

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПО ВИЗНАЧЕННЮ СХЕМ ВКЛЮЧЕННЯ ЛІЧИЛЬНИКІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Гриб О. Г.<sup>1</sup>, Довгалюк О. М.<sup>1</sup>, Калужний Д. М.<sup>2</sup>, Колбасін О. І.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут",

<sup>2</sup> Харківська національна академія міського господарства

В статті наведено результати експериментальних досліджень по визначенню схем включення лічильників електроенергії з урахуванням її якості.

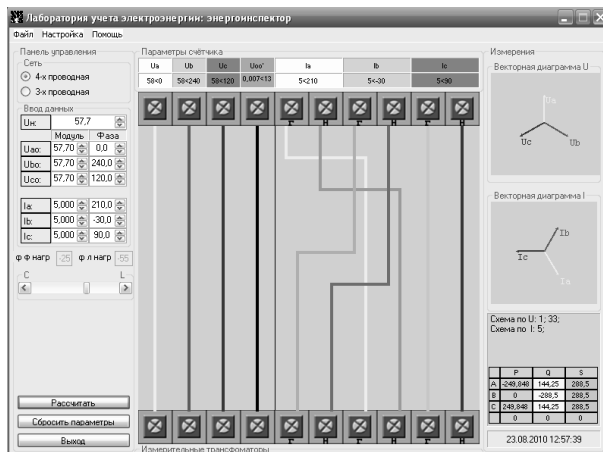
**Вступ.** Одна з головних задач експлуатації систем обліку електричної енергії полягає у визначенні правильності їх схем включення. Основна трудність, яка виникає при цьому, полягає в можливості неоднозначного рішення, викликаного несиметрією параметрів режиму роботи мережі [1, 2]. На сьогоднішній день розроблені методики визначення схем включення (ВСВ) лічильників електроенергії з урахуванням її якості, які позбавлені даного недоліку [3-5]. Проте їх працездатність необхідно підтвердити експериментально.

**Постановка задачі.** З метою перевірки методик і алгоритмів ВСВ лічильників електроенергії з урахуванням її якості необхідно провести експериментальні дослідження.

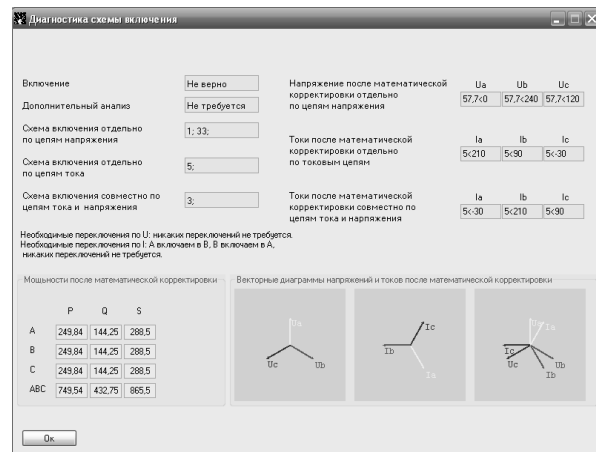
**Рішення.** Методика ВСВ, яка піддається експериментальним дослідженням, реалізована у програмному продукті Лабораторія обліку електроенергії (ЛОЕ) "Енергоінспектор" [6]. Вона полягає у ВСВ лічильників електроенергії в два етапи [3-5]. Під час першого етапу визначається схема включення окремо по ланцюгах напруги і струму. При цьому якщо має

місце помилкове включення, виконується математичне коректування [3-5]. Під час другого етапу визначається схема включення спільно по ланцюгах струму і напруги також з подальшим математичним коректуванням у разі потреби.

Розглянемо більш детально програмне забезпечення ЛОЕ "Енергоінспектор". Початковими даними для нього є струми, напруги і їх фазові співвідношення, які вимірюються лічильником електроенергії (рис. 1, а). Окрім цього необхідно, щоб були задані максимально і мінімально можливі рівні несиметрії і сталого відхилення напруги в місці установки лічильника електроенергії, а також ряд параметрів по чутливості вимірювальних елементів. Результати роботи по ВСВ виводяться в окремому вікні (рис. 1, б), де вказуються схеми включення системи обліку електроенергії окремо і спільно по ланцюгах струму і напруги, електричні величини після проведення математичних коректувань і дійсне електроспоживання в місці установки лічильника електроенергії.



а)



б)

Рисунок 1 – ЛОЕ "Енергоінспектор":

а – зовнішній вигляд; б – результат роботи

В рамках поставленої задачі були проведені фізичний і натурний експеримент. Фізичний експеримент проводився в лабораторії Національного наукового центру «Інститут метрології» з використанням синтезатора електричних величин і цифрових систем обліку і контролю електроенергії. В якості зразкового лічильника електроенергії використовувалася цифрова вимірювальна система "АНТЭС АК-3Ф" [7]. Лічильники електроенергії, що

піддавались випробуванням, були представлені наступними моделями: ION 5760 і SATEC D140. При цьому кут навантаження  $\varphi_{нав}$  підтримувався постійним. Несиметрія напруг обмежувалася гранично допустимими значеннями відповідних коефіцієнтів [8] ( $K_{2U} \leq 4\%$ ;  $K_{OU} \leq 4\%$ ). Несиметрія струмів не перевищувала  $K_{2I} \leq 8\%$ ,  $K_{OI} \leq 8\%$ . Стале відхилення напруги також знаходилося

в області гранично допустимих значень  $|\delta U_y| \leq 10\%$ . Мінімально можливі значення струмів і напруг на вимірювальних елементах приймалися рівними наступним величинам:  $\varepsilon_I \leq 0,01 \text{ A}$ ;  $\varepsilon_U \leq 5\%$  від  $U_{ном}$ . Максимально можливе значення напруги на вимірювальних елементах  $\xi = 250\%$  від  $U_{ном}$ .

В результаті дослідів всі схеми включення лічильників електроенергії за допомогою ЛОЕ "Енергоінспектор" були ідентифіковані вірно. Відносна погрішність визначення дійсного електроспоживання з використанням математичних коректувань не перевищила 9% по активній і 10,5% по реактивній потужності (табл. 1 і табл. 2).

Таблиця 1 - Результати деяких дослідів по ВСВ трьохелементного лічильника електроенергії

№ пп	Зразковий лічильник		Лічильник що досліджується								ЛОЕ: "Енергоінспектор"	
	P	Q	$\underline{U}_a, \text{B}$	$\underline{U}_b, \text{B}$	$\underline{U}_c, \text{B}$	$\underline{I}_a, \text{A}$	$\underline{I}_b, \text{A}$	$\underline{I}_c, \text{A}$	P	Q	P, Вт	Q, вар
1	87,01	55,8	1,29 ∠ 0	55,79 65,4	58,68 -65	0,578 -153,5	0	0,587 147,0	-29	18	79,6	50,04
2	86,43	55,56	55,47 ∠ 0	0,16 -16,0	58,98 130,3	0,585 -87,4	0,587 154	0,579 33,9	-2	66	79,42	51,4
3	86,46	55,50	103,84 ∠ 0	103,71 -56,1	55,75 -28,2	0,587 -0,4	0,577 -120,5	0,585 118,1	60	36	86,29	55,6
4	86,44	55,80	52,36 ∠ 0	97,47 32,3	103,81 -29,7	0	0,586 150	0,58 29,9	4	-103	86,84	54,61
5	85,89	55,34	57,49 ∠ 0	57,46 -115,9	61,1 122,2	0,575 -150,3	0,583 88,2	0,582 -30,2	-92	47	85,71	55,42
6	86,29	55,58	57,46 ∠ 0	57,45 -115,9	61,06 122,2	0,581 88,3	0	0,578 -150,4	2	-68	84,7	55,55
7	86,20	55,58	50,31 ∠ 0	16,87 -103,0	55,27 158,5	0,583 -73,1	0,583 -11,7	0	9	18	83,43	54,6
8	85,89	55,32	17,55 ∠ 0	52,57 -94,6	52,69 106,1	0,584 89,9	0,576 -148,7	0,582 -28,6	-4	37	82,98	54,05

Таблиця 2 - Результати деяких дослідів по ВСВ двоелементного лічильника електроенергії

№ пп	Зразковий лічильник		Лічильник що досліджується						ЛОЕ: "Енергоінспектор"	
	P, Вт	Q, вар	$\underline{U}_{ab}, \text{B}$	$\underline{U}_{bc}, \text{B}$	$\underline{I}_a, \text{A}$	$\underline{I}_c, \text{A}$	P, Вт	Q, вар	P, Вт	Q, вар
1	86,86	55,94	97,12 ∠ 0	103,29 -62,1	0	0,578 -62,3	-34	49	85,76	54,06
2	86,78	56,91	103,47 ∠ 0	103,28 -56,0	0,582 118,1	0	-29	-53	84,73	56,87
3	86,87	56,01	103,42 ∠ 0	103,23 -56,0	0,58 -0,4	0	60	0	85,85	54,42
4	86,09	56,02	97,01 ∠ 0	2,39 53,4	0,58 -62,4	0,581 56,2	27	50	82,33	53,6
5	85,97	56,14	97,0 ∠ 0	2,38 53,5	0,58 56,2	0,582 -62,4	30	-46	82,27	53,76
6	85,95	56,04	3,98 ∠ 0	103,17 -26,5	0,58 147,9	0,582 29,3	32	51	85,68	59,88
7	86,1	56,08	45,87 ∠ 0	57,65 172,7	0,582 -4,6	0,582 114	45	31	89,67	54,37
8	86,3	56,72	54,27 ∠ 0	42,62 181,4	0,58 56,8	0	17	27	80,86	54,17

**Натурний експеримент.** Розглянемо одне з найскладніших неправильних включень трьохелементних лічильників електроенергії, яке виявлене в ході експлуатації на введенні промислового підприємства напругою 380 В (рис. 2).

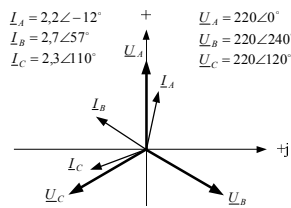


Рисунок 2 - Векторна діаграма струмів і напруг

В результаті аналізу, проведеного працівниками підприємства "Енергозбут", в рамках якого кут навантаження передбачався  $\varphi_{нав} \approx -25^\circ$ , було визначено, що включення лічильника електроенергії по струмовим ланцюгам зміщено щодо ланцюгів напруги на  $120^\circ$  з одночасним їх зустрічним включенням по фазах А і В.

Проведемо аналіз даного включення за допомогою ЛОЕ "Енергоінспектор". Оскільки інформація про якість електричної енергії в місці даного включення відсутня, параметри розрахунку були прийняті наступними:  $K_{2U} = 4\%$ ;  $K_{0U} = 4\%$ ;  $K_{2I} = 10\%$ ;  $K_{0I} = 10\%$ ;  $\varepsilon_I = 0,01 \text{ A}$ ;  $\varepsilon_U = 5\%$ ;  $\xi = 250\%$ . При таких значеннях параметрів розрахунку  $\delta U_y \in (-17,8; 26,5)\%$ , а кут навантаження що задається  $\varphi_{нагр}$  повинен потрапляти в інтервал з відхиленням від середнього значення  $\Delta\varphi_{нагр} = 14,1^\circ$ . Задамо  $\varphi_{нав} = -20^\circ$ . Після введення даних про струми і напруги ЛОЕ "Енергоінспектор" запропонував рішення, яке зображене на рис. 3. Отриманий результат повністю співпав з висновками працівників підприємства "Енергозбут".

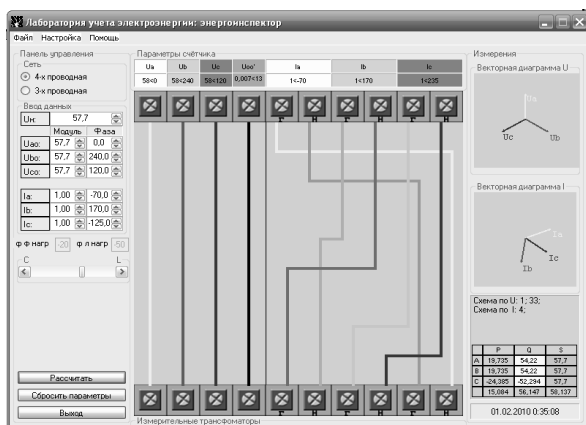


Рисунок 3 - ВСВ програмним забезпеченням ЛОЕ "Енергоінспектор"

**Висновки.** Проведені фізичний і натурний експерименти, підтверджують працездатність розроблених методик і алгоритмів ВСВ лічильників електроенергії з урахуванням її якості.

## Список використаних джерел

1. Труб И. И. Обслуживание индукционных счетчиков и цепей учета в электроустановках / И. И. Труб – М.: Энергоатомиздат, 1983.
2. Вострокнутов Н. Г. Электрические счетчики и их эксплуатация / Н. Г. Вострокнутов – М. – Л. Госэнергоиздат. 1959.
3. Калюжный Д. Н. Определение схемы включения двух- и трехэлементного счетчика электроэнергии по токовым цепям в условиях несимметрии / Д. Н. Калюжный // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2008. – № 4 (50). – С. 32–36.
4. Методика и алгоритм определения схем включения систем учета электроэнергии по цепям напряжения с учетом качества электроэнергии / [В. И. Васильченко, О. Г. Гриб, Д. Н. Калюжный и др.] // Промислова електроенергетика та електротехніка. – Київ: ВАТ Інститут "Київпромелектропроект". – 2009. – № 5. – С. 57–62.
5. Калюжный Д. Н. Определение схем включения счетчиков совместно по цепям тока и напряжения с учётом качества электрической энергии / Д. Н. Калюжный // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2010. – № 7(77). – С. 13–19.
6. Лабораторія обліку електроенергії: енергоінспектор / Д. М. Калюжный, В. І. Каук, О. О. Грінченко // XXXV науково-технічна конференція преподавателей, аспирантов и сотрудников Харьковской национальной академии городского хозяйства, 21-23 апреля 2010 г.: тезисы докладов. Ч II. – Харків, 2010. – С. 91 – 92.
7. Функциональные требования к измерителям показателей качества электрической энергии / [Д. В. Бородин, О. Г. Гриб, А. И. Колбасин и др.] // Наукові праці V міжнародної науково-технічної конференції "Метрологія та вимірювальна техніка (Метрологія-2006)" у 2-х томах. Т. 1. – Харків: ННЦ "Інститут метрології", 2006. – С. 193 – 196.
8. Электрическая энергия. Требования к качеству электрической энергии в электрических сетях общего назначения: ГОСТ 13109-97 – [Действующий с 01.01.1999]. – К.: Госстандарт Украины, 1999. – 31 с. – (Национальный стандарт Украины).

## Анотация

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ СХЕМ ВКЛЮЧЕНИЯ СЧЕТЧИКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Гриб О. Г., Довгалюк О. Н., Калюжный Д. Н., Колбасин А.И.

В статье приводятся результаты экспериментальных исследований по определению схем включения счетчиков электроэнергии с учетом её качества.

## Abstract

### EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS BY DEFINITION THE SCHEME OF SWITCHING ELECTRICITY METERS

O. Grib, O. Dovgaljuk, D. Kalyuzhnyi, A. Kolbasin

Experimental investigations results by definition the scheme of switching electricity meters taking into account power quality has been considered in the article.