

№ 71. – С.33–38. 21. Микийчук М.М. Оптимізація метрологічних характеристик активних імітаторів опор / М.М. Микийчук // Методи та прилади контролю якості: наук.-техн. журнал Івано-Франківського національного технічного університету нафти та газу. – 2010. – № 24 – С. 120–123. 22. Микийчук М.М. Шляхи побудови багатозначних мір опору для перевірки теплотехнічних засобів вимірювань / М.М. Микийчук, Р.М. Огірко // Автоматика, вимірювання та керування. Вісник Державного університету "Львівська політехніка". – 1998. – № 348. – С. 42–48. 23. Микийчук М.М. Особливості побудови калібраторів для пе-

ревірки засобів вимірювання і контролю параметрів технологічних процесів / М.М. Микийчук, Р.М. Огірко // Автоматика, вимірювання та керування. Вісник Державного університету "Львівська політехніка". – 1998. – № 348. – С. 23–29. 24. Крюков О.М. Основи метрологічного забезпечення: навч. посіб. / О.М. Крюков, О.П.Флорін //– Харків: ХНАДУ, – 2010. – С. 208. 25. Государственная система обеспечения единства измерений. Обеспечение эффективности измерений при управлении технологическими процессами. Основные положения: МИ 2233-2000. – М.: Изд-во стандартов, 2000. – 19 с.

УДК 621.317

## АЛГОРИТМ ОЦІНЮВАННЯ ІНДИВІДУАЛЬНОЇ МЕТРОЛОГІЧНОЇ НАДІЙНОСТІ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

© Микийчук Микола, 2013

Національний університет "Львівська політехніка", кафедра метрології, стандартизації та сертифікації,  
вул. С. Бандери 12, м. Львів, 79013,  
тел. (032)-258-23-94, e-mail: mykolamm@ukr.net

*Розроблено алгоритм оцінювання індивідуальної метрологічної надійності засобів вимірювальної техніки, що дає змогу оперативно коригувати міжкалібрувальні інтервали.*

*Разработан алгоритм оценивания индивидуальной метрологической надежности средств измерительной техники, что позволяет оперативно корректировать межкалибровочные интервалы.*

*The algorithm of evaluation of individual metrology reliability of facilities of measuring technique is developed, that allows operatively to correct intergauge intervals.*

**Актуальність.** Одним з основних факторів, що визначає якість засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) промислового застосування, є наявність ефективних методів оцінювання їх метрологічної надійності [1]. Останніми роками помітнішою стає неефективність прийнятих традиційних методів контролю похибок промислових ЗВТ. Це пояснюється специфікою застосування промислових ЗВТ, яка полягає в тому, що вони експлуатуються в умовах, відмінних від умов їх метрологічної перевірки, внаслідок чого виникає ряд додаткових похибок. Додаткові похибки від зміни умов експлуатації ЗВТ, відносно умов метрологічної перевірки, важко оцінювати, оскільки ці похибки нормуються для типу ЗВТ і не враховують їх індивідуальну стабільність.

Оцінка сумарної інструментальної похибки, в конкретних умовах застосування, визначається як сума

основної та додаткових похибок, пронормованих для типу ЗВТ, без урахування метрологічного запасу та напряму дрейфу похибки, який має конкретний ЗВТ [2, 3]. Тому часто метрологічно справний ЗВТ вилучають із технологічного процесу для здійснення його метрологічної перевірки або метрологічно несправний ЗВТ продовжують експлуатувати, що і в першому, і другому випадку спричиняє невиправдані витрати [4–6].

Тому питання правильного оцінювання метрологічної надійності ЗВТ є важливою умовою забезпечення якості сучасних технологічних процесів.

**Стан проблеми.** Основою загальноприйнятого підходу гарантування метрологічної надійності ЗВТ є призначення одного міжкалібрувального інтервалу для всіх ЗВТ одного типу розв'язанням задачі оптимізації

міжкалібрувального інтервалу за критерієм мінімізації сукупних витрат [6]:

- на перевірку і вимушений простій ЗВТ (спонукаючи до збільшення міжкалібрувального інтервалу);
- від невірогідних результатів вимірювань (спонукаючи до зменшення міжкалібрувального інтервалу).

На жаль, початкових даних для коректного й однозначного вирішення цього завдання зазвичай недостатньо. Так, відповідно до РМГ 74 рекомендується використовувати залежність середніх економічних втрат від похибок ЗВТ. Але де узяти таку залежність для більшості типів ЗВТ, за умови, що різні екземпляри ЗВТ того самого типу можуть використовуватися для різних цілей, а тому наслідки невірогідних результатів вимірювань, виконаних за допомогою таких ЗВТ, можуть відрізнятися в тисячі разів [6].

Стан метрологічної надійності ЗВТ визначається стабільністю його функції перетворення. Традиційні методи оцінювання метрологічної надійності ЗВТ ґрунтуються на визначенні ймовірності виходу похибки за допустимі межі, які встановлюються під час нормування класу точності для типу ЗВТ [2], причому оптимізація процесу нормування класів точності повинна базуватися на відповідному техніко-економічному обґрунтуванні, що в умовах ринкової економіки реалізувати важко. Основний недолік прийнятих підходів до оцінювання метрологічної надійності промислових ЗВТ полягає у відсутності нормативного та методичного забезпечення для об'єктивного встановлення та нормування показників метрологічної надійності для конкретного ЗВТ. Це, зокрема, виражається у застосуванні узагальнених показників метрологічної надійності встановленням однакових інтервалів між метрологічними перевірками для ЗВТ, які мають різну метрологічну надійність, наприклад, через відмінність умов експлуатації.

Також зберігається практика застосування класичної теорії надійності для оцінювання метрологічної надійності ЗВТ, хоча науково доведено [7–9] її неадекватність. Зокрема, єдиним справедливим висновком класичної теорії надійності для метрологічних відмов є припущення про її випадковий характер [4]. Застосування як моделі дрейфу похибки ЗВТ процесу з одномірним нормальним законом розподілу призводить до методично неправильних результатів [4], коли ймовірність метрологічної відмови може мати від'ємне значення.

Звідси можна зробити висновок, що в умовах відсутності науково обґрунтованого методичного забезпечення оцінювання метрологічної надійності важливо здійснювати контроль метрологічної справності ЗВТ у період між плановими калібруваннями. Тому розроблення методів контролю похибки в реальних умовах експлуатації та оцінювання показників метрологічної надійності конкретних промислових ЗВТ є гострою потребою підвищення якості вимірювальних процесів у сучасних виробництвах.

**Постановка задачі.** Для підвищення об'єктивності встановлення міжкалібрувальних інтервалів необхідно розробити алгоритм оцінювання індивідуальної метрологічної надійності ЗВТ.

**Алгоритм оцінювання індивідуальної метрологічної надійності засобів вимірювань промислового застосування.** У метрологічній практиці для нормування метрологічної надійності ЗВТ використовують такі показники [10, 11]:

- $P_{МС}(t)$  – ймовірність метрологічної справності ЗВТ, дорівнює ймовірності того, що в заданий момент часу  $t$  ЗВТ виявиться метрологічно справним;
- $K_{МС}(t)$  – коефіцієнт метрологічної справності, дорівнює середній частці міжкалібрувального інтервалу, впродовж якого ЗВТ перебуває в метрологічно справному стані;
- $P(t)$  – ймовірність безвідмовної роботи, дорівнює ймовірності того, що впродовж заданого часу експлуатації метрологічна відмова не виникне.

Такий підхід до встановлення показників метрологічної надійності є наслідком нормування метрологічної надійності для типу ЗВТ, коли за результатами досліджень великої кількості однотипних ЗВТ знаходять усереднені показники метрологічної надійності, що не сприяє об'єктивному нормуванню індивідуальних показників метрологічної надійності. Для оцінювання індивідуальної метрологічної надійності ЗВТ необхідно вибирати характеристики, які можуть відображати значення та дрейфові властивості реальної похибки ЗВТ.

Аналізуючи похибки під час експлуатації ЗВТ, зміну похибки представляють у вигляді стаціонарного випадкового процесу  $D(t)$  зі сталим законом розподілу. При цьому задача аналізу зводиться до пошуку виду цього закону розподілу [1, 2, 4]. За таких умов метрологічно справний стан ЗВТ зберігається до того

моменту, доки миттєве значення випадкового процесу зміни похибки залишається в межах допустимого інтервалу зміни похибки  $[-D_{\text{дон}}, +D_{\text{дон}}]$ , а вихід випадкового процесу  $D(t)$  за ці межі класифікується як метрологічна відмова.

Неоптимальність такої моделі пояснюється тим, що ймовірність виходу випадкового процесу за межі  $\pm D_{\text{дон}}$  однакова, як в початковий момент його експлуатації, так і через певний відрізок часу. Тобто для такої моделі зміни похибки час між метрологічними відмовами сталий, що і покладено в основу рівномірних міжперевірювальних інтервалів.

Як показують дослідження [2, 4], впродовж періоду експлуатації ЗВТ є три основні етапи зміни його метрологічної стабільності. Протягом першого етапу істотно зростає ймовірність виходу похибки за встановлені межі, що зумовлено стабілізацією характеристик елементів. Другий етап характеризується високою стабільністю і відповідно низькою ймовірністю метрологічної відмови. Як правило, цей період триває від 3-го до 7-го року експлуатації [1, 2]. Третій етап характеризується значним зростанням похибки, часто у кілька разів, що є наслідком деградаційних процесів у елементах ЗВТ [1, 4].

Одним із основних недоліків традиційного нормування класу точності у вигляді симетричних, відносно нуля, допустимих меж зміни похибки полягає в тому, що такий стан не відповідає реальній практиці експлуатації ЗВТ. На початку експлуатації кожен конкретний ЗВТ володіє індивідуальними значеннями похибки та напрямом її часового дрейфу. Як показали дослідження, проведені в [2], для 75 % ЗВТ дрейф похибки відбувається до ближньої допустимої межі. Тому час до метрологічної відмови визначається метрологічним запасом (відстань реальної похибки від допустимої межі) та швидкістю дрейфу похибки.

Сьогодні відсутні науково доведені моделі дрейфу похибки ЗВТ з властивістю універсальності стосовно більшості ЗВТ [2, 4], тому основним шляхом забезпечення метрологічної справності ЗВТ упродовж міжкалібрувального інтервалу є встановлення значення реальної похибки на рівні 0,4...0,8 від допустимого значення. За такої практики метрологічна надійність конкретного ЗВТ визначається значенням метрологічного запасу похибки та стабільністю цього ЗВТ у кожен момент його експлуатації.

Враховуючи цю обставину, для підвищення об'єктивності нормування індивідуальної метрологічної

надійності доцільно нормувати похибку ЗВТ промислового застосування у вигляді систематичної похибки –  $\Delta_{\text{дон}} = \Theta(0)$ . Це дасть змогу представити метрологічний запас ЗВТ в окремій точці діапазону вимірювання відносним показником – коефіцієнтом метрологічного запасу –  $K_m$ :

$$K_m = \frac{\Delta_{\text{дон}} - \Delta}{\Delta_{\text{дон}}}, \quad (1)$$

де  $\Delta$  – значення похибки ЗВТ;  $\Delta_{\text{дон}}$  – допустиме значення похибки ЗВТ.

Перспективність застосування коефіцієнта метрологічного запасу –  $K_m$  для оцінювання метрологічної надійності ЗВТ розглянуто в [12]. Для створення умов оперативного коригування міжкалібрувальних інтервалів конкретних ЗВТ необхідно враховувати показники їх метрологічної стабільності. Наведені в [2] результати досліджень часових змін похибок для окремих ЗВТ показали, що для отримання вірогідних оцінок необхідні дані за 3–6 років. Очевидно, що традиційний підхід до оцінювання метрологічної надійності стає ефективним в кінці експлуатації ЗВТ.

Дослідження [3] показують, що для підвищення оперативності проведення робіт із коригування міжкалібрувальних інтервалів доцільно використовувати такий показник, як частота метрологічних відмов для груп однотипних ЗВТ –  $w$ . Оскільки в багатьох технологічних процесах експлуатуються групи однотипних ЗВТ, то за результатами оперативного контролю їх похибки можна впродовж одного року визначити середню частоту метрологічних відмов для груп однотипних ЗВТ.

Аналіз результатів експериментальних досліджень характеру метрологічних відмов [2] дав змогу визначити та узагальнити межі зміни частоти метрологічних відмов та її прискорення для різних видів ЗВТ. Результати аналізу зміни частоти метрологічних відмов та її прискорення для різних видів ЗВТ наведено у таблиці.

Оскільки дані, наведені в [2], отримані в умовах калібрувальних лабораторій, то можна очікувати, що для реальних умов застосування частота метрологічних відмов є значно вищою через негативний вплив реальних умов експлуатації ЗВТ.

Впровадження методів оперативного контролю похибок ЗВТ в умовах їх експлуатації відкриває широкі можливості використання методів прогнозування метрологічної надійності конкретних ЗВТ з використанням простих лінійних моделей.

**Частота та прискорення метрологічних відмов для різних видів ЗВТ**

Вид ЗВТ	Аналогові	Електронні	Цифрові
Частота метрологічних відмов, $w$ , 1/рік	0,18...0,23	0,38...0,45	0,27...0,39
Прискорення частоти метрологічних відмов, $a_w$ , 1/рік	0,03...0,07	0,06...0,11	0,05...0,12

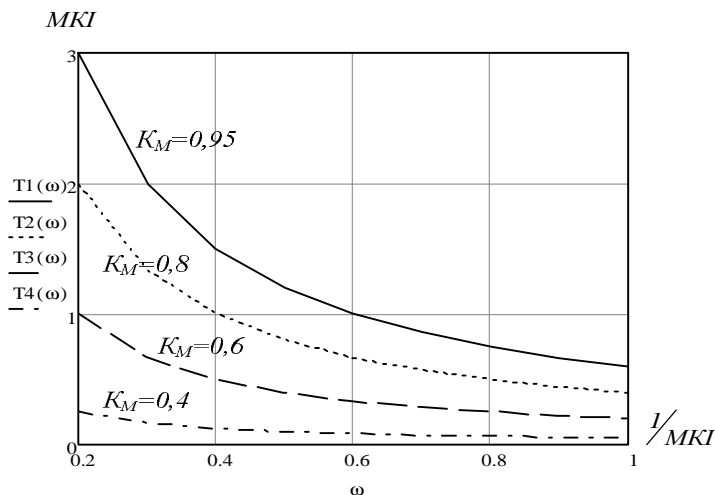


Рис. 1. Час до відмови  $T$  від зміни частоти метрологічних відмов  $w_M$  для значень  $K_M=0,4; 0,6; 0,8; 0,95$

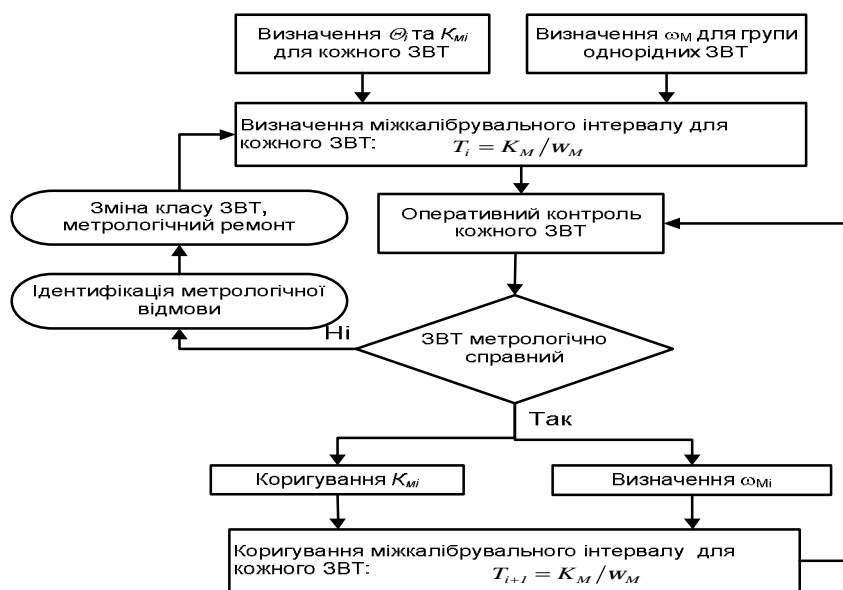


Рис. 2. Алгоритм оцінювання індивідуальної метрологічної надійності ЗВТ

Період до метрологічної відмови, залежно від значення  $K_M$  та частоти метрологічних відмов  $w_M$ , можна подати виразом:

$$T = \frac{K_M}{w_M}, \quad (2)$$

де  $w_M$  – частота метрологічних відмов.

Як видно з (2), для забезпечення умови розширення міжкалібрувальних інтервалів необхідно збільшувати коефіцієнт метрологічного запасу та зменшувати частоту метрологічних відмов. Ці задачі взаємно пов'язані і мають розв'язуватись підвищенням рівня організаційної та технічної складової метрологічного забезпечення виробництва.

На рис. 1 представлено результати моделювання залежності часу до метрологічної відмови  $T$  в одиницях міжкалібрувальних інтервалів від зміни мінімальної частоти метрологічних відмов  $w_M$  для різних значень коефіцієнта метрологічного запасу  $K_M$ .

Як видно із рис. 1, недоцільно забезпечувати мінімальну частоту метрологічних відмов  $w_M \leq 0,2$ , оскільки велика ймовірність втрати метрологічної справності ЗВТ до закінчення міжкалібрувального інтервалу.

За умови широкого впровадження методів оперативного контролю похибки ЗВТ перспективним шляхом підвищення надійності результатів вимірювань на етапі виготовлення продукції є впровадження методу оперативного коригування міжкалібрувальних інтервалів. Суть такого методу полягає в тому, що за результатами оперативного контролю похибок ЗВТ визначають їх реальні систематичні похибки –  $\Theta_i$  та оцінюють індивідуальний коефіцієнт метрологічного запасу –  $K_{mi}$ . За результатами експлуатації у цьому технологічному процесі однотипних ЗВТ оцінюють частоту метрологічних відмов  $w_M$  цих ЗВТ. Доцільність такого підходу до оцінювання частоти метрологічних відмов підтверджується доведеною у [2] систематичністю впливу умов експлуатації ЗВТ на їх похибку.

Для реалізації методу оперативного коригування міжкалібрувальних інтервалів доцільно використовувати такий алгоритм коригування міжкалібрувальних інтервалів.

Застосування запропонованого алгоритму для оцінювання індивідуальної метрологічної надійності ЗВТ має таку позитивну особливість, що дає змогу оцінювати метрологічну надійність конкретного ЗВТ без проведення багаторічних метрологічних досліджень, особливо якщо взяти до уваги твердження, висунуті у відомих наукових дослідженнях [2, 4].

Для підвищення ефективності робіт із оперативного моніторингу метрологічної надійності ЗВТ на різних етапах їх експлуатації доцільно здійснювати їх групування за рівнем їх метрологічної стабільності. Аналіз результатів експериментальних досліджень довготривалої стабільності ЗВТ показав, що для однотипних ЗВТ розкид часової стабільності може змінюватися у широких межах –  $(0,05 \dots 0,5) D_{дон}$  [2]. Тому доцільно здійснювати ранжування ЗВТ промислового застосування за стабільністю на три категорії: високої стабільності, середньої стабільності та низької стабільності. Можна запропонувати такі умови поділу ЗВТ на категорії за стабільністю:

високої стабільності –  $\Delta_{II} = (0 \dots 0,1) \cdot \Theta$ ;

середньої стабільності –  $\Delta_{II} = (0,1 \dots 0,3) \cdot \Theta$ ;

низької стабільності –  $\Delta_{II} = (0,3 \dots 0,7) \cdot \Theta$ .

Застосування запропонованого алгоритму оцінювання індивідуальної метрологічної надійності ЗВТ дасть змогу підвищити оперативність та об'єктивність виявлення метрологічних відмов, а також мінімізувати втрати виробництва від прихованих метрологічних відмов.

**Висновки.** Оскільки важливим елементом забезпечення якості вимірювань у промисловості є забезпечення метрологічної надійності ЗВТ, то необхідно впроваджувати в метрологічну практику методи оцінювання індивідуальної метрологічної надійності ЗВТ. Впровадження методів оперативного контролю похибок ЗВТ в умовах їх експлуатації відкриває широкі можливості використання методів прогнозування метрологічної надійності конкретних ЗВТ з використанням простих лінійних моделей. Поки що відсутні науково доведені моделі дрейфу похибки ЗВТ, які володіють властивістю універсальності, тому основним способом забезпечення метрологічної справності ЗВТ під час їх експлуатації є впровадження алгоритмів оцінювання їх метрологічної надійності. Розроблено алгоритм оцінювання метрологічної надійності ЗВТ на основі коефіцієнта метрологічного запасу та середньої частоти метрологічних відмов однотипних ЗВТ, що створює додаткові можливості оперативного виявлення метрологічних відмов та забезпечує підвищення обґрунтованості встановлення міжкалібрувальних інтервалів.

Показано доцільність ранжування засобів вимірювань промислового застосування за стабільністю на три категорії: високої, середньої та низької стабільності, що створює додаткові можливості підвищення ефективності вимірювань на етапі виготовлення продукції.

1. Екимов А.В. *Надёжность средств электроизмерительной техники* / А.В. Екимов, М.И. Ревяков. – Л.: Энергоатомиздат, 1986. – 320 с. 2. Новицкий П.В. *Динамика погрешностей средств измерений* / П.В. Новицкий, И.А. Зограф, В.С. Лабунец. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат, 1990. – С. 192. 3. Микийчук М.М. *Метрологічне забезпечення якості продукції на стадії виготовлення: дис. д-ра техн. наук* / М.М. Микийчук. – Львів, 2012. – С. 292. 4. Фридман А.Э. *Теория метрологической надежности средств измерений и других технических средств, имеющих точностные характеристики: дисс. д-ра*

- техн. наук / А.Э. Фридман. – М., 1994 – С. 423. 5. Данилевич С.Б. Метрологическое обеспечение производства и качество продукции / С.Б. Данилевич, С.С. Колесников // Законодательная и прикладная метрология. — 2007. — № 2. — С. 6–9. 6. Данилов Е.А. Хорош ли продолжительный межповерочный интервал для теплосчётчиков при расширенном диапазоне измерения расхода / А.Е. Данилов, И.Н. Бригаденко, Г.Н. Иванова, Е.Ю. Парамонова // Энергосбережение, 2003, №5 – С. 17. 7. Конюхов А.Г. Автоматизация поверки: старые подходы и перспективные принципы / А.Г. Конюхов // Измерительная техника. – 1987. – № 11. – С. 14–15. 8. Микийчук М.М. Засоби повірки вторинних пристроїв контактної термометрії на основі активних імітаторів опору: автореф. дис. д-ра техн. наук / М.М. Микийчук. – Львів, 1998. 9. Яцук В.О. Розвиток теорії та методів підвищення якості засобів вимірювальної техніки з використанням кодированих мір: автореф. дис. д-ра техн. наук / В.О. Яцук. – Львів, 2004. 10. РМГ 74-2004 ГСИ. Методы определения межповерочных и межкалибровочных интервалов средств измерений. 11. ГОСТ 8.565-99. ГСИ. Порядок установления и корректировки межповерочных интервалов эталонов. 12. Микийчук М.М. Актуальні питання метрологічної надійності промислових ЗВТ / М.М. Микийчук // Методи та прилади контролю якості: наук.-техн. журнал Івано-Франківського національного технічного університету нафти та газу. – 2009. – № 23. – С. 126–129.

УДК 621.311.13

## НОВІ НОРМАТИВНІ ВИМОГИ СТОСОВНО ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ДЛЯ ЖИВЛЕННЯ ЕЛЕКТРОННОГО ТА ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО УСТАТКУВАННЯ

О Ванько Володимир, Фецул Наталія, 2013

Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра метрології, стандартизації та сертифікації,  
вул. С. Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

*Проаналізовано проблематику дослідження та контролю якості електроенергії у мережах постачання споживачів. Поставлено головні задачі, котрі полягають у встановленні причин погіршення якості електроенергії та визначенні місця появи негативного процесу в мережі. З урахуванням класифікації видів навантажень та споживання ними електроенергії запропоновано розвиток методики виконання вимірювань показників якості електроенергії та нові показники, що дають змогу отримати додаткову інформацію для розв’язання вказаних задач.*

*Проанализировано проблематику исследования и контроля качества электроэнергии в сетях снабжения потребителей. Поставлены главные задачи, которые состоят в определении причин ухудшения качества электроэнергии и нахождении места возникновения негативного процесса в сети. Исходя из классификации видов нагрузок и потребления ими электроэнергии, предложены развитие методики выполнения измерений показателей качества электроэнергии и новые показатели, позволяющие получить дополнительную информацию для разрешения указанных задач.*

*The analysis of the problems of research and quality control of electricity supply to customers in the networks. Delivered the main tasks are to identify the causes of deterioration of power quality and location of the place of occurrence of the negative processes in the network. Based on the classification of types of loads and their consumption of electricity, proposed the development of a method of measuring the quality of electricity and new indicators to get more information to resolve these problems.*

**Вступ.** Електричну енергію (ЕЕ) зараховують до важливого виду енергетичних ресурсів, за допомогою якого здійснюються виробничі процеси у промис-

ловості та аграрному секторі, діяльність у туристичній галузі й спорті, а також забезпечуються побутові та культурні потреби людства. Враховуючи масовий