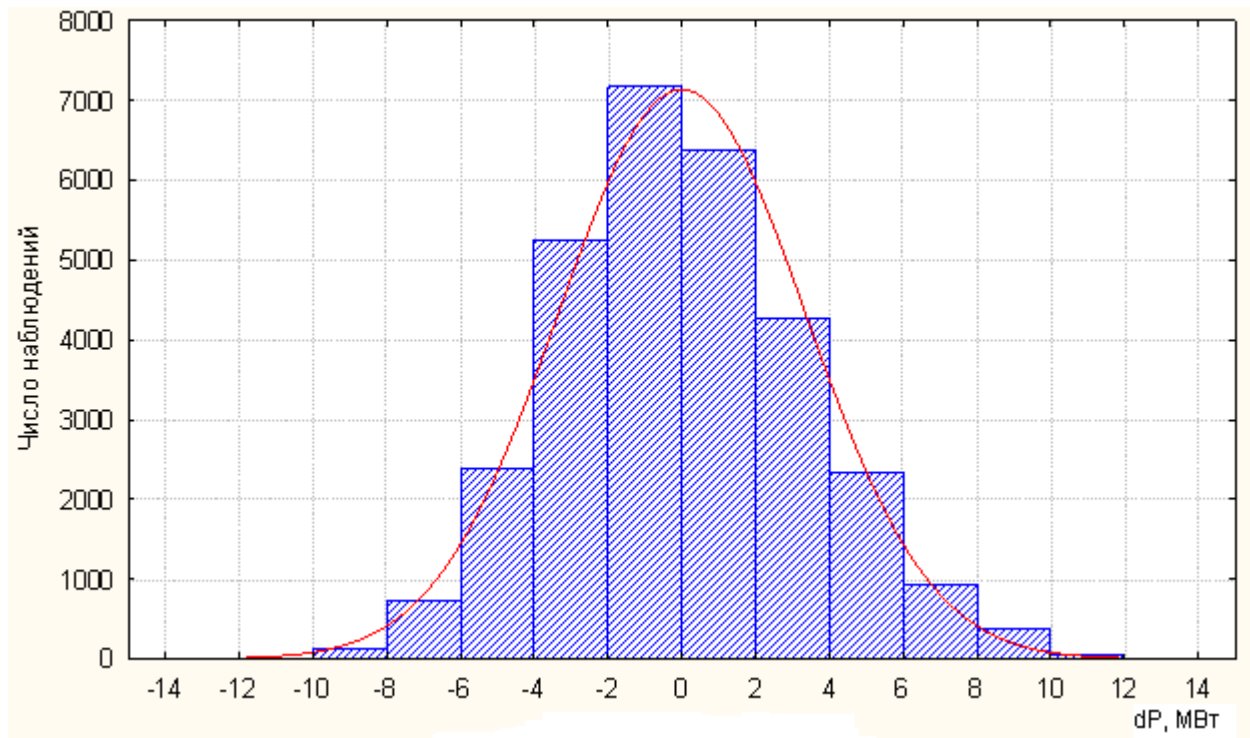


Рис. 6. Гістограма відхилення активної потужності перетоку від середнього значення

Табл.3. Аналіз відхилення активної потужності

	Перетік по лінії 750 кВ
Сер. знач перетоку на інтервалі, МВт	753,4
Сер. знач. нерегулярних коливань	0
Стандартне відхилення нерегулярних коливань, МВт	3,35

Довірчий інтервал для унімодального закону за умови ймовірності 0.95 становить  $\pm 2.82\sigma$ . Таким чином, у даному випадку для лінії 750 кВ амплітуда нерегулярних коливань активної потужності дорівнює  $2.82 \cdot 3.35 = 9.4$  МВт, або 1.25%.

### Висновки

Проведено ідентифікацію статичних характеристик навантаження енергосистеми з використанням натурно зареєстрованої інформації мікропроцесорних реєстраторів, що дозволила суттєво покращити результати розрахунків післяаварійних режимів Кримської ЕЕС. Визначено оптимальні значення коефіцієнтів для модифікованої СХН. Проведено статистичний аналіз перетоків активної потужності та визначено амплітуду нерегулярних коливань активної потужності.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Авраменко В.Н. Анализ электромеханических переходных процессов и работы противоаварийной автоматики ЭЭС с помощью программ ИЭД АН УССР: моногр. / В.Н.Авраменко, В.А.Олянишин, В.С.Стогний. – Киев: Наукова думка, 1982. – 60 с.
2. <http://www.rastrwin.ru>
3. С. А. Айвазян, И. С. Енюков, Л. Д. Мешалкин Прикладная статистика: Основы моделирования и первичная обработка данных. Справочное изд. // — М.: Финансы и статистика, 1983. — 471 с.
4. Пустыльник Е. И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений // – М.: Наука, 1968. – 288 с.

Рекомендована XII Міжнародною конференцією «Контроль і управління в складних системах 2014»

Стаття надійшла до редакції \_\_\_\_\_, 2014

**Авраменко Володимир Миколайович** — д-р техн. наук, професор, провідний науковий співробітник Інституту електродинаміки НАНУ, e-mail: [avr@ied.org.ua](mailto:avr@ied.org.ua);

*Мартинюк Олександр Васильович* — канд. техн. наук, старший науковий співробітник Інституту електродинаміки НАНУ, e-mail: [samark@ukr.net](mailto:samark@ukr.net);

*Юнеєва Наталія Тахирджанівна* — канд. техн. наук, науковий співробітник Інституту електродинаміки НАНУ, e-mail: [avr@ied.org.ua](mailto:avr@ied.org.ua);

**V.N. Avramenko**

**A.V. Martynuk**

**N.T. Iunieieva**

## **IDENTIFICATION OF STATIC CHARACTERISTICS OF POWER SYSTEM LOAD USING INFORMATION OF MICROPROCESSOR REGISTRARS (PMU)**

The Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine

*The parameters of static characteristics of electrical load in the steady state using the information in the microprocessor registers are determined. A statistical analysis and determination amplitude of the irregular oscillations of active power in the EPS are conducted.*

**Keywords:** static characteristic of the load, amplitude of the irregular oscillations, active power, electrical power system.

*Avramenko Vladimir Nikolayevich* — Professor, Senior Research Fellow, e-mail: [avr@ied.org.ua](mailto:avr@ied.org.ua);

*Martyniuk Alexander Vasilievich* — Research Fellow, e-mail: [samark@ukr.net](mailto:samark@ukr.net);

*Ienieieva Nataliia Tahirdganovna* — Research Fellow, e-mail: [avr@ied.org.ua](mailto:avr@ied.org.ua).

## **ИДЕНТИФИКАЦИЯ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАГРУЗКИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФОРМАЦИИ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ**

Институт электродинамики Национальной Академии наук Украины

*Определены параметры статических характеристик нагрузки (СХН) в установившемся режиме с помощью информации микропроцессорных (МП) регистраторов параметров электрического режима. Проведен статистический анализ и определение на этой основе амплитуды нерегулярных колебаний активной мощности в сечении энергосистемы.*

**Ключевые слова:** статическая характеристика нагрузки, амплитуда нерегулярных колебаний, активная мощность, электроэнергетическая система.

*Авраменко Владимир Николаевич* — д-р техн. наук, профессор, ведущий научный сотрудник Института электродинамики, e-mail: [avr@ied.org.ua](mailto:avr@ied.org.ua);

*Мартинюк Александр Васильевич* — канд. техн. наук, старший научный сотрудник Института электродинамики, e-mail: [samark@ukr.net](mailto:samark@ukr.net);

*Юнеєва Наталія Тахирджановна* — канд. техн. наук, научный сотрудник Института электродинамики, e-mail: [avr@ied.org.ua](mailto:avr@ied.org.ua).