

# МІЖЛАБОРАТОРНІ ПОРІВНЯННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ КАЛІБРУВАННЯ ТРИФАЗНИХ ЛІЧИЛЬНИКІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

*Олег Величко, д.т.н., проф., Юлія Куліш, Сергій Курсін, к.т.н., старший дослідник,  
Державне підприємство “Укрметртестстандарт”, Україна,*

*Борис Гендельман*

*Калібрувальна лабораторія “SATEC”, Ізраїль;*

*e-mail: [velycho@hotmail.com](mailto:velycho@hotmail.com)*

## Резюме

Достовірне вимірювання електричної енергії має важливе значення як у промисловості, так і для побутових споживачів як однофазних, так і трифазних мереж. Міжлабораторні порівняння (МЛП) є однією з експериментальних форм підтвердження сфери акредитації калібрувальних лабораторій (КЛ). Стаття присвячена аналізу результатам МЛП трифазного лічильника електричної енергії, яке проводилось у 2025 році. МЛП було проведено за участю акредитованих КЛ з України та Ізраїлю. Особливістю цього МЛП було калібрування лічильника як за трьома фазами загалом, так і за кожною фазою окремо. Калібрування здійснювалось з номінальним значенням змінної напруги у 230 В частотою 50 Гц на струмах від 2,5 А до 100 А при КП 1,0 і 0,5 для позитивного та негативного потоку. Оброблення отриманих від лабораторій первинних даних МЛП здійснювалось із застосуванням спеціального ПЗ “InterLab 1.0”, розробленого в UMTS. Визначено відхилення результатів, отриманих кожною лабораторією, та оцінено узгодженість отриманих результатів з урахуванням невизначеності вимірювань за критерієм статистики функціонування. Загалом, лабораторії отримали задовільні результати з хорошою їх узгодженістю. Лабораторії повністю відповідають встановленим вимогам щодо числа  $E_n$  та підтвердили свою технічну компетентність під час калібрування лічильників відповідно до вимог міжнародного стандарту ISO/IEC 17025. Результати МЛП дозволяють забезпечити взаємне визнання результатів калібрування лічильників електричної енергії національними органами з акредитації, що акредитували ці КЛ.

## Ключові слова

Калібрування, лічильник енергії, трифазна напруга, міжлабораторне порівняння, невизначеність.

## 1. Вступ

Достовірне вимірювання електричної енергії має важливе значення як у промисловості, так і для побутових споживачів як однофазних, так і трифазних мереж. Такі вимірювання впливають на точні розрахунки вартості спожитої електричної енергії, дозволяють управляти її споживанням і здійснювати діагностику електричної мережі, тощо. Моніторинг споживання електричної енергії допомагає виявляти перевантаження або несправності у мережі.

Національні агентства з акредитації лабораторій встановлюють спеціальні вимоги до підтвердження сфер акредитації калібрувальних лабораторій (КЛ) [1] для кожного типу вимірювання та діапазону вимірюваного значення. Міжлабораторні порівняння (МЛП) [2] є однією з експериментальних форм такого підтвердження сфери акредитації КЛ. Вони використовуються акредитованими калібрувальними лабораторіями (КЛ) для оцінки та підтвердження точності, надійності та відтворюваності вимірювань, що проводяться цими лабораторіями.

Основним призначенням МЛП є оцінка точності застосовуваних у лабораторії еталонів вимірювань та засобів вимірювання, підтвердження взаємної прийнятності отриманих лабораторіями результатів для підвищення довіри до їх результатів тощо. Успішні результати для певної лабораторії в МЛП, отримані з використанням вимог міжнародних стандартів [2, 3], є підтвердженням її компетентності у проведенні певних видів вимірювань конкретним спеціалістом з використанням конкретних еталонів та засобів вимірювання.

## 2. Недоліки

Велика кількість публікацій присвячені питанням організації МЛП та методам обробки отриманих даних у конкретних видах вимірювань або випробувань. Оцінка отриманих у МЛП результатів лабораторій для конкретних типів вимірювань представлена в низці праць, зокрема щодо електричних вимірювань (електрична енергія, реактивна потужність, електричний опір) [4–8]. Оцінювання вимірювальних можливостей КЛ для отримання високоточних та прецизійних даних наведені в роботах [9–11]. Водночас залишається актуальним завданням проведення МЛП для трифазних електролічильників з відповідним оцінюванням його результатів.

### 3. Мета

Метою проведеного дослідження було оцінювання первинних даних лабораторій, отриманих при проведенні МЛП з калібрування трифазних лічильників електричної енергії. У ході дослідження необхідно було дослідити об'єкт калібрування у відповідному МЛП, визначити приписане значення та його розширену невизначеність та розрахувати ступінь еквівалентності для кожної з лабораторій, що брала участь у МЛП та їх розширені невизначеності. Отримані результати лабораторій у ІЛС необхідно було оцінити за критеріями статистики функціонування з формулюванням відповідних висновків.

### 4. Огляд міжлабораторного порівняння

МЛП з калібрування трифазного лічильника електричної енергії (UMTS ILC-E5:2025) проводилося двома КЛ (ДП «Укрметртестстандарт» – UMTS, Україна і Калібрувальна лабораторія SATEC, Ізраїль) з липня по вересень 2025 року. КЛ UMTS акредитована Національним агентством з акредитації України (НААУ), а КЛ SATEC акредитована Ізраїльським органом з акредитації лабораторій (ISRAC). Як НААУ, так і ISRAC є підписантами угоди про Міжнародне співробітництво з акредитації (ILAC) щодо взаємного визнання результатів калібрування. Програму МЛП було розроблено з урахуванням вимог міжнародних стандартів ISO/IEC 17025 [2], ISO/IEC 17043 [1] та ISO 13528 [3].

Об'єктом калібрування (ОК) для МЛП є трифазний лічильник енергії змінного струму SATEC EM133-XM-HACS(SE) 3×50 А (100 А), серійний номер якого 75000208 (рис. 1). Лічильники SATEC EM133 [12] – це ціла родина лічильників енергії, до складу якої входить лічильник електроенергії, обраний для порівняння. Він має номінальний вимірюваний струм 3×50 А і призначений для застосувань з трансформаторним живленням та підключенням до ліній електропередач високої напруги.



Рис. 1 Зовнішній вигляд EM133-XM-HACS(SE) 3×50 А (100 А)

Основні характеристики ОК:

– вимірювана напруга/напруга живлення

– максимальний струм

– діапазон вимірювання частоти

– номінальні струми дистанційного трансформатора струму

– навантаження напруги для 277 В

– робочий діапазон температур

– розміри

Основні вимірювання слід виконувати з вхідними сигналами та умовами навколишнього середовища:

– напруга змінного струму

– змінний струм

– коефіцієнт потужності (PF)

– частота

– температура навколишнього середовища

– відносна вологість

– напруга живлення

– частота напруги живлення

від 120/207 В змінного струму до 230/400 В змінного струму (L-N/L-L);

100 А;

50/60 Гц;

(40 мА)

< 1,5 ВА;

від -20°C до 60°C;

125 × 90 × 75 мм.

230 В ± 0,05 %;

від 2,5 до 100 А ± 0,05 %;

1,0, ±0,5 Lag;

(50 ± 0,01) Гц;

(23 ± 2) °C;

(40 ± 10) %;

(230 ± 3) В;

(50 ± 0,05) Гц.

Простежуваність до Міжнародної системи одиниць (SI) забезпечувалась калібруванням використовуваного опорних еталонів лабораторій-учасниць у акредитованих КЛ (рис. 2). Вимірювання електричної енергії у

лабораторії UMTS мають метрологічну простежуваність до Фізико-технічного інституту Німеччини (PTB), а КЛ SATEC простежуються до Чеського інституту метрології (CMI). Лабораторія UMTS була пілотною лабораторією звірень еталонів електричної потужності та енергії двох регіональних метрологічних організацій: ключового звірення потужності COOMET. EM-K5 [13] та додаткового звірення енергії GULFMET.EM-S5 [14], що теж підтверджують простежуваність відповідних вимірювань.



Рис. 2 Зовнішній вигляд Національного еталону України одиниць електричної потужності та коефіцієнта потужності НДЕТУ ЕМ-08-2023

## 5. Отримані результати міжлабораторного порівняння

Повний остаточний звіт про МЛП містить усі первинні дані вимірювань загальної електричної енергії за всіма фазами, а також за кожною фазою окремо та відповідні оцінки невизначеності лабораторій-учасниць МЛП. Звіт включає опис методу вимірювання, простежуваність до SI, а також результати та пов'язані з ними невизначеності. Похибки калібрування  $x_i$  та їх розширені невизначеності  $U(x_i)$  лабораторій-учасниць, наведено в таблиці 1 для напруги змінного струму 230 В на частоті 50 Гц.

Таблиця 1. Результати вимірювання загальної електричної енергії за всіма фазами лабораторіями-учасницями МЛП

| Струм,<br>А | PF      | Потік<br>позитивний/<br>негативний | Похибка калібрування $x_i$ , % |        | Невизначеність $U(x_i)$ , % |       |
|-------------|---------|------------------------------------|--------------------------------|--------|-----------------------------|-------|
|             |         |                                    | UMTS                           | SATEC  | UMTS                        | SATEC |
| L1          |         |                                    |                                |        |                             |       |
| 2.5         | 1       | Позитивний                         | 0.016                          | 0.012  | 0.115                       | 0.147 |
| 5           |         |                                    | 0.045                          | 0.023  | 0.106                       | 0.131 |
| 50          |         |                                    | 0.016                          | -0.008 | 0.176                       | 0.175 |
| 100         |         |                                    | 0.031                          | -0.026 | 0.097                       | 0.160 |
| 5           | 0.5 Lag |                                    | 0.150                          | 0.230  | 0.091                       | 0.334 |
| 50          |         |                                    | 0.017                          | -0.008 | 0.161                       | 0.236 |
| 100         |         |                                    | -0.023                         | -0.001 | 0.060                       | 0.245 |
| 50          | 1       |                                    | Негативний                     | -0.011 | -0.013                      | 0.129 |
| 100         |         | -0.037                             |                                | -0.029 | 0.048                       | 0.163 |
| 50          | 0.5 Lag | 0.079                              |                                | 0.034  | 0.179                       | 0.257 |
| 100         |         | -0.069                             |                                | -0.073 | 0.160                       | 0.269 |
| L2          |         |                                    |                                |        |                             |       |
| 2.5         | 1       | Позитивний                         | 0.008                          | 0.019  | 0.116                       | 0.147 |
| 5           |         |                                    | 0.047                          | 0.044  | 0.105                       | 0.131 |
| 50          |         |                                    | 0.016                          | -0.002 | 0.173                       | 0.175 |
| 100         |         |                                    | 0.033                          | -0.014 | 0.100                       | 0.160 |
| 5           | 0.5 Lag |                                    | 0.089                          | 0.199  | 0.089                       | 0.334 |
| 50          |         |                                    | -0.040                         | 0.044  | 0.164                       | 0.237 |
| 100         |         |                                    | -0.081                         | -0.008 | 0.060                       | 0.245 |
| 50          | 1       |                                    | Негативний                     | -0.010 | -0.003                      | 0.129 |
| 100         |         | -0.034                             |                                | -0.018 | 0.047                       | 0.163 |
| 50          | 0.5 Lag | 0.027                              |                                | 0.011  | 0.179                       | 0.257 |
| 100         |         | -0.127                             |                                | -0.022 | 0.158                       | 0.270 |

| L3           |         |            |            |        |        |       |
|--------------|---------|------------|------------|--------|--------|-------|
| 2.5          | 1       | Позитивний | -0.015     | 0.000  | 0.117  | 0.147 |
| 5            |         |            | 0.047      | 0.042  | 0.104  | 0.131 |
| 50           |         |            | 0.010      | -0.002 | 0.175  | 0.175 |
| 100          |         |            | 0.023      | -0.021 | 0.101  | 0.160 |
| 5            | 0.5 Lag |            | 0.112      | 0.099  | 0.089  | 0.334 |
| 50           |         |            | -0.025     | -0.049 | 0.161  | 0.236 |
| 100          |         |            | -0.061     | -0.056 | 0.059  | 0.245 |
| 50           | 1       |            | Негативний | -0.017 | -0.004 | 0.127 |
| 100          |         | -0.043     |            | -0.017 | 0.048  | 0.163 |
| 50           | 0.5 Lag | 0.039      |            | -0.067 | 0.178  | 0.257 |
| 100          |         | -0.121     |            | -0.087 | 0.159  | 0.269 |
| Three phases |         |            |            |        |        |       |
| 2.5          | 1       | Позитивний | 0.027      | 0.011  | 0.034  | 0.116 |
| 5            |         |            | 0.059      | 0.037  | 0.034  | 0.095 |
| 50           |         |            | 0.023      | -0.003 | 0.034  | 0.123 |
| 100          |         |            | -0.007     | -0.021 | 0.038  | 0.118 |
| 5            | 0.5 Lag |            | 0.206      | 0.175  | 0.034  | 0.259 |
| 50           |         |            | 0.012      | -0.005 | 0.033  | 0.194 |
| 100          |         |            | -0.060     | -0.021 | 0.035  | 0.196 |
| 50           | 1       |            | Негативний | -0.060 | -0.021 | 0.035 |
| 100          |         | 0.013      |            | -0.004 | 0.036  | 0.119 |
| 50           | 0.5 Lag | -0.016     |            | -0.022 | 0.045  | 0.120 |
| 100          |         | 0.031      |            | 0.072  | 0.033  | 0.202 |

Лабораторії розраховували невизначеність своїх вимірювань відповідно до Настанови з вираження невизначеності вимірювань (GUM) [15]. Усі внески в невизначеності вимірювання були наведені у Звіті про МЛП і визначені як невизначеності типу А або типу В. Загальна стандартна невизначеність розрахована на основі всіх окремих стандартних невизначеностей. Розширена невизначеність розрахована з коефіцієнтом охоплення 2 на довірчою вірогідністю 95%.

## 6. Обговорення результатів міжлабораторного порівняння

Приписані значення ILC (AV)  $X_{AV}$  розраховуються як середнє значення даних учасників

$$X_{AV} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \bigg/ \frac{\sum_{i=1}^N \frac{1}{u^2(x_i)}}{N}, \quad \text{Equation.DSMT4} \quad (1)$$

з розширеними невизначеностями

$$U(X_{AV}) = 2 \sqrt{\frac{1}{N} \frac{1}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{u^2(x_{UMTS})}} + \frac{1}{N} \frac{1}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{u^2(x_{SATEC})}}} \quad \text{Equation.DSMT4} \quad (2)$$

де  $x_{UMTS}$  та  $x_{SATEC}$  – похибка вимірювання для UMTS та SATEC відповідно,  $u(x_{UMTS})$  і  $u(x_{SATEC})$  – комбіновані стандартні невизначеності для UMTS та SATEC відповідно.

AV з розширеними невизначеностями для трьох фаз для змінної напруги 230 В та частоти 50 Гц наведено у таблиці 2.

**Таблиця 2.** AV і розширені невизначеності.

| Струм,<br>А | PF      | Потік позитивний/<br>негативний | AV $X_{AV}$ ,<br>% | Невизначеність $U(X_{AV})$ ,<br>% |
|-------------|---------|---------------------------------|--------------------|-----------------------------------|
| 2.5         | 1       | Позитивний                      | 0.026              | 0.0326                            |
| 5           |         |                                 | 0.057              | 0.0320                            |
| 50          |         |                                 | 0.021              | 0.0328                            |
| 100         |         |                                 | -0.008             | 0.0362                            |
| 5           | 0.5 Lag |                                 | 0.205              | 0.0337                            |
| 50          |         |                                 | 0.012              | 0.0325                            |
| 100         |         |                                 | -0.059             | 0.0345                            |
| 50          | 1       |                                 | Негативний         | 0.012                             |
| 100         |         | -0.017                          |                    | 0.0421                            |
| 50          | 0.5 Lag | 0.032                           |                    | 0.0326                            |
| 100         |         | -0.069                          |                    | 0.0345                            |

Ступені еквівалентності (DoE)  $i$ -ї лабораторії з розширеними невизначеностями відносно AV оцінюються як

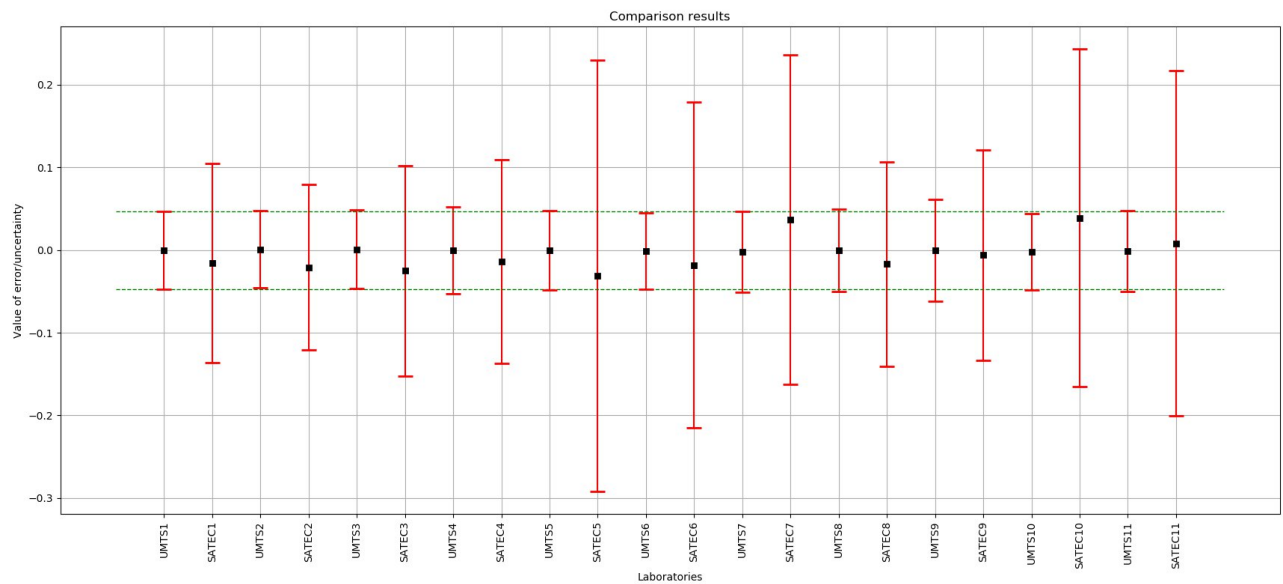
$$D_{lab\ i} = x_{lab\ i} - X_{AV}, \text{Equation.DSMT4} \quad (3)$$

$$U(D_{lab\ i}) = \sqrt{U^2(x_{lab\ i}) + U^2(X_{AV})}, \text{Equation.DSMT4} \quad (4)$$

DoE з розширеними невизначеностями для лабораторій для трьох фаз для змінної напруги 230 В на частоті 50 Гц наведено в таблиці 3. У першій графі цієї таблиці кожному значенню змінного струму присвоєний номер, який може бути використаний для відображення DoE лабораторій у графічному вигляді (рис. 3). Для аналізу результатів МЛП застосоване розроблене в UMTS спеціальне програмне забезпечення “ІнтерЛаб 1.0” [16], яке дає можливість автоматизувати розрахунки та аналіз критеріїв оцінки результатів МЛП. Воно дозволяє оцінити результати МЛП за числом  $E_n$ , а також іншими аналогічними критеріями. Отримані результати оцінок відхилення та невизначеності відображаються за допомогою графіків, а розраховані значення показників за допомогою гістограм.

**Таблиця 3.** DoE і розширені невизначеності для лабораторій для трьох фаз.

| Струм (№),<br>А | PF      | Потік<br>позитивний/<br>негативний | DoE $D_{lab\ i}$ ,<br>% |        | Невизначеність DoE $U(D_{lab\ i})$ ,<br>% |        |
|-----------------|---------|------------------------------------|-------------------------|--------|-------------------------------------------|--------|
|                 |         |                                    | UMTS                    | SATEC  | UMTS                                      | SATEC  |
| 2.5 (1)         | 1       | Позитивний                         | 0.001                   | -0.015 | 0.0471                                    | 0.1205 |
| 5 (2)           |         |                                    | 0.002                   | -0.020 | 0.0467                                    | 0.1002 |
| 50 (3)          |         |                                    | 0.002                   | -0.024 | 0.0472                                    | 0.1273 |
| 100 (4)         |         |                                    | 0.001                   | -0.013 | 0.0525                                    | 0.1234 |
| 5 (5)           | 0.5 Lag |                                    | 0.001                   | -0.030 | 0.0479                                    | 0.2612 |
| 50 (6)          |         |                                    | 0.000                   | -0.017 | 0.0463                                    | 0.1967 |
| 100 (7)         |         |                                    | -0.001                  | 0.038  | 0.0491                                    | 0.1990 |
| 50 (8)          | 1       |                                    | Негативний              | 0.001  | -0.016                                    | 0.0498 |
| 100 (9)         |         | 0.001                              |                         | -0.005 | 0.0616                                    | 0.1272 |
| 50 (10)         | 0.5 Lag | -0.001                             |                         | 0.040  | 0.0464                                    | 0.2046 |
| 100 (11)        |         | 0.000                              |                         | 0.009  | 0.0491                                    | 0.2089 |



**Рис. 3.** DoE і розширені невизначеності для лабораторій для трьох фаз.

Число погодженості даних  $E_n$  розраховується як:

$$E_{n\ lab\ i} = 2|D_{lab\ i}|/U(D_{lab\ i}) \leq 1.0, \text{Equation.DSMT4} \quad (5)$$

Числа  $E_n$  для лабораторій для трьох фаз та змінного струму напругою 230 В на частоті 50 Гц наведено в таблиці 4. У першій графі цієї таблиці кожному значенню змінного струму присвоєний номер, який може бути використаний для відображення числа  $E_n$  лабораторій у графічному вигляді (рис. 4). Лабораторії відповідають встановленим вимогам до числа  $E_n$  ( $|E_n| \leq 1.0$ ): UMTS – від 0.01 до 0.47; SATEC – від 0.00 до 0.50 для всіх точок калібрування.

Таблиця 4. Числа  $E_n$  для лабораторій для трьох фаз.

| Струм (№),<br>А | PF      | Потік позитивний/<br>негативний | $E_n$ для UMTS | $E_n$ для SATEC |
|-----------------|---------|---------------------------------|----------------|-----------------|
| 2.5 (1)         | 1       | Позитивний                      | 0.03           | 0.12            |
| 5 (2)           |         |                                 | 0.05           | 0.19            |
| 50 (3)          |         |                                 | 0.04           | 0.19            |
| 100 (4)         |         |                                 | 0.03           | 0.10            |
| 5 (5)           | 0.5 Lag |                                 | 0.01           | 0.12            |
| 50 (6)          |         |                                 | 0.01           | 0.08            |
| 100 (7)         |         |                                 | 0.02           | 0.19            |
| 50 (8)          | 1       | Негативний                      | 0.03           | 0.13            |
| 100 (9)         |         |                                 | 0.01           | 0.04            |
| 50 (10)         | 0.5 Lag |                                 | 0.02           | 0.20            |
| 100 (11)        |         |                                 | 0.01           | 0.04            |

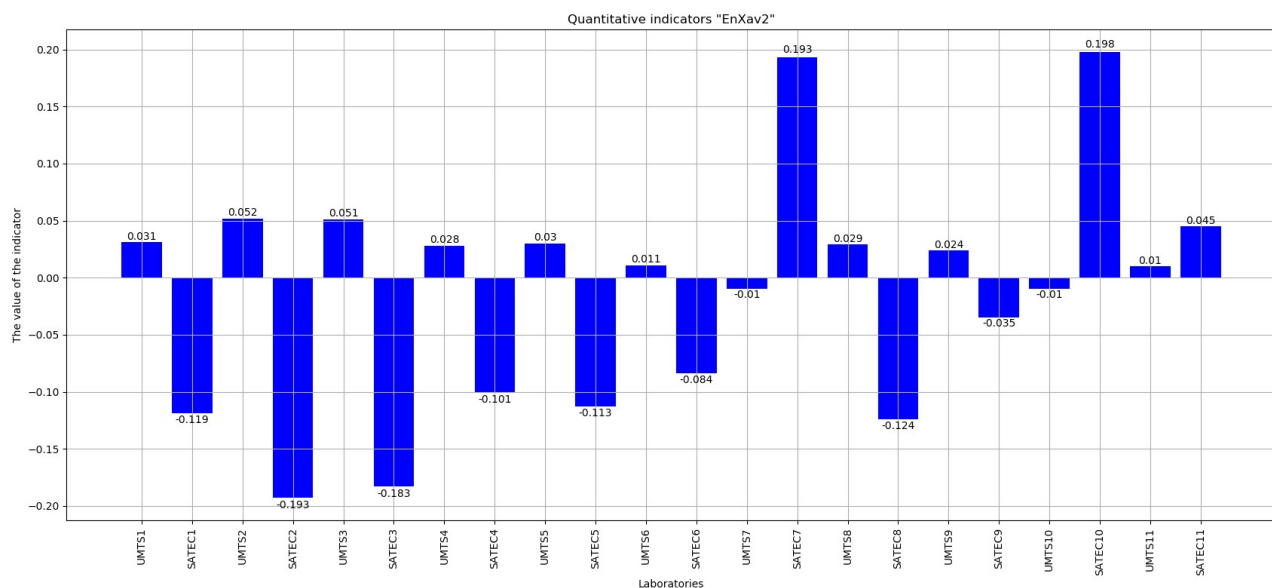


Рис. 4. Числа  $E_n$  для лабораторій для трьох фаз.

## 7. Висновки

МЛП з калібрування трифазних лічильників електричної енергії було проведено за участю акредитованих КЛ з України та Ізраїлю. Особливістю цього МЛП було калібрування лічильника як за трьома фазами загалом, так і за кожною фазою окремо. Калібрування здійснювалось з номінальним значенням змінної напруги у 230 В частотою 50 Гц на струмах від 2,5 А до 100 А при КП 1,0 і 0.5 для позитивного та негативного потоку. Оброблення отриманих від лабораторій первинних даних МЛП здійснювалось із застосуванням спеціального ПЗ “InterLab 1.0”, розробленого в UMTS. Загалом, лабораторії отримали задовільні результати з хорошою їх узгодженістю. Лабораторії повністю відповідають встановленим вимогам щодо числа  $E_n$  ( $|E_n| \leq 1,0$ ) та підтвердили свою технічну компетентність під час калібрування лічильників відповідно до вимог стандарту ISO/IEC 17025. Результати МЛП дозволяють забезпечити взаємне визнання результатів калібрування лічильників електричної енергії національними органами з акредитації, що акредитували ці КЛ.

## Посилання

- [1] ISO/IEC 17025, “General requirements for the competence of testing and calibration laboratories”, *ISO/IEC*, 2017. [Online]. Available: <https://www.iso.org/ISO-IEC-17025-testing-and-calibration-laboratories.html>
- [2] ISO/IEC 17043, “Conformity assessment – General requirements for the competence of proficiency testing providers”, *ISO/IEC*, 2023. [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/80864.html>
- [3] ISO 13528, “Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparison”, *ISO*, 2022. [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/78879.html>

- [4] Velychko O., Kulish Y., Nikitenko D., Verkevicius A., “Interlaboratory comparisons of laboratories for calibration of active electrical energy meters”, *Ukrainian Metrological Journal*, 2025, no. 1, pp. 4–8. DOI: 10.24027/2306-7039.1.2025.325756
- [5] Velychko O., Kulish Y., Gendelman B., “Interlaboratory comparisons of the calibration results of energy meters”, *Journal of Electrical Engineering and Information Technologies*, 2024, vol. 9, no. 1, pp. 5–12. DOI: 10.51466/JEEIT249121405v
- [6] Velychko O., Dovhan V., Nikitenko D., Brezytskyi J., “Linking of rounds results of interlaboratory comparisons on calibration of electrical resistance measures on a direct current”, *Measuring Equipment and Metrology*, 2024, т. 85(2), с. 46–53. DOI:10.23939/istcm2024.02.046
- [7] Iacobescu, F., Poenaru, M. M., Anghel, M.-A., “Reactive power quality assessment through interlaboratories comparison”, *22th IMEKO TC 4 Symposium “Supporting World Development through Electrical and Electronic Measurements”*, Iasi, Romania, 2017, pp. 13–19. [Online]. Available: <https://www.imeko.org/publications/tc4-2017/IMEKO-TC4-2017-003.pdf>
- [8] Poenaru, M. M. et al., “Active power quality assessment through interlaboratories comparison”, *21th IMEKO TC4 International Symposium “Understanding the World through Electrical and Electronic Measurement”*, Budapest, Hungary, 2016, pp. 224–228. [Online]. Available: <https://www.imeko.org/publications/tc4-2016/IMEKOTC4-2016-42.pdf>
- [9] Velychko O., Gordiyenko T., “The data evaluation of interlaboratory comparisons for calibration laboratories”, *Applied Aspects of Modern Metrology*, London, IntechOpen, 2022. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.99489>
- [10] Sousa, J. J. L., Leitão, L. T. S., Costa, M. M., Faria, M. C., “Considerations on the influence of travelling standards instability in an interlaboratory comparison program”, *XX IMEKO World Congress “Metrology for Green Growth”*, Busan, Republic of Korea, 2012 [Online]. Available: <https://www.imeko.org/publications/wc-2012/IMEKOWC-2012-TC8-O2.pdf>
- [11] Claudio, J., Costa. M., “Brazilian energy interlaboratory program applicative”, *XX IMEKO World Congress “Metrology for Green Growth”*, Busan, Republic of Korea, 2012 [Online]. Available: <https://www.imeko.org/publications/wc-2012/IMEKOWC-2012-TC4-P5.pdf>
- [12] EM133 Datasheet, *SATEC Ltd.*, 2022, 8 p. [Online]. Available: <https://www.satec-global.com/wp-content/uploads/2022/11/EM133-Datasheet.pdf>
- [13] Velychko O., Karpenko S., “Final report on COOMET key comparison of power (COOMET.EMK5)”, *Metrologia*, vol. 56, 2019, issue 1A, 01010. DOI: 10.1088/0026-1394/56/1A/01010
- [14] Velychko O., et al., “Final report on GULFMET supplementary comparison of AC energy (GULFMET.EM-S5)”, *Metrologia*, vol. 57, 2020, issue 1A, 01003. DOI: 10.1088/0026-1394/57/1A/01003
- [15] JCGM 100, “Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement”, JCGM, 2008. [Online]. Available: [https://www.bipm.org/documents/20126/2071204/JCGM100\\_2008\\_E.pdf/cb0ef43f-baa5-11cf-3f85-4dcd86f77bd6](https://www.bipm.org/documents/20126/2071204/JCGM100_2008_E.pdf/cb0ef43f-baa5-11cf-3f85-4dcd86f77bd6)
- [16] Velychko O., Kursin S., Gaman V., “Automation of evaluation of the results of interlaboratory comparisons by means of software”, *Measurement infrastructures*, 5-2023, 6 p. DOI: 10.33955/v5(2023)-039

ISSN: 2617-846X (online)

Величко Олег Миколайович

Номер ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6564-4144>

Куліш Юлія Миколаївна

Номер ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5041-8398>

Курсін Сергій Миколайович

Номер ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2147-6211>

Гейдельман Борис

Номер ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-6513-2648>

Дата отримання публікації -08.10.25.

Дата отримання фінального варіанту – 20.11.25.

Дата публікації- 30.12.25.