

О. М. Величко, д.т.н., С. Р. Карпенко, Р. В. Гурін

Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса

## ДИСТАНЦІЙНЕ КАЛІБРУВАННЯ АНАЛІЗАТОРІВ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ФІРМИ FLUKE

*Розглянуто можливості дистанційного калібрування аналізаторів якості електричної енергії фірми Fluke моделей 434 II, 435 II, 437 II, особливості та способи його впровадження. Розроблено функціональну схему системи дистанційного калібрування аналізаторів якості електричної енергії фірми Fluke. Описано модель вимірювання і проведено аналіз бюджету невизначеності при дистанційному калібруванні аналізаторів якості електричної енергії фірми Fluke.*

**Ключові слова:** дистанційне калібрування, невизначеність, пересувні робочі еталони, електрична енергія.

### Вступ

В останні десятиріччя широке впровадження сучасних засобів телекомунікаційного устаткування, радіо- і електрозв'язку та медичного обладнання, чутливих до зниження якості електричної енергії, висуває на перший план необхідність контролю й забезпечення якості електроенергії, яка споживається.

Але успішне вирішення проблеми неможливе без оснащення організацій, енергогенеруючих компаній засобами вимірювальної техніки (ЗВТ) (аналізаторами якості електричної енергії), що дозволили б знайти, передбачити, запобігти та усунути неполадки в системах розподілу електроенергії.

В метрологічних службах облэнерго та міськэнерго в експлуатації знаходяться трифазні та однофазні аналізатори якості електричної енергії, що забезпечують виміри параметрів електричної енергії.

Аналізатори якості електричної енергії Fluke 434II, 435II, 437II є зручним інструментом для збору статистичної інформації щодо якості електроенергії. За допомогою нової функції калькулятора втрат електроенергії, моделі Fluke 434II, 435II, 437II оцінюють вартість нераціонально витраченої електричної енергії за умов поганої якості у фінансовому вираженні. Можливість «монетизації» електричної енергії дозволяє визначати ділянки з найбільшими підбирати можливі шляхи енергозбереження. Завдяки базовим функціям оцінки якості електричної енергії, отримуємо універсальний інструмент для пошуку та усунення несправностей.

Тому одним із актуальних питань стає калібрування, в т.ч. дистанційне, аналізаторів якості електричної енергії.

### 1. Загальні питання дистанційного калібрування ЗВТ

Основною властивістю калібрування ЗВТ є простежуваність результатів вимірювань до національних еталонів, які зберігаються в національних метрологічних інститутах (НМІ). За традиційною схемою замовники відправляли свої ЗВТ до НМІ чи акредитованої калібрувальної лабораторії (КЛ), де проводилось їхнє калібрування, а по завершенню цих робіт повертали назад свої ЗВТ з відповідними сертифікатами калібрування.

Традиційне калібрування ЗВТ займає багато часу і має ряд витрат, пов'язаних з транспортуванням ЗВТ до НМІ чи КЛ, та складності з демонтажем аналізаторів якості електричної енергії, якщо вони розташовані на тепло-електро центральях (ТЕЦ), газокompресорних підстанціях, які забезпечують електроенергією, теплом і газом побутових та промислових споживачів населених пунктів України.

У зв'язку зі сформованими умовами набуває важливість питання дистанційного калібрування аналізаторів якості електричної енергії.

У 1997 р. було заявлено про можливість проведення дистанційного калібрування через Інтернет [1], а в 2000 р. Національним інститутом стандартів і технологій США (NIST) було проведено перше дистанційне калібрування ЗВТ з використанням багатофункціонального пересувного робочого еталону для лабораторії фірми "Sandia" [2].

При проведенні дистанційного калібрування ЗВТ проблеми, пов'язані з витратами на транспортування ЗВТ зведені до мінімуму, оскільки всі ЗВТ знаходиться у лабораторії

замовника, а для забезпечення простежуваності вимірювань використовується пересувний робочий еталон НМІ.

При дистанційному калібруванні ЗВТ виконання вимог міжнародного стандарту ISO/IEC 17025 є обов'язковим [3].

Але при проведенні дистанційного калібрування ЗВТ виникають нові проблеми:

для передачі результатів вимірювання з лабораторії замовника до НМІ необхідне застосування спеціального програмного забезпечення (ПЗ);

результати вимірювання повинні бути надійно захищені;

необхідно здійснювати дистанційний контроль дотримання нормальних кліматичних умов;

необхідно забезпечити дотримання правил безпеки у лабораторії замовника при виконанні дистанційного калібрування ЗВТ і здійснювати відповідний візуальний контроль.

Особливості нормативного забезпечення організаційно-технічних систем дистанційного калібрування ЗВТ описані в [4].

## 2. Спосіб реалізації дистанційного калібрування аналізаторів якості електричної енергії

Як багатофункціональний пересувний робочий еталон було обрано комплект обладнання: еталонний компаратор COM 3003 ZERA GmbH, високопрецизійний генератор струму та напруги MT 3000 ZERA GmbH, високостабільний підсилювач струму MT 3000 Buster ZERA GmbH до 120 А.

Цей комплект обладнання повністю автоматизований і може працювати автономно. Але для реалізації дистанційного калібрування аналізаторів якості електричної енергії недостатньо функціональних можливостей штатного ПЗ, через це було розроблено спеціальне ПЗ в середовищі LabVIEW, яке задовольняє всі вимоги до дистанційного калібрування.

Також висуваються певні вимоги до аналізаторів якості електричної енергії, що калібруються, а саме:

необхідна наявність віддаленого інтерфейсу управління (Com, Serial, IEEE, GPIB, USB тощо);

багатофункціональність вимірювання/відтворення;

висока точність вимірювання/відтворення.

Аналізатор якості електричної енергії Fluke 434П, який призначений для пошуку несправностей у трифазній мережі з повним

набором функцій, було обрано для дистанційного калібрування. Цей аналізатор вимірює практично всі параметри електроживлення: напругу, струм, частоту, потужність, споживання електроенергії, дисбаланс і фліккер-шум (мерехтіння), гармоніки й проміжні гармоніки, має похибку 0,1 % і повністю відповідає міжнародному стандарту IEC 61000-4-30 Клас А. Він також відповідає суворим стандартам безпеки 600 В CAT IV, 1000 В CAT III.

Зовнішній вигляд аналізатора Fluke 434 П зображено на рис. 1. Для його дистанційного калібрування була розроблена структурна схема, зображена на рис. 2. Функціональна схема здійснення дистанційного калібрування аналізатора наведена на рис. 3.

Основними компонентами запропонованої системи дистанційного калібрування аналізаторів якості електричної енергії є:

спеціалізоване ПЗ, яке має бути встановлене на персональних комп'ютерах калібрувальної лабораторії і замовника рис. 4;

багатофункціональний пересувний робочий еталон калібрувальної лабораторії, який має бути розміщений у замовника;

аналізатор якості електричної енергії, що має бути відкалібрований;

вимірювач параметрів повітря «Атмосфера-1» і Web-камера, які мають бути встановлені в калібрувальній лабораторії;

лінія зв'язку, яка використовується для роботи з Інтернет.

Спеціалізоване ПЗ складається з двох основних частин: основної програми (клієнт-програма) і програми управління пристроями. Основна програма розміщена на персональний комп'ютер, а програма управління пристроями – на персональний комп'ютер замовника. Доступ до основної програми має уповноважений персонал калібрувальної лабораторії і для цього в цій програмі передбачена процедура авторизації користувача. Алгоритм калібрування лічильників електричної енергії реалізується поза тілом основної програми в спеціальному окремому файлі, який підключається основною програмою.

Вся інформація, яка передається по мережі Інтернет проходить алгоритм шифрування/дешифрування даних, що здійснюється за допомогою криптографічного алгоритму "Blowfish", який реалізує блочне симетричне шифрування з довжиною ключа від 32 до 448 біт [5].

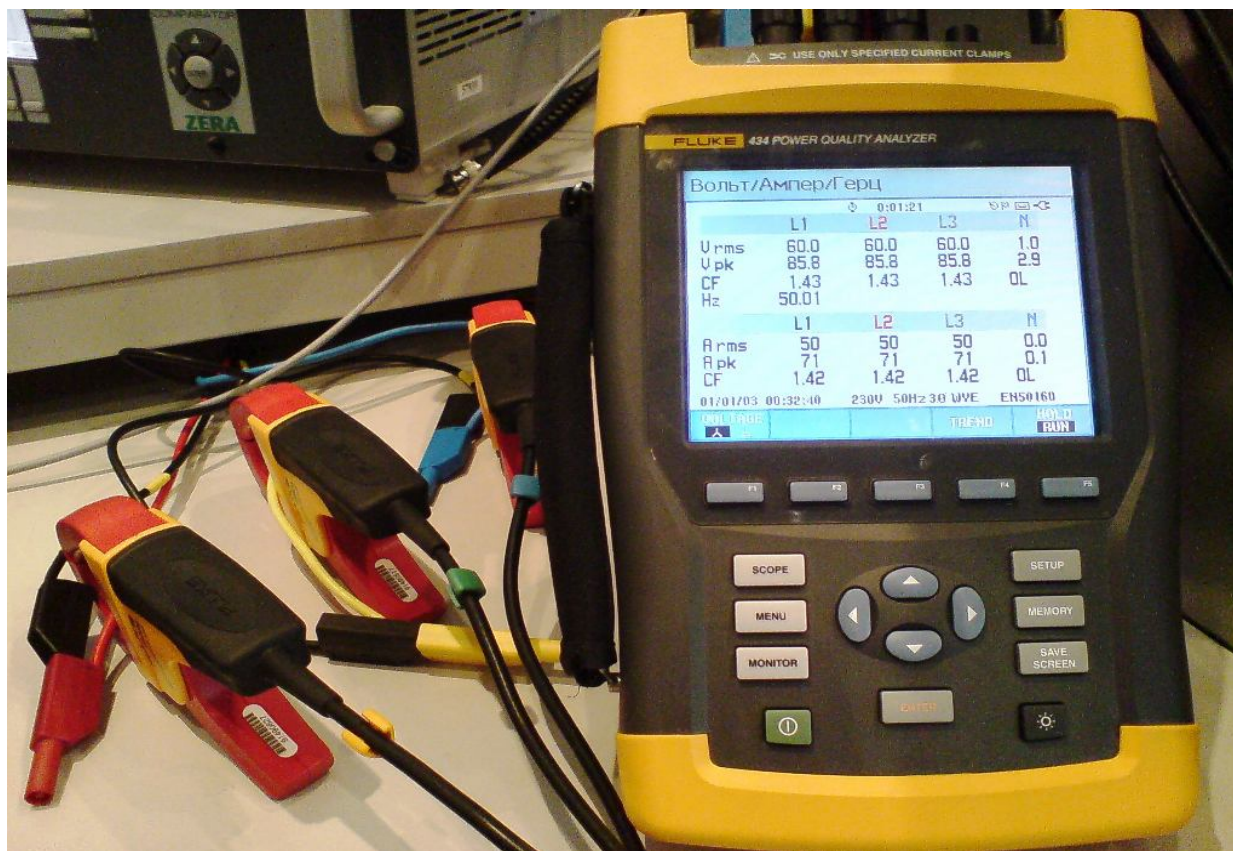


Рисунок 1 – Зовнішній вигляд аналізатора якості електричної енергії Fluke 434

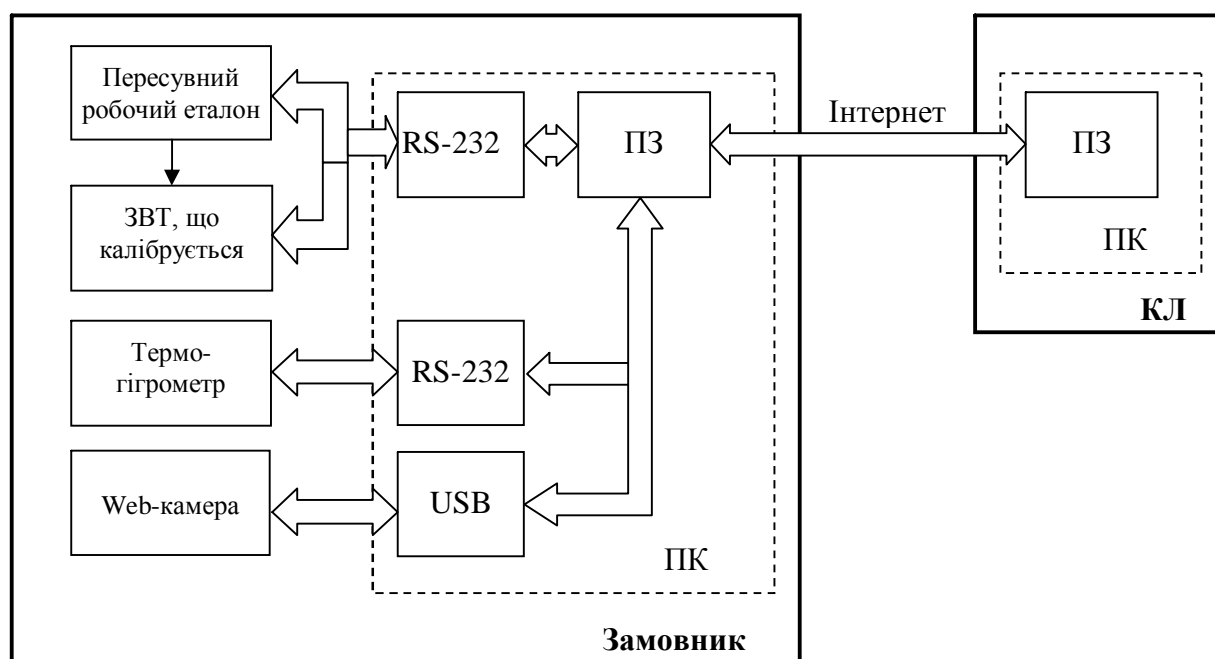


Рисунок 2 – Структурна схема системи дистанційного калібрування для аналізаторів якості електричної енергії фірми Fluke

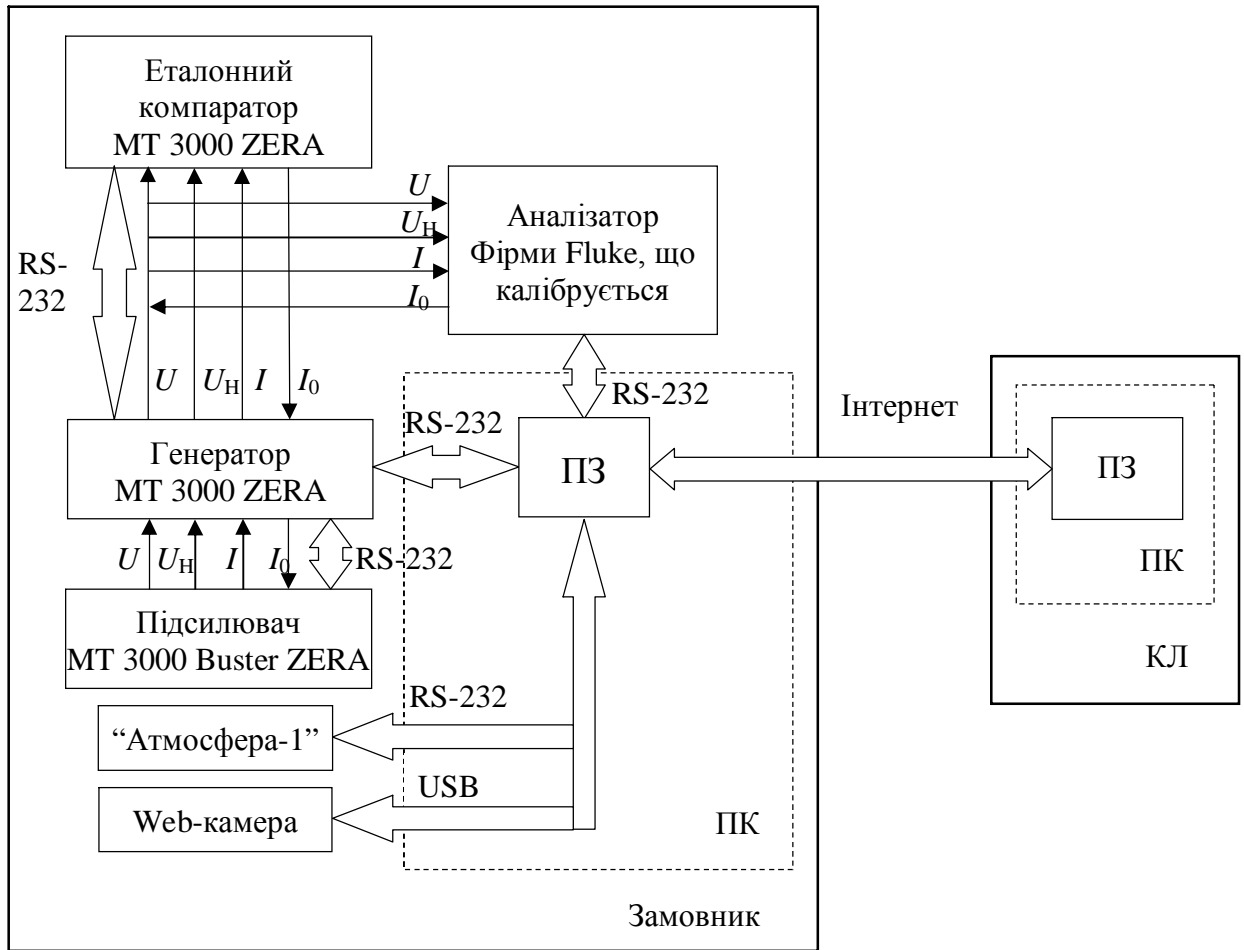


Рисунок 3 – Функціональна схема системи дистанційного калібрування аналізаторів якості електричної енергії фірми Fluke

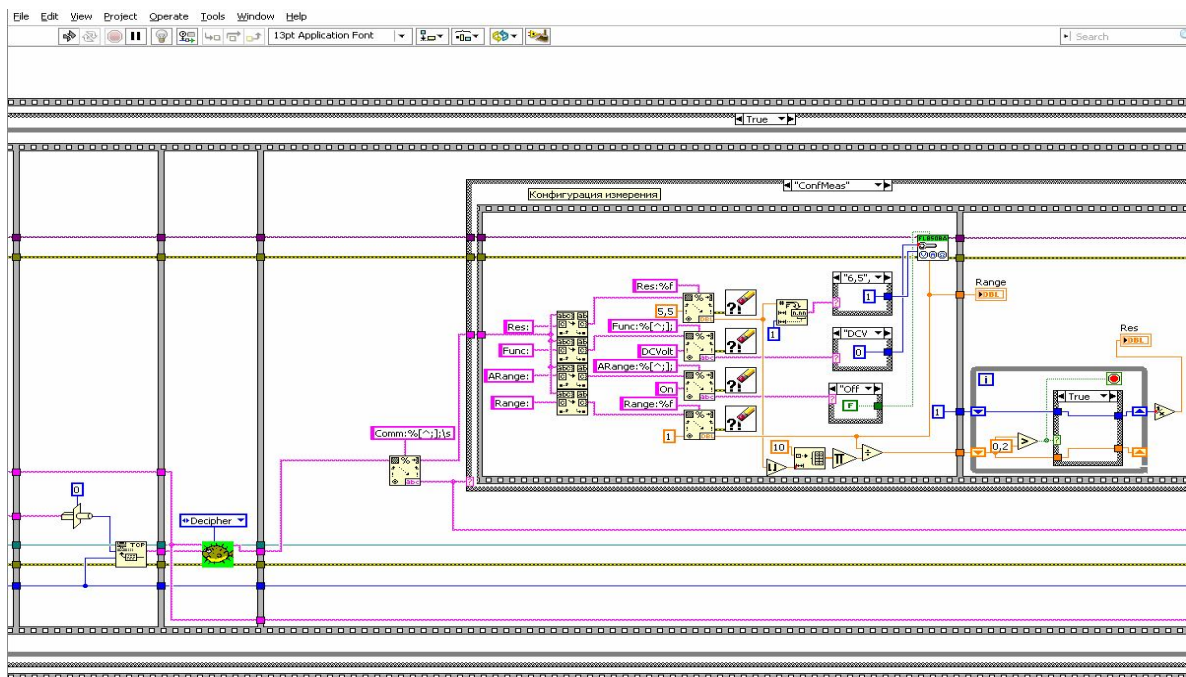


Рисунок 4 – Фрагмент спеціалізованого ПЗ системи дистанційного калібрування

Універсальністю спеціалізованого ПЗ є те, що алгоритм процедури калібрування аналізатора якості електричної енергії прописаний поза тілом програми в окремому файлі, що дозволяє створювати множину процедур калібрування для різних типів аналізаторів якості електричної енергії.

Суттєвою перевагою даного спеціалізованого ПЗ є те, що воно ідентифікує прилади, які задіяні під час калібрування.

По закінченню калібрування аналізатора якості електричної енергії основна програма формує протокол з результатами вимірювань і

загальною невизначеністю результатів вимірювань. Вся інформація про калібрування аналізатора записується в базу даних, а саме: організаційні дані (дата, ким і кому було проведено калібрування аналізатора якості електричної енергії, тип і заводські номери аналізатора якості електричної енергії, що калібрувався, тощо); результати вимірювань і загальна невизначеність.

Зовнішній вигляд системи дистанційного калібрування аналізаторів якості електричної енергії представлений на рис. 5.

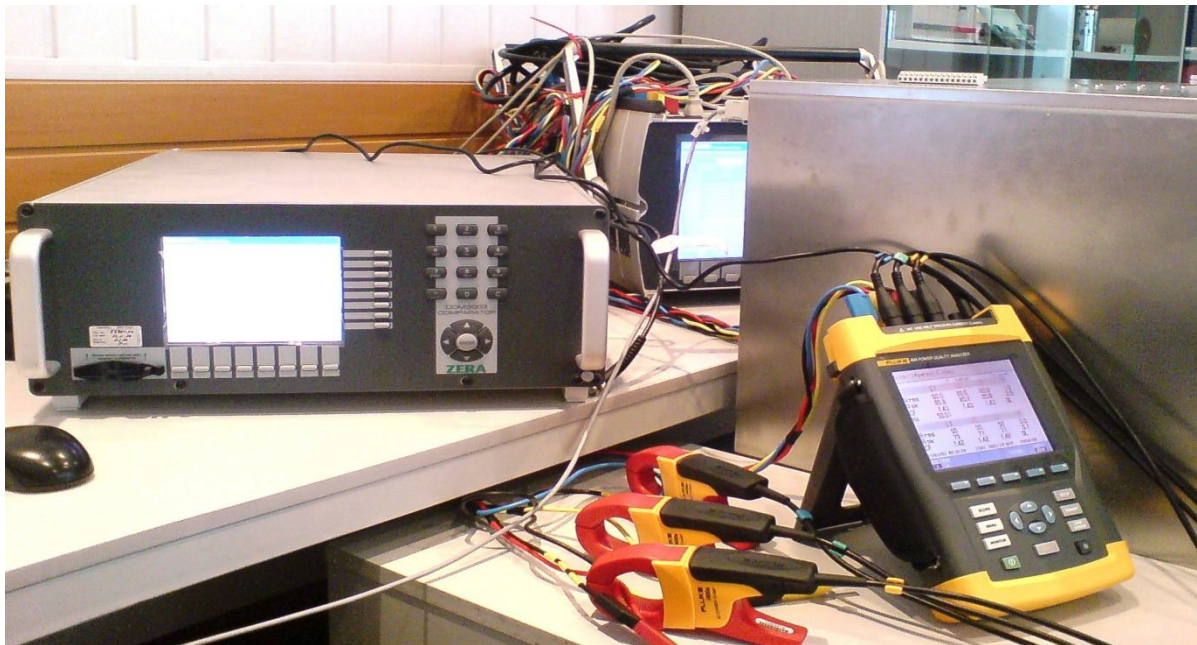


Рисунок 5 – Зовнішній вигляд системи дистанційного калібрування

### 3. Оцінка невизначеності результату вимірювання

При розрахунку відносної розширеної невизначеності результату вимірювання слід врахувати наступні складові невизначеності [6–8]:

невизначеність відкаліброваного НМІ чи КЛ пересувного робочого еталона;

складові невизначеності вимірювання за допомогою пересувного робочого еталона, пов'язані з температурою, відмінною від нормальної;

роздільна здатність аналізатора якості електричної енергії, що калібрується;

середньоквадратичне відхилення (СКВ) результату вимірювання (у разі багатократного вимірювання);

інші складові невизначеності (при необхідності їх врахування).

Модель вимірювання в абсолютній формі має вигляд

$$P_x = P_0 + \Delta_{KPE} + \Delta_{COM\ 3003} + \Delta_{MT\ 3000} + \Delta_{MT\ 3000\ BUSTER} + \Delta_T + \Delta_\phi + \Delta_f + \Delta_V + \Delta_{RS\ 232} + \Delta_{P3} + \Delta_{ПЗ},$$

де:

$P_0$  – дійсне значення виміряного параметра в абсолютній формі;

$\Delta_{KPE}$  – значення СКВ результату калібрування;

$\Delta_{COM\ 3003}$  – невизначеність еталонного компаратора електричної потужності COM 3003 (із сертифікату калібрування);

$\Delta_{MT\ 3000}$  – невизначеність високопріцеційного генератора струму та напруги MT 3000 (із сертифікату калібрування);

$\Delta_{MT3000BUSTER}$  – невизначеність підсилювача струму до 120 А МТ 3000 Buster (із сертифікату калібрування);

$\Delta_T$  – невизначеність температурної нестабільності вимірювача параметрів повітря «Атмосфера-1»;

$\Delta_\phi$  – невизначеність відхилення кута зсуву фаз між струмом і напругою;

$\Delta_f$  – невизначеність нестабільності частоти живлення;

$\Delta_V$  – невизначеність нестабільності напруги живлення;

$\Delta_{RS232}$  – невизначеність затримки обміну інформацією по інтерфейсу RS 232;

$\Delta_{P3}$  – невизначеність, що вноситься роздільною здатністю робочого еталона, що використовується;

$\Delta_{ПЗ}$  – невизначеність, що вноситься спеціальним ПЗ.

Враховуючи те що спеціальне ПЗ автоматично враховує деякі параметри у відносній формі, то доцільно зробити перехід від абсолютної форми до відносної.

Отже, модель вимірювання у відносній формі має вигляд

$$\hat{P}_x = \hat{P}_0 + \delta_{KPE} + \theta_{COM3003} + \theta_{MT3000} + \theta_{MT3000BUSTER} + \delta_T + \delta_\phi + \delta_f + \delta_V + \delta_{RS232} + \delta_{P3} + \delta_{ПЗ},$$

де:

$\hat{P}_0$  – дійсне значення вимірюваного параметра в відносній формі;

$\delta_{KPE}$  – значення СКВ результату калібрування;

$\theta_{COM3003}$  – невизначеність еталонного компаратора електричної потужності COM 3003 (із сертифікату калібрування);

$\theta_{MT3000}$  – невизначеність високоприцевийного генератора струму та напруги МТ 3000 (із сертифікату калібрування);

$\theta_{MT3000BUSTER}$  – невизначеність підсилювача струму до 120 А МТ 3000 Buster (із сертифікату калібрування);

$\delta_T$  – невизначеність температурної нестабільності вимірювача параметрів повітря «Атмосфера-1»;

$\delta_\phi$  – невизначеність відхилення кута зсуву фаз між струмом і напругою;

$\delta_f$  – невизначеність нестабільності частоти живлення;

$\delta_V$  – невизначеність нестабільності напруги живлення;

$\delta_{RS232}$  – невизначеність затримки обміну інформацією по інтерфейсу RS 232;

$\delta_{P3}$  – невизначеність, що вноситься роздільною здатністю робочого еталона, що використовується;

$\delta_{ПЗ}$  – невизначеність, що вноситься спеціальним ПЗ.

У відповідності з моделлю вимірювання, при розрахунку сумарної невизначеності враховуються складові за типами А і В у формі відносних стандартних невизначеностей.

Складова відносної сумарної невизначеності за типом А – невизначеність, пов'язана з розсіюванням відносної різниці показань при калібруванні робочого еталону, яка визначається за формулою:

$$u_A(P) = \delta_{KPE} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \times \left( \frac{P_{PE_i} - P_{COM3003}}{P_{COM3003}} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{P_{PE_i} - P_{COM3003}}{P_{COM3003}} \right) \right)^2};$$

$P_{PE}$  – значення параметра, виміряне за допомогою робочого еталону;

$P_{COM3003}$  – опорне значення параметра, виміряне за допомогою еталонного компаратора електричної потужності COM 3003;

$P_{PE_i}$  –  $i$ -й результат вимірювання параметра за допомогою робочого еталону.

Число ступенів свободи для складової  $v_A = n - 1 = 4$ .

Складові відносної сумарної невизначеності за типом В:

$u_{B1}(P)$  – невизначеність еталонного компаратора електричної потужності COM 3003 ( $u_{B1}(P) = \theta_{COM3003}$ );

$u_{B2}(P)$  – невизначеність високоприцевийного генератора струму та напруги МТ 3000 ( $u_{B2}(P) = \theta_{MT3000}$ );

$u_{B3}(P)$  – невизначеність підсилювача струму до 120 А МТ 3000 Buster ( $u_{B3}(P) = \theta_{MT3000BUSTER}$ );

$u_{B4}(P)$  – невизначеність температурної нестабільності вимірювача параметрів повітря «Атмосфера-1» (паспортні дані  $u_{B4}(P) = \delta_T$ );

$u_{B5}(P)$  – невизначеність відхилення кута зсуву фаз між струмом і напругою (паспортні данні високоприцевзійного генератора струму та напруги МТ 3000 або сертифікат калібрування –  $u_{B5}(P) = \delta_\phi$ );

$u_{B6}(P)$  – невизначеність нестабільності частоти живлення ( $u_{B6}(P) = \delta_f$ );

$u_{B7}(P)$  – невизначеність нестабільності напруги живлення ( $u_{B7}(P) = \delta_V$ );

$u_{B8}(P)$  – невизначеність затримки обміну інформацією по інтерфейсу RS 232 (паспортні дані –  $u_{B8}(P) = \delta_{RS232}$ );

$u_{B9}(P)$  – невизначеність, що вноситься роздільною здатністю робочого еталону ( $u_{B9}(P) = \delta_{P3}$ );

$u_{B10}(P)$  – невизначеність, що вноситься спеціальним ПЗ ( $u_{B10}(P) = \delta_{ПЗ}$ ).

Сумарну відносну стандартну невизначеність результату калібрування

аналізатора якості електричної енергії визначають за формулою

$$u_c(P) = \sqrt{(u_A(P))^2 + \sum_{i=1}^m (u_{Bi}(P))^2},$$

де  $m$  – кількість складових невизначеності з оцінюванням за типом типу В (для нашого випадку  $m = 10$ ).

Відносну розширену невизначеність результату калібрування аналізатора якості електричної енергії оцінюють за формулою

$$U(P) = t(P, v_{eff}) \cdot u_c(P),$$

де  $t(P, v_{eff})$  – коефіцієнт Стюдента для ймовірності  $P = 0,95$  та ефективного числа ступенів свободи  $v_{eff}$ , яке відповідно до ДСТУ-Н РМГ 43 розраховується як

$$v_{eff} = v_A \left[ u_c(\delta_k) / u_A(\delta_k) \right]^4.$$

За результатами оцінки невизначеності результату вимірювання складають бюджет невизначеності калібрування аналізаторів якості електричної енергії, який наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Бюджет невизначеності калібрування аналізаторів якості електричної енергії

Вхідна величина $x_i$	Оцінка вхідної величини	Стандартна невизначеність $u(x_i)$	Закон розподілу	Коефіцієнт чутливості $\frac{\partial \Delta}{\partial x_i}$	Вклад невизначеності
$\delta_{KPE}$	$\delta_{KPE}$	$u_A(P)$	рівномірний	1,0	$\delta_{KPE}$
$\theta_{COM 3003}$	0,000026	$u_{B1}(P)$	рівномірний	1,0	0,000026
$\theta_{MT 3000}$	0,004	$u_{B2}(P)$	рівномірний	1,0	0,004
$\theta_{MT 3000BUSTER}$	0,003	$u_{B3}(P)$	рівномірний	1,0	0,003
$\delta_T$	0,004	$u_{B4}(P)$	рівномірний	0,5	0,004
$\delta_\phi$	0,000012	$u_{B5}(P)$	нормальний	1,0	0,000012
$\delta_f$	0,000015	$u_{B6}(P)$	нормальний	0,5	0,000015
$\delta_V$	0,000139	$u_{B7}(P)$	нормальний	0,5	0,000139
$\delta_{RS232}$	$\delta_{RS232}$	$u_{B8}(P)$	нормальний	0,01	$\delta_{RS232}$
$\delta_{P3}$	$\delta_{P3}$	$u_{B9}(P)$	нормальний	0,01	$\delta_{P3}$
$\delta_{ПЗ}$	$\delta_{ПЗ}$	$u_{B10}(P)$	нормальний	0,01	$\delta_{ПЗ}$
$P_x$					$u_c(P)$

## Висновки

Реалізована система дистанційного калібрування аналізаторів якості електричної енергії, яка дозволяє зменшити витрати часу на здійснення калібрування і вирішити проблеми доставки аналізаторів до лабораторії НМІ чи КЛ, що є перевагою такого калібрування. Суттєвою перевагою

дистанційного калібрування аналізаторів є захист даних, що передаються по мережі Інтернет.

## Список використаних джерел

1. O'Dowd R., Maxwell D., Farrell T., Dunne J. Remote Characterization of Optoelectronic Devices Over the Internet // Proceedings of 4<sup>th</sup> Optical Fibre Measurement Conference. – October 1997. – NPL, Teddington, UK. – P. 155–158.
2. Vaca L. B., Duda L., Walker R., Oldham N., Parker M. Internet-Based Calibration of a Multifunction Calibrator // National Conference of Standards Laboratories. – April 2000. – Toronto, Ontario, Canada. – 10 p.
3. Величко О. М., Анохін Ю. Л. Виконання вимог міжнародного стандарту ISO/IEC 17025 при дистанційному калібруванні засобів вимірювальної техніки // Метрологія та прилади. – 2013. – № 5. – С. 37–41.

4. Величко О., Гордієнко Т., Анохін Ю. Особливості нормативного забезпечення організаційно-технічних систем дистанційного калібрування ЗВТ // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2013. – № 2. – С. 27–33.

5. Величко О., Гурін Р. Калібрування цифрових мультиметрів і калібраторів електричних сигналів із застосуванням мережі Інтернет // Метрологія та прилади. – 2011. – № 5. – С. 51–55.

6. Величко О. М. Калібрівка засобів вимірювальної техніки через Інтернет: стан і перспективи впровадження // Укр. метролог. журнал. – 2006. – № 1. – С. 45–49.

7. Величко О. Н. Особенности внедрения современных информационных технологий в аккредитованных лабораториях // Тез. докл. Межд. науч.-техн. конф. “Метрология и метрологическое обеспечение”. – Минск, 2007. – С. 30–34.

8. Величко О. М., Коломієць Л. В., Гордієнко Т. Б. Калібрування засобів вимірювальної техніки: основи і нормативне забезпечення. Підручник. – Одеса: ВМВ, 2011. – 338 с.

Надійшла до редакції 20.05.13

**Рецензент:** д.т.н., с.н.с. Братченко Г. Д., Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса.

**О. Н. Величко., д.т.н., С. Р. Карпенко, Р. В. Гурин**

## ДИСТАНЦИОННАЯ КАЛИБРОВКА АНАЛИЗАТОРОВ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ФИРМЫ FLUKE

*Рассмотрены возможности дистанционной калибровки анализаторов качества электрической энергии фирмы Fluke моделей 434 II, 435 II, 437 II, особенности и способы ее внедрения. Разработана функциональная схема системы дистанционной калибровки анализаторов качества электрической энергии фирмы Fluke. Описана модель измерения и проведен анализ бюджета неопределенности при дистанционной калибровке анализаторов качества электрической энергии фирмы Fluke.*

**Ключевые слова:** дистанционная калибровка, неопределенность, передвижные рабочие эталоны, электрическая энергия.

**O. M. Velychko, DSc, S. R. Karpenko, R. V. Gurin**

## REMOTE CALIBRATION OF THE ELECTRIC ENERGY QUALITY ANALYZER FIRM FLUKE

*The possibility of remote calibration of electric power energy analyzer firm Fluke models 434 II, 435 II, 437 II, features and how to implement it is considered. The functional scheme of remote calibration for electric power energy analyzer firm Fluke was considered. The measurement model and analysis of budget of uncertainty in remote calibration of electric energy quality analyzer firm Fluke was describe.*

**Keywords:** remote calibration uncertainty, mobile working standard, electrical energy.