

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**Факультет інженерно-технологічний**  
**Кафедра енергетики та електротехнічних систем**

До захисту  
Допускається  
В.о. завідувача кафедри

Олександр ЮРЧЕНКО

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
за магістерським рівнем вищої освіти

На тему: «Дослідження систем моніторингу та діагностики стану електричних лічильників»

Виконав

\_\_\_\_\_

(підпис)

Євген ТЯГНИБІДА

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Група:

ЗЕТЕ 2401м

Науковий керівник:

\_\_\_\_\_

(підпис)

Ганна БАРСУКОВА

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Рецензент:

\_\_\_\_\_

(підпис)

Олена ДОВЖИК

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Суми – 2025

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет **інженерно-технологічний**

Кафедра **енергетики та електротехнічних систем**

Ступінь вищої освіти «**Магістр**»

Спеціальність **141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»**

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри  
енергетики та електротехнічних систем

**Андрій ЧЕПЖНИЙ**

«5» вересня 2024 року

---

**ЗАВДАННЯ**  
на кваліфікаційну роботу  
**Євгену ТЯГНИБІДІ**  
(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

1. Тема кваліфікаційної роботи: Дослідження систем моніторингу та діагностики стану електричних лічильників
2. Керівник кваліфікаційної роботи: Барсукова Ганна Володимирівна, к.т.н., доцент
3. Строк подання здобувачем роботи: «14» листопада 2025 року.
4. Вихідні дані до роботи: документація з принципу роботи та характеристик лічильників електричної енергії, ПУЕ, ПБЕ, нормативні документи для проведення досліджень, державні стандарти та нормативи, методичні рекомендації до виконання проекту (роботи).
5. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Вступ; Розділ 1. Аналіз стану питання; Розділ 2. Теоретичні та експериментальні дослідження; Розділ 3. Обґрунтування параметрів систем; Розділ 4. Охорона праці; Розділ 5. Техніко-економічні розрахунки; Висновки; Список використаних джерел
6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: Презентація

Керівник роботи:

\_\_\_\_\_ (підпис)

**Ганна БАРСУКОВА**  
(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Завдання прийняв до виконання

\_\_\_\_\_ (підпис)

**Євген ТЯГНИБІДА**  
(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Дата отримання завдання «5» вересня 2024 року

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів	Примітка
1.	Збір інформації про діяльність господарства	до 02.08.2025 р.	
2.	Аналіз літературних джерел з обраної тематики	до 16.08.2025 р.	
3.	Складання плану роботи	до 21.08.2025 р.	
4.	Написання вступу	до 24.08.2025 р.	
5.	Підготовка розділу «Розділ 1. Аналіз стану питання»	до 30.08.2025р.	
6.	Підготовка розділу «Розділ 2. Теоретичні та експериментальні дослідження»	до 19.09.2025 р.	
7.	Підготовка розділу «Розділ 3. Обґрунтування параметрів систем»	до 03.10.2025 р.	
8.	Підготовка розділу «Розділ 4. Охорона праці»	до 08.10.2025 р.	
9.	Підготовка розділу «Розділ 5. Техніко-економічні розрахунки»	до 20.10.2025 р.	
10.	Написання висновків та пропозицій	до 25.10.2025 р.	
11.	Подання роботи на перевірку унікальності до експертної ради факультету	до 01.11.2025 р.	
12.	Подання роботи на рецензування	до 07.11.2025 р.	
13.	Подання до попереднього захисту	до 14.11.2025 р.	

Керівник роботи:

\_\_\_\_\_

(підпис)

Ганна БАРСУКОВА

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Здобувач

\_\_\_\_\_

(підпис)

Євген ТЯГНИБІДА

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

## АНОТАЦІЯ

Магістерська робота складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел. Роботу викладено на 44 аркушах друкованого тексту, складається з 12 рисунків.

Метою даної роботи є дослідження систем моніторингу та діагностики стану електричних лічильників. Актуальність роботи полягає в визначенні ряду параметрів, за якими лічильник повинен проходити перевірку. В результаті таких перевірок лічильник може бути допущеним до подальшого використання або недопущеним. Окремим випадками є налаштування його під параметри мережі, за яких він буде функціонувати. Такі операції досить часто називають операціями з калібрування електричних лічильників.

Тому, перед даним дослідженням ставляться такі задачі:

- проаналізувати доцільність проведення випробувань лічильників електричної енергії;
- розглянути на прикладі закордонних публікації існуючий досвід з реалізації перевірок та випробувань лічильників електричної енергії;
- розглянути стенд для випробування лічильників електричної енергії, за рахунок якого є можливість:
  - 1) тестування лічильників за стандартних параметрів системи;
  - 2) випробування лічильників за зміни параметрів системи, тобто, відхилення параметрів від заданих показників мережі;
  - 3) визначення можливості використання кожного з випробовуваних лічильників в подальшому споживачем – населенням.

Ключові слова: лічильник електричної енергії, стенд випробування лічильників електричної енергії, параметри електричної мережі, якість, ефективність, надійність, показники, витрата, облік електроенергії.

## **ABSTRACT**

The master's thesis consists of an introduction, 5 chapters, conclusions, a list of sources used. The work is presented on 44 sheets of printed text, consists of 12 figures.

The purpose of this work is to study the systems for monitoring and diagnosing the state of electric meters. The relevance of the work lies in determining a number of parameters by which the meter must be checked. As a result of such checks, the meter may be allowed for further use or not allowed. Individual cases are its adjustment to the network parameters under which it will function. Such operations are often called operations for calibrating electric meters.

Therefore, this study is set the following tasks:

- to analyze the feasibility of testing electric energy meters;
- to consider the existing experience in implementing checks and tests of electric energy meters using the example of foreign publications;
- to consider a stand for testing electric energy meters, due to which it is possible:
  - 1) testing meters with standard system parameters;
  - 2) testing meters with changes in system parameters, that is, deviations of parameters from the specified network indicators;
  - 3) determining the possibility of using each of the tested meters in the future by the consumer - the population.

Keywords: electricity meter, electricity meter test stand, electricity network parameters, quality, efficiency, reliability, indicators, consumption, electricity metering.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ.....	9
1.1. Загальні твердження.....	9
1.2. Основні положення.....	13
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	16
РОЗДІЛ 3. ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ.....	26
3.1. Загальні твердження.....	26
3.2. Випробувальний стенд лічильників електричної енергії.....	27
3.3. Випробувальний стенд лічильників електричної енергії.....	29
3.4. Параметри системи.....	31
3.5. Випробувальний стенд в роботі з лічильниками електричної енергії.....	33
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	35
РОЗДІЛ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ .....	38
ВИСНОВКИ.....	41
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	42

## ВСТУП

Облік електричної енергії є невід'ємною частиною функціонування установ, що працюють на забезпечення населення необхідною кількістю електричної енергії. Під поняттям необхідної кількості електричної енергії мається на увазі, у тому числі, і її якість.

Дану роботу спрямовано на дослідження систем для моніторингу стану електричних лічильників. Така операція може бути здійсненою з використанням спеціальних стендів для випробування електричних лічильників. Велика кількість параметрів для такого устаткування вимагає індивідуального підходу до визначення придатності або непридатності лічильника до використання. Зокрема, параметрами є:

- навантаження на різних потужностях та режимах роботи;
- стрибки напруги;
- максимальний струм;
- зміна частоти мережі;
- стійкість до механічних впливів;
- інше.

Тому, актуальним є дослідження устаткування, спрямованого на визначення параметрів роботи випробувального стенду для лічильників електричної енергії. Досить важливим це є з метою налаштування лічильників на необхідні параметри їх роботи, тобто, середовища, в якому ними буде здійснюватися облік електричної енергії.

Об'єктом даного дослідження є повний цикл перевірки, обслуговування та ремонту лічильників електричної енергії.

Предметом даного дослідження є стенд з перевірки лічильників електричної енергії.

В підтвердження доцільності проведення такого аналізу необхідно підкреслити наявність відповідних вимог Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів та Правил улаштування електроустановок.

Перед даним дослідженням ставляться такі задачі:

- проаналізувати доцільність проведення випробувань лічильників електричної енергії;

- розглянути на прикладі закордонних публікації існуючий досвід з реалізації перевірок та випробувань лічильників електричної енергії;

- розглянути стенд для випробування лічильників електричної енергії, за рахунок якого є можливість:

- 1) тестування лічильників за стандартних параметрів системи;

- 2) випробування лічильників за зміни параметрів системи, тобто, відхилення параметрів від заданих показників мережі;

- 3) визначення можливості використання кожного з випробовуваних лічильників в подальшому споживачем – населенням.

Реалізацію поставлених завдань доцільно провести з використанням закордонного досвіду на наукових статей, а також з сертифікованим, спеціально призначеним для цього електроустаткуванням – серійного виробництва стендами для випробування лічильників електричної енергії.

## РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ

### *1.1. Загальні твердження*

Експлуатація лічильників електричної енергії може бути допустимою з виконанням ряду факторів. Одним із таких факторів є відповідність лічильника параметрам електричної мережі. Якщо вести мову про них, то це не лише, струмові характеристики, напруга, частота, кількість плюсів тощо. Це, одночасно, і режими навантаження, різні тарифи, для прикладу, день та ніч і т.п.

Відповідність лічильника електричної енергії встановленим параметрам, за якими він буде виконувати роботу, має перевірятися з певною періодичністю. Це і є повіркою лічильників електричної енергії. Тому, розділ з аналізу стану питання доцільно провести у відповідності до нормативного забезпечення, базуючись на відповідних нормативних документах, нормах, правилах та вимогах.

Для прикладу в аналізі використання лічильників та їх параметрів пропонується розглянути дві ситуації. Однак, в реальності їх може бути значно ширший перелік, проте зупинимося на указаних трьох.

Першим варіантом огляду є єдине постачання електричною енергією приватного будинку від загальної мережі, що зображено на рисунку 1.1. В такому випадку, лічильник електричної енергії працює виключно на вимірювання спожитої електричної енергії. Перевагою користування таким типом живлення приватного будинку є виключно простота системи і не більше. Проте, у випадку досягнення енергетичної незалежності споживачем електричної енергії, доцільним є використання джерел резервного живлення.

В описаному першому варіанті електропостачання живлячі провідники, як фазний, так і нейтральний, підходять одночасно з ліній електропередачі на вхід лічильника, а потім до щита квартири, приватного будинку, певної ділянки тощо.

В такому випадку, лічильником відбувається облік усієї електричної енергії, що споживається впродовж певного проміжку часу. Жоден з живлячих провідників не проходить мимо даного лічильника.

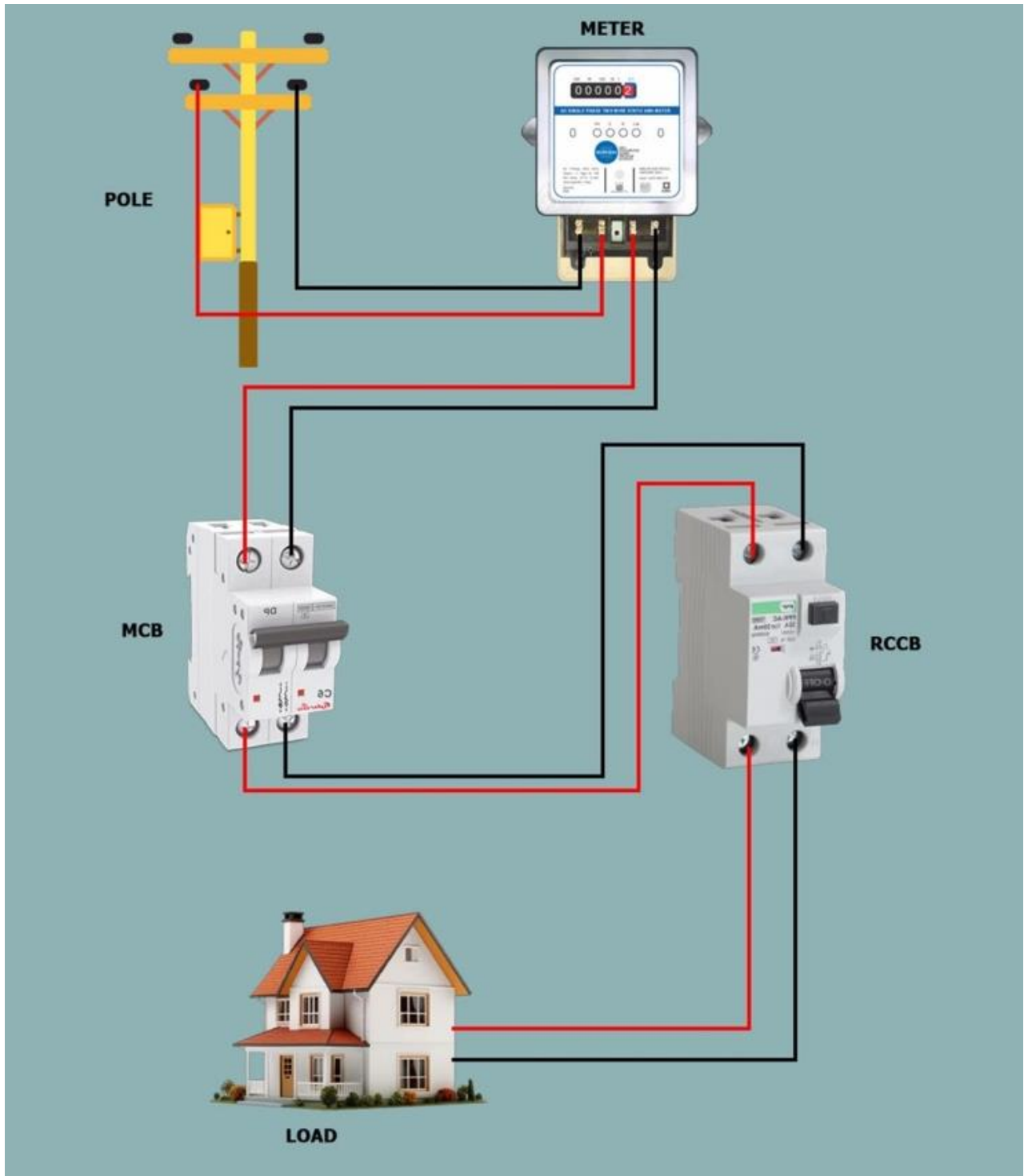


Рисунок 1.1. Електропостачання приватного будинку від загальної мережі

Другим варіантом аналізу підключення лічильника електричної енергії є варіант використання резервних джерел живлення для споживачів електричної енергії. В такому випадку, облік електричної енергії повинен бути здійсненим для живлячих провідників загальної мережі. Якщо вести мову про живлячі провідники від резервних джерел живлення, то дане джерело електричної енергії є особистим та індивідуальним для споживача і плату за надану електричну енергію споживач не здійснює. Питання забезпечення даного електроустаткування покладається виключно на споживача, а облік споживаної електричної енергії, якщо є у цьому певна необхідність, споживач здійснює самостійно без контролю за даним процесом від провідного електроенергетичної компанії. Хоча, в переважній більшості необхідності в проведенні обліку електроенергії від резервного джерела живлення для споживача немає.

На рисунку 1.2 зображено приклад такого використання різних джерел живлення для споживача. В даному випадку представлено живлення від загальної мережі та від генераторної установки. Серед інших видів джерел резервного живлення можуть бути:

- сонячні електростанції;
- вітроенергетичні установки;
- гідроустановки;
- інші види.

В даному випадку, на рисунку 1.2 одночасно представлено необхідні елементи електропостачання, від яких залежить, у тому числі, і безпека для споживача, зокрема пристрій захисного відключення на вводі та автоматичний вимикач.

Аналізом рисунку можна виділити розташування та підключення лічильника електричної енергії виключно на вводі до АВР (автоматичного ввімкнення резерву) від ліній електропередачі загальної мережі. Облік електричної



## 1.2. Основні положення

Серед основних нормативно-правових документів для висвітлення актуальності даного дослідження необхідно виділити:

- Правила улаштування електроустановок;
- Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів.

Повірка лічильників електричної енергії має бути здійсненою у відповідності до проміжків та інтервалів, що регламентовані дійсними Правилами, а також заводом-виробником відповідної електротехнологічної продукції.

Структуровано, процедура перевірки лічильників електричної енергії поділяється на такі етапи:

- збір лічильників електричної енергії;
- встановлення лічильників на випробувальний стенд;
- підключення відповідного програмного забезпечення на персональному комп'ютері;
- вибір методики перевірки;
- запуск програми для перевірки;
- зміна параметрів перевірки один відносно одного, режимів, навантажень тощо;
- витримка часу на випробування 30-40 хвилин;
- визначення погрішності вимірів лічильників електричної енергії.

По проходженні процедури перевірки лічильників електричної енергії програмним забезпеченням фіксуються результати проходження, у тому числі і режими холостого ходу, тобто мінімального навантаження, а також з максимальним струмовим навантаженням. Програмою самостійно відбувається відбір і виокремлення лічильників, які не відповідають вимогам з експлуатації. На всі лічильники, які успішно пройшли процедуру випробування, встановлюють відповідні позначення з датою перевірки та датою наступної перевірки, а також

реєстрація відповідних документів по проходженню перевірки лічильників електричної енергії з метою передачі їх до відповідної особи або на підприємство, звідки лічильник демонтовано для проведення операції повірки.

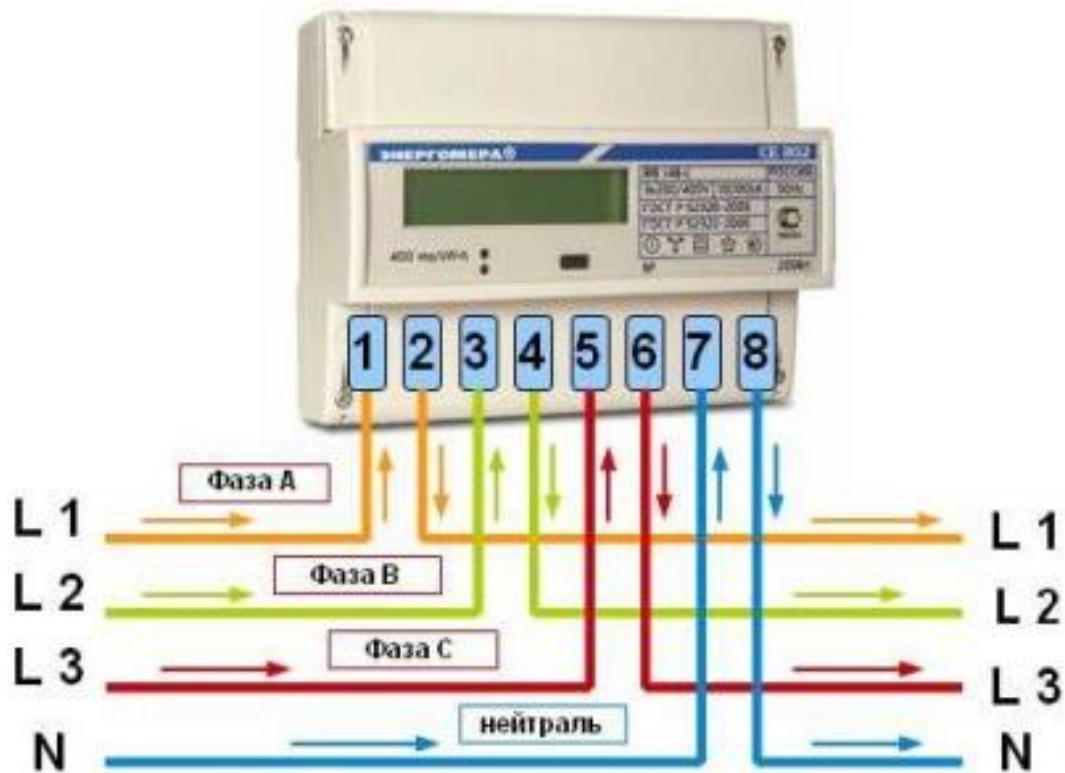


Рисунок 1.3. Розміщення контактів для підключення провідників трифазного лічильника електричної енергії

Лічильники електричної енергії перевіряються за кількома критеріями, серед яких основними є

- правильність показань;
- достовірність класу точності;
- цілісність корпусу лічильника;
- точність вимірювання;
- наявність механічних та інших видів ушкоджень.

Необхідно також підкреслити, що визначення погрішності показів лічильників необхідно виконувати не лише по указаним вище критеріям, а і у відповідності до позначень, якщо дані лічильники є багатотарифними. Для прикладу, на рисунку 1.4 представлено алгоритм визначення показників таких лічильників електричної енергії.

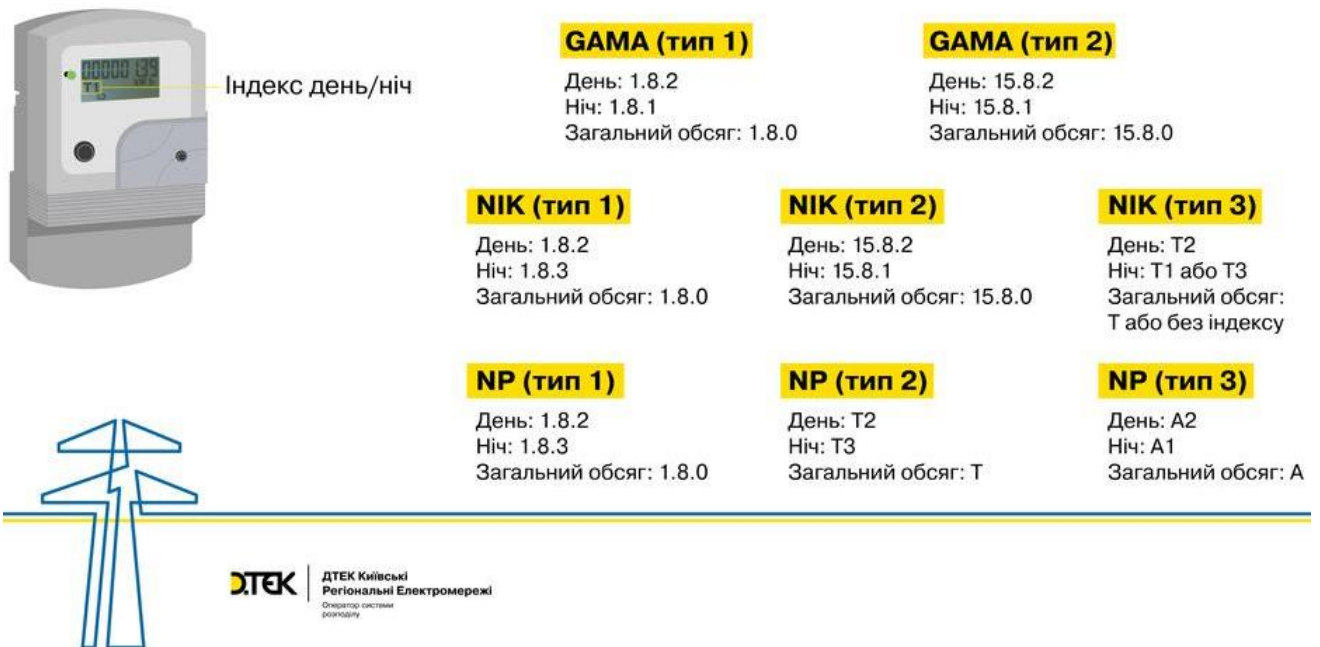


Рисунок 1.4 Визначення показників та тарифами день-ніч лічильників електричної енергії

У різних типів лічильників відображення для зон має різні індекси у відповідності з рисунком 1.4:

- для лічильників типу GAMA зону «день» на дисплеї відображають з індексом «1.5.8.2» чи «1.8.2», зону «ніч» — «1.5.8.1» чи «1.8.1»;
- лічильник типу NiK: «день» — «1.8.2» чи «1.5.8.2», T2, а зона «ніч» — «1.8.3» чи «1.5.8.1», T1 чи T3;
- лічильник типу NP чи МТХ, – зона «день» — «A2» чи «1.8.2», T2, зона «ніч» — «A1» чи «1.8.3», T3.

## РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Облік електроенергії – ключ до комерціалізації електроенергії. Виступаючи у ролі посередника між постачальником та споживачем, однофазний лічильник електроенергії забезпечує документальне підтвердження для нарахування плати та справедливості торгівлі електроенергією [1]. Для координації розвитку енергосистеми електrolічильники були модернізовані до інтелектуальних, тобто електронних, а саме, лічильників електроенергії, які не тільки служать для обліку електроенергії, але й закладають основу для багатьох сучасних додатків [1].

Для забезпечення точності електrolічильників необхідно проводити обов'язкову перевірку їх, що включає ряд пунктів, наприклад, зовнішній огляд, випробування на міцність під напругою, перевірку на наявність помилок і т. д., що реалізується у відповідності до нормативних актів, наприклад, «ІЕС 62053-21: 2020 Устаткування для облік» [1].

Калібрувальні пристрої автоматичної системи перевірки використовуються для перевірки точності інтелектуальних лічильників електроенергії. З часом калібрувальні пристрої можуть відчувати погіршення характеристик вимірювання, що робить результати тестів на помилки зміщеними. Тому, дуже важливо гарантувати, що калібрувальні пристрої мають кваліфіковані характеристики вимірювання. Традиційно їхню продуктивність можна було перевіряти лише вручну через регулярні проміжки часу, при цьому вони залишалися невідомими під час роботи. Для вирішення цієї проблеми пропонується метод виявлення аномалій в режимі реального часу, що базується на паралельному режимі роботи калібрувальних пристроїв, для перевірки їх характеристик вимірювання в режимі реального часу. Замість автономних перевірок характеристики вимірювання пристрою зв'язуються з відповідними результатами тестів на наявність помилок, а порівняння розподілів, засновані на результатах, що відповідають різним калібрувальним пристроям, нададуть докази для виявлення тих, у яких

характеристики вимірювання не були кваліфіковані, без переривання завдань перевірки. З іншого боку, проводиться дослідження випадку підтвердження достовірності [1].

Для лічильників електричної енергії основою характеристикою є точність, що закладено в показник продуктивності, якому приділяється найбільша увага під час перевірки. Щоб перевірити, чи відповідають вимірювальні характеристики лічильника номінальному класу точності (1 або 2), повинен бути проведеним тест на похибку за допомогою апаратної платформи, яка називається калібрувальним пристроєм, номінальний клас точності якого становить 0,1. Тільки калібрувальний пристрій має кваліфіковані вимірювальні характеристики, а результати тестів на похибку будуть достатньо надійними. Проте, калібрувальні пристрої можуть зазнавати погіршення вимірювальних характеристик або навіть перевищувати межі похибки під тривалим впливом електрики, магнетизму, тепла тощо, що робить результати зміщеними. Тому у зв'язку з життєво важливою роллю калібрувальних пристроїв дуже важливо гарантувати, що їх вимірювальні характеристики кваліфіковані.

Традиційно калібрувальні пристрої регулярно перевіряються вручну для перевірки їх вимірювальних характеристик, а результати є керівництвом для технічного обслуговування та капітального ремонту. Однак показання вимірювальних пристроїв можна отримати лише через регулярні інтервали, зазвичай кожні три місяці, і відхилення не будуть виявлені вчасно, якщо погіршення показників відбудеться протягом цих інтервалів. У цьому випадку калібрувальні пристрої з незадовільними вимірювальними характеристиками не будуть відключені від контролера, а продовжать використовуватися для перевірки помилок до наступної ручної перевірки, що призведе до значної кількості необ'єктивних результатів випробувань. Більш того, можуть бути отримані помилкові міркування про показники вимірювальних пристроїв лічильників, що створює ризик того, що пристрої з фактично незадовільними вимірювальними

характеристиками будуть допущеними до енергосистеми, що вплине на справедливість торгівлі електроенергією і може призвести до суперечок. Хоча цей ризик можна знизити за рахунок більш короткого інтервалу, завжди існує обмеження щодо трудових та матеріальних ресурсів, а часті перевірки значно зменшать ефективність, що суперечить меті розробки контролерів [1].

Останніми роками електроенергетичні системи стають дедалі складнішими. Використання розподіленої генерації, підключення нелінійних навантажень та наявність несподіваних збоїв системи генерують багато гармонік та шуму. Тому, реєстрація електроенергії стає все більш проблематичною з кожним днем, і для подолання цих проблем потрібний точний та надійний метод оцінки. Звичайні лічильники ват-годин (електромеханічні) використовуються в більшості частин світу вже більше півстоліття, але їх точність негативно позначається на наявності гармонік. У статті [2] представлено розробку та реалізацію мікропроцесорного інтелектуального трифазного лічильника електроенергії, що забезпечує точне вимірювання електроенергії, навіть за наявності гармонік. Більше того, при виникненні несправності в будь-якому з вторинних ланцюгів трансформатора напруги або котушки тиску вимірювального приладу, пристрій може виявити несправність і зареєструвати фактичну енергію. Мікропроцесор забезпечує просте, точне, надійне та економічне вирішення цих завдань. Наведено структуру апаратної схеми та програму мовою асемблера з метою оцінки значень енергії, і навіть розглянуто проблеми, куди слід звернути увагу під час виконання запропонованого алгоритму з допомогою мікропроцесора. Наочні результати лабораторних випробувань підтверджують обґрунтованість та точність запропонованого методу у режимі реального часу [2].

Інтелектуальний або електронний лічильник — це вдосконалений лічильник електроенергії, який вимірює споживання електроенергії, надаючи додаткову інформацію порівняно із звичайним лічильником електроенергії. Інтеграція інтелектуальних лічильників в електромережу включає реалізацію різних

технологій і програмного забезпечення в залежності від функцій, які вимагає ситуація. Конструкція інтелектуального лічильника залежить від вимог комунальної компанії та клієнта. У статті [3] розглядаються різні функції та технології, які можуть бути інтегрованими з інтелектуальним лічильником. Фактично, розгортання інтелектуальних лічильників вимагає правильного вибору та впровадження мережі зв'язку, що відповідає стандартам безпеки зв'язку інтелектуальної мережі. У статті описуються різні проблеми та завдання, пов'язані з проектуванням, розгортанням, використанням та обслуговуванням інфраструктури інтелектуальних лічильників та випробувальних стендів для лічильників електроенергії. Крім того, докладно обговорюються кілька сфер застосування та переваг інтелектуальних лічильників з погляду майбутнього ринку електроенергії. Стаття пояснює важливість впровадження інтелектуальних лічильників у країнах, що розвиваються. Крім того, також ілюструється стан інтелектуальних лічильників у різних країнах [3].

Інтелектуальний лічильник — це вдосконалений лічильник електроенергії, який вимірює споживання енергії споживачем та надає комунальній компанії додаткову інформацію порівняно із звичайним лічильником. Інтелектуальні лічильники можуть зчитувати дані про споживання енергії в режимі реального часу, включаючи значення напруги, фазового кута та частоти, та безпечно передавати ці дані. Здатність інтелектуальних лічильників до двонаправленої передачі даних дозволяє збирати інформацію про електроенергію, що повертається назад до мережі з приміщення клієнта. Система інтелектуальних лічильників включає:

- інтелектуальний лічильник;
- комунікаційну інфраструктуру;
- пристрої управління.

Інтелектуальні лічильники можуть обмінюватися даними та виконувати команди управління як віддалено, так і локально. Інтелектуальні лічильники можуть використовуватися для моніторингу та керування всіма побутовими

приладами та пристроями у приміщенні клієнта. Вони також можуть збирати діагностичну інформацію про розподільну мережу, побутові прилади та взаємодіяти з іншими лічильниками, що знаходяться в зоні їх дії. Вони можуть вимірювати споживання електроенергії з мережі, підтримувати децентралізовані джерела генерації та накопичення енергії, а також виставляти рахунки клієнтам. Дані, що збираються інтелектуальними лічильниками, є комбінацією таких параметрів:

- унікальний ідентифікатор лічильника;
- тимчасова мітка даних;
- значення споживання електроенергії.

Інтелектуальні лічильники можна запрограмувати таким чином, щоб оплачувалася тільки електроенергія, що споживається з комунальної мережі, а електроенергія, що споживається від розподілених джерел енергії або накопичувачів, що належать споживачам, не сплачувалася [3].

Система інтелектуальних лічильників використовує кілька пристроїв керування, різні датчики визначення параметрів і пристроїв для передачі даних і командних сигналів. У майбутніх мережах розподілу електроенергії інтелектуальні лічильники відіграватимуть важливу роль у моніторингу продуктивності та характеристик використання енергії навантаженням у мережі. Регулярний збір даних про споживання енергії від усіх клієнтів дозволяє комунальним компаніям ефективніше керувати попитом на електроенергію, а також консультувати клієнтів про економічно ефективні засоби використання їх приладів. У цьому світлі інтелектуальні лічильники можуть використовуватися для управління освітленням, опаленням, кондиціонуванням повітря та іншими приладами [3].

Моніторинг якості електроенергії відіграє важливу роль у парадигмі інтелектуальних мереж, де інтелектуальні лічильники є одним із основних елементів мережі для вимірювання споживання електроенергії та виявлення порушень якості електроенергії. Інтелектуальні датчики є концепцією пристрою,

що включає чутливий елемент, можливості обробки сигналів, комунікації та інтеграції [4]. Інтелектуальні лічильники є одним з основних компонентів майбутньої інтелектуальної мережі, вони дозволяють віддалено контролювати кожен точку мережі, щоб у режимі реального часу знати продуктивність системи і виявляти потенційні збої. У статті [4] представлено інтелектуальну сенсорну мережу та найважливіші функції представлені у трьох різних сценаріях:

- 1) житловому будинку;
- 2) промисловій установці;
- 3) громадській будівлі.

Пропонована система демонструє свої можливості обробки у реальному часі на місці та автономної мережевої обробки великих даних. Пропонований інтелектуальний лічильник заснований на технології програмованої вентиляційної матриці, яка дозволяє архітектуру, що реконфігурується, яка дає користувачеві можливість вибирати правильні модулі обробки відповідно до їх застосування. Розроблена інтелектуальна сенсорна мережа обчислює стандартні показники, такі як ефективні значення, коефіцієнт потужності та повний коефіцієнт гармонічних спотворень; крім того, вона виявляє порушення якості електроенергії, такі як провали, викиди або переривання. Більш того, інтелектуальна сенсорна мережа може безперервно виявляти події для ідентифікації певних видів приладів або промислового обладнання, таких як: вентилятори, освітлення, мікрохвильові печі, холодильники тощо; це потужний інструмент для аналізу всієї будівлі за допомогою неінтрузивного підходу до моніторингу навантаження [4].

Тому, і якість електроенергії, згідно з міжнародними стандартами, розглядається як відповідність форми напруги суто синусоїдальній формі. Будь-яке зі спотворень ідеальної синусоїдальної форми вважається на порушенням. Однак, стандарти встановлюють граничні значення, що дозволяють розглядати конкретне спотворення [4]. Це реалізується використанням нових лічильників та спеціальних установок з їх діагностування, а також випробування.

Лічильники електроенергії повинні бути калібровані для використання в проектах вимірювань та верифікації. Однак, калібрування може бути надмірно дорогим та негативно впливати на здійсненність проекту. У дослідженні [5] представлено новий недорогий метод калібрування даних лічильника на місці з використанням комерційного лічильника електроенергії щодо низької точності як калібратор. Калібрування досягається шляхом об'єднання двох інструментів машинного навчання:

- моделі похибки вимірювання;
- байесівської регресії.

Модель навчається або калібрується на півгодинних даних про енергоспоживання будівлі протягом 24 годин. Потім виміри порівнюються з дійсними значеннями протягом наступних місяців для перевірки методу. Результати показують, що гібридний метод значно покращує оцінки параметрів та якість припасування в порівнянні з регресією найменших квадратів або стандартним SIMEX. У дослідженні [5] також розглядається вплив помилок вимірювання на моніторинг електроенергії та реалізується потужний метод зменшення зміщення, яке виникає через це. Лічильники, відкалібровані за допомогою представленої методики, мають достатню точність для більшості застосувань вимірювань та верифікації при значно нижчій вартості.

Складність обчислень у тому, що економію неможливо виміряти напряму. Натомість створюється математична модель поведінки енергосистем на основі вимірювань, проведених до втручання. Ця модель може використовувати квантаріати, такі як температура зовнішнього повітря, зайнятість або вироблення для характеристики енергоспоживання об'єкта. Потім модель прогнозує, яким би було енергоспоживання після втручання, якби втручання не проводилося. Різниця між цим прогнозованим значенням та фактично виміряним споживанням енергії і є економія [5]. Лічильники необхідно перевіряти, але це може бути занадто дорогим,

слід вивчити можливість перевірки встановленого лічильника за допомогою іншого комерційного (а не лабораторного) лічильника точності (рисунок 2.1).



Рисунок 2.1. Повірка лічильників без демонтажу для лабораторних умов

Економія коштів від використання методу, пропонуваного в статті [5], залежатиме від кількості лічильників, які пройшли дисциплінарну перевірку замість відправки до лабораторії калібрування (рисунок 2.2). Економія коштів для клієнта також залежатиме від вартості простою обладнання, необхідного для встановлення та демонтажу. Калібрування лічильників електроенергії для проектів моніторингу може бути дорогим та неефективним з точки зору підвищення точності. Тому, в статті [5] пропонується проводити діагностику або верифікацію некаліброваного лічильника на місці, використовуючи іншу калібровану систему обліку комерційного класу, в даному випадку лічильник класу 3 і трансформатор струму класу 5. Використання моделі похибки вимірювання за допомогою імітаційного екстраполювання та уточнення лічильник видає свідчення.



Рисунок 2.2. Повірка лічильників електроенергії в лабораторних умовах

При фактичному вимірі трифазних електролічильників наявність електромагнітних перешкод, температури навколишнього середовища та інших факторів збільшує шум даних вимірювань, що впливає на точність виявлення аномалій [6]. У сучасних енергосистемах трифазні лічильники електроенергії є найважливішим обладнанням для вимірювання та обліку споживання енергії, а їх точність та надійність мають вирішальне значення як для постачальників, так і для споживачів електроенергії. З розвитком інтелектуальних мереж пред'являються більш високі вимоги до моніторингу та управління лічильниками електроенергії. Впровадження методів швидкого виявлення аномалій спрямоване на своєчасне виявлення несправностей чи аномальної поведінки лічильників електроенергії, запобігання неточному обліку електроенергії, забезпечення справедливості у торгівлі електроенергією та забезпечення стабільної роботи енергосистеми [6].

Аналіз профілів навантаження та моделей споживання у житлових приміщеннях має вирішальне значення для прийняття більш обґрунтованих рішень з управління попитом та розробки стратегій, спрямованих на підвищення інтересу людей до енергозбереження. Тому, аналізуючи профілі навантаження, важливо знати, як погодинне споживання змінюється влітку, взимку, у будні та вихідні дні. Крім того, визначення впливу зайнятості, розміру житла та топології будівель на споживання не менш важливе для побудови прогностичних моделей [7].

Таким чином, калібрування лічильників електричної енергії, їх повірка та визначення придатності до встановлення є важливим і одним з ключових елементів в функціонуванні енергосистеми. В даному розділі, на основі закордонних публікацій представлено не лише доцільність проведення подібних заходів, а і описано безпосередньо сучасні способи здійснення цієї операції.

## РОЗДІЛ 3. ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ

### 3.1. Загальні твердження

Виконання дослідження систем з моніторингу якості та стану лічильників електричної енергії є можливість здійснити з використанням різних, спеціально призначених для цього, стендів. На сьогодні, актуальність використання таких стендів є безсумнівною і полягає одразу в кількох аспектах:

- рівні надавання послуг споживачам електричної енергії;
- якості виконуваних робіт;
- умовах роботи персоналу, задіяного в роботах з перевірки та моніторингу стану лічильників електричної енергії.

Якщо розглядати перший з указаних аспектів, то його необхідно одразу виокремити на дві окремі підкатегорії. А саме, рівень надавання послуг споживачам електричної з точки зору моніторингу стану лічильників має на меті:

- дотримання надійності та безперебійності в постачанні електричної енергії;
- мінімальне споживання часу споживача на виконання таких операцій з винесенням відповідних рішень та висновків щодо придатності або непридатності до використання лічильника електричної енергії.

Якість виконуваних робіт персоналом, задіяним в перевірці лічильників електричної енергії, має бути забезпеченою як з точки зору техніки безпеки для персоналу та безпосередньо для споживача електричної енергії, так і наявністю спеціального устаткування для виконання даної операції. При цьому, устаткування для перевірки також має проходити періодичні перевірки на витримку усіх необхідних параметрів роботи системи, перевірку яких здійснюють ним.

Тому, дослідження систем з моніторингу якості електричних лічильників доцільно провести на прикладі випробувальних стендів для перевірки лічильників електроенергії, що використовуються провідними компаніями з забезпеченням населення електричною енергією.

### 3.2. Випробувальний стенд лічильників електричної енергії

Випробувальний стенд перевірки лічильників електроенергії є електронним програмно-керованим трифазним пристроєм з перевірки лічильників електричної енергії, що повинен бути ретельно дослідженим і розробленим спеціальною компанією. Такі компанії, як правило, працюють на ринку електроенергії протягом тривалого проміжку часу і мають багаторічний досвід. Крім того, процедури сертифікації та допусків компаній до виробництва такого електроустаткування повинні бути визнаними провідними компаніями з забезпечення якості електричної енергії, а також відповідними органами у сфері стандартизації та сертифікації.

Випробувальний стенд для лічильників електричної енергії функціонує як калібрувальний пристрій за різними типами і специфікаціями. Такі типи та специфікації полягають в налаштуваннях лічильників під параметри електромережі, їх калібруванні тощо. Випробувальні стенди розроблено і виготовлено у відповідності до різних трифазних електролічильників, тому вони підходить і для перевірки різних однофазних електролічильників, тобто таких, які працюють в мережі 220 В.

Зображений на рисунку 3.1 стенд для випробування лічильників електричної енергії є одним з найбільш розповсюджених аналогів стендів, що використовуються сучасними компаніями з забезпечення населення електричною енергією. Стенд, к було підкреслено вище, відповідає стандартам «ІЕС 60736:1982», що трактується як «Випробувальне обладнання для лічильників електроенергії», «ІЕС 62053».

У відповідності до потреб організацій в повірці лічильників електричної енергії, стенд є можливість використовувати з метою перевірки:

- однофазних;
- трифазних лічильників активної енергії;
- лічильників реактивної енергії, що відносяться до класу лічильників до 0.2 класу.

Однією з переваг, цим самим, і опцій по використанню такого випробувального електроустаткування, є можливість виконання:

- тесту на розігрів;
- тесту на запуск;
- тесту на наявність або ж відсутність навантажень, іншими словами, – тесту на повзучість;
- тесту на наявність помилок, тобто тесту на точність;
- тесту на циферблат;
- тесту впливових величин;
- тестування на повторюваність в вимірюваннях.

Необхідно підкреслити, що тест впливових величин включає в себе перевірку на такі характеристики, як негативна фаза, дисбаланс напруги, гармонічна хвиля.



Рисунок 3.1. Випробувальний стенд для лічильників електричної енергії

### *3.3. Робота випробувального стенду для повірки лічильників електричної енергії*

Виконання закладених функціональних завдань випробувального стенду ґрунтується на певних функціональних особливостей його конструкції та принципу дії.

Випробувальний стенд для лічильників електричної енергії працює з джерелом сигналу, що використовує цифрову керовану технологію на основі синусоїди з метою налаштування частоти, амплітуди і фази. Джерелом сигналу можуть неодноразово додаватися 2-21 гармоніки до першої синусоїди чи викликати субгармонічні хвилі та непарні субгармонічні хвилі.

Робота стенду для випробування лічильників електричної енергії базується на принципі порівняння отриманих показників вольт-амперної характеристики з мережі лічильника, який випробовується з еталонними показниками. У стенді використовується еталонний стандартний лічильник електричної енергії РУ-3100 із технологією по порівнянню. В результаті є можливість визначення похибки вимірювання. Також, внаслідок указаних пусконаладжувальних робіт відбувається калібрування лічильника, який піддається операціям з випробування.

Використовуючи систему процесора помилок з метою обчислення похибки кожного з лічильників електричної енергії, за допомогою системи, що спрямована на роботу в режимі субпомилки, може бути підключено через внутрішні канали додатковий пристрій з метою навантаження, а також спотворення сигналів та утворення спеціальних хибних ситуацій для випробування лічильника.

Виконання одних і тих самих операцій, тобто за однакових умов, створюваних на стенді випробування електрообладнання, є можливість перевірити одночасно на кількох лічильниках електричної енергії. Таким чином, є можливість співставлення показників, отриманих на різних лічильниках електричної енергії з показниками еталону, а не окремо кожного лічильника, як це було реалізовано на порівняно старіших стендах з випробування лічильників електричної енергії.

Встановлення скануючої головки на випробувальному стенді дає можливість запропонувати три діапазони з регулювання. Перевагами такого стенду також вважається можливість роботи як з лічильниками порівняно старими, круглої форми, так і з сучасними цифровими індикаторними лічильниками електричної енергії.

До функціональних особливостей випробувального стенду також включено і функцію автоматичного пошуку для чорного маркеру, за рахунок чого є можливість точно визначати місцезнаходження чорного маркеру в моменти тестів без навантажень та тестів на запуск.

Цифровізація та сучасні можливості електроінструменту цілком реалізовано в використанні випробувальних стендів для перевірки лічильників. Зокрема, є можливість підключення стенду до персонального комп'ютера з метою повноцінного діагностування необхідних параметрів, їх зчитування, збереження та передачі до відповідного програмного забезпечення на подальшу обробку.

Стендом використовується тестове програмне забезпечення, що є сумісним з WINDOWS для ПК, яким є можливість автоматичного тестувати різних лічильників електричної енергії. Як наслідок зі сказаного стосовно програмного забезпечення, його можна використовувати для статистики, пошуку і керування.

Підвісна стійка в лічильника електричної енергії виготовлена із алюмінієвого компаунду.

Діапазон	Вихідна потужність
57.7В	800 ВА
100В	800 ВА
220В	800 ВА
380В	800 ВА

Таблиця 3.1. Показники напруги та вихідної потужності випробувального стенду для електричних лічильників

### 3.4. Параметри системи

Роздільна здатність системи: 0.01%;

Стабільність: краще, ніж за 0,05%/3 хв (розгортка часу 5S);

Коефіцієнт по викривленню: < 0,5% при лінійному навантаженні;

Діапазони частот: 45 Гц ~ 65 Гц;

Енергоефективність: більше ніж 85%;

Температура навколишнього середовища: 10 °C ~ 50 °C

Функція електронного захисту від перевантажень та коротких замикань.

*Підсилювач струму:*

Діапазон вихідного струму: 1mA~120A (опція 1mA~200A);

Показник максимальної вихідної потужності: 1500 ВА

Показник роздільної здатності: 0.01 відсотків;

Стабільність: більше, ніж 0.05%/3 хв (для розгортки часу 5S);

Коефіцієнт викривлення: < 0.5% при лінійному навантаженні;

Діапазони частот: 45 Гц ~ 65 Гц;

Енергоефективність: більше 85%;

Температура навколишнього середовища: 10 °C ~ 50 °C

Функція електронного захисту від перевантажень та безпеки для відкритих ланцюгів струму.

*Фазний кут:* 0° ~360°, роздільна здатність по налаштуванню для фазового кута: 0,1°;

*Діапазони по вихідним частотам:* 45 Гц ~ 65 Гц; роздільна здатність: 0,01 Гц

*Вихід гармонічних хвиль:* 2-21 вміст для субгармонійної хвилі менше чи дорівнює 40%

3, 5, 7 субгармонійних зв'язків хвиль, загальний вміст становить менше чи дорівнює 40%

Контроль фазного кута (непарна субгармонічна хвиля)

Керування груп по хвилям (субгармонійна хвиля)

Стабільність для вихідної потужності: <0.05%>

Кількість каліброваних одночасно лічильників електричної енергії: 16  
(6/8/12/16/20/24/32/40 за запитом)

Вхідна потужність: 3×220 В/380 В (Y) 15%, 50/60 Гц; Максимальна споживана потужність: 6000VA

Тип лавки	Метри	Номер	Номер ряду	Розмір
Інтеграція	6	1	Слінг	2000×750×1650 мм
	12	1	Двомісний	2000×750×1920 мм
	16	1	Двомісний	2400×750×1650 мм
Поділ	6	1	Слінг	2000×600×1650 мм
	12	1	Двомісний	2000×600×1920 мм
	16	1	Двомісний	2400×600×1920 мм
	24	2	Двомісний	2000×600×1920 мм
	32	2	Двомісний	2400×600×1920 мм
Консоль: 600×800×1920 мм				

Таблиця 3.2. Розміри випробувального стенду

### 3.5. Випробувальний стенд в роботі з лічильниками електричної енергії



Рисунок 3.2. Види електронних лічильників

Використання випробувального стенду для лічильників електричної енергії реалізується для різних видів та марок. Для прикладу, на рисунку 3.2 представлено перелік видів електронних лічильників різних марок. Такі лічильники досить часто є встановленими в побутових споживачів, а також в споживачів відносно малої потужності, до яких відносяться підприємства малого бізнесу, перевізники, станції технічного обслуговування (як один і багатьох прикладів) і т.п.

Таким чином, випробувальні стенди для лічильників електричної енергії спрямовані на:

- перевірку лічильників електроенергії однофазних та трифазних;
- вимірювання напруги змінного струму;
- вимірювання сили змінного струму;
- вимірювання коефіцієнту потужності;
- вимірювання частоти змінного струму;
- вимірювання активної/реактивної електричної потужності/енергії як за прямого, так і за зворотного напрямку змінного струму для реактивної електричної енергії в змінного струму.

Шляхом співставлення отриманих показників на еталонних пристроях випробувального стенду з показниками лічильників, які випробовуються, є можливість визначення придатності лічильника до використання або його недопущення до роботи.

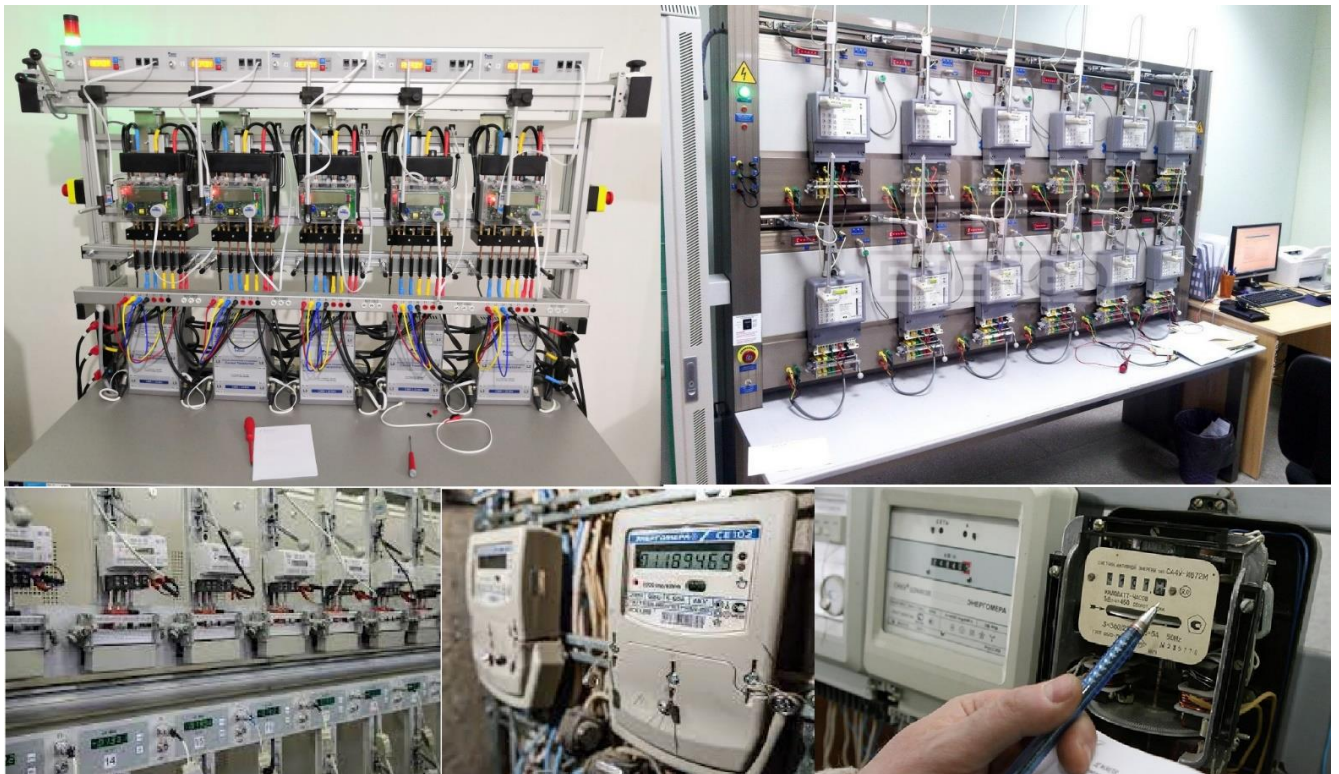


Рисунок 3.3. Випробування лічильників електроенергії на стенді

## РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

Випробування лічильників електричної енергії є одним з важливих елементів в системі здійснення робіт з електричним устаткуванням. Дану роботу спрямовано на дослідження параметрів стенду для випробування та калібрування лічильників електричної енергії. Фактори згубного негативного впливу при таких роботах можуть варіювати в залежності не лише від згубного впливу електричного струму вцілому, а і від окремих параметрів системи, які можуть бути спеціально налаштованими під перевірку лічильників на окремих режимах роботи електроустаткування. До таких прикладів можна віднести збільшені напругу та струм, електричний пробій, що провокується ними, і т. п.

До факторів згубного впливу на АТ «Сумиобленерго» відносять такі фактори:

- небезпека дії на людину електричного струму шляхом контакту її органів з відкритими джерелами струму;
- робота на висоті;
- підвищений ризик попадання під електромагнітне поле та випромінювання;
- шум;
- вібрації;
- обертаючі установки;
- робота з паяльниками, електрозварними агрегатами, верстатами, обробним устаткуванням;
- роботи на передвижних машинах;
- робота з масляними рідинами та рідинами, дія яких може відобразитися на роботі дихальних шляхів, стравоходу, органів чуття, зору, слуху, нервової системи.

З метою зменшення такого негативного впливу використовують різні способи для запобігання проявам негативних факторів. Такі способи спрямовані як на покращення умов для виконання технічних завдань працівниками бригад, так і для

зменшення негативного впливу на них. Тому, серед заходів по зменшенню негативного впливу на персонал в АТ «Сумиобленерго» виділяють такі заходи:

- оснащення засобами колективного та індивідуального захисту, у тому числі і засобами гігієни;

- прибирання та дезінфекція робочих міст та установок, з якими працює персонал бригад даної установи;

- використання нового сучасного енергозберігаючого обладнання, у тому числі, спрямованого на покращення рівня безпеки при виконанні ремонтних, монтажних, будівельних, облікових або обслуговуючих робіт;

- проведення заходів по ознайомленню персоналу з таким обладнанням, у тому числі курсів підвищення кваліфікації та інструктажів провідними фірмами-виробниками сучасного електроенергетичного обладнання, а також відповідними органами з держстандартагляду;

- ведення контролю за дотриманням існуючих правил техніки безпеки при роботі з електроустановками.

Нижче, на рисунку 4.1, представлено приклад використання засобів індивідуального захисту при роботі з лічильниками електричної енергії. В даному випадку, важливо відмітити, що використання захисних рукавичок дає одразу два позитивні ефекти, спрямовані на захист персоналу. Першим з таких позитивних ефектів є уникнення негативної дії електричного струму на здоров'я людини. Другим фактором є зменшення провів механічної дії на поверхню тіла людини (царапини, удари тощо) при роботі з ручним інструментом, контактами електроустаткування тощо.



Рисунок 4.1. Використання засобів індивідуального захисту при роботі з лічильниками електричної енергії

Зменшення негативного впливу є завданням, що визначає вектор руху організації будь-якої установи. Тому, дотримання такого вектору є прогресом в розвитку установи.

## РОЗДІЛ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ ТА ПОКАЗНИКИ

Доцільність використання стендів для випробування лічильників електричної енергії необхідно розглядати як заощадження, що реалізується за певних умов. Зокрема, необхідно виокремити 3 основні стадії по реалізації робіт з лічильниками електричної енергії, що стосуються їх допуску до експлуатації:

- 1) покупка нового лічильника;
- 2) випробування лічильника, що був в експлуатації; як наслідок, – ремонт або налаштування лічильника, що був експлуатації та може бути допущеним до подальшої роботи при необхідних налаштуваннях;
- 3) списання лічильника, непридатного до подальшої експлуатації після випробувань.

З перерахованих можливих варіантів необхідно розглядати як послідовну схему, що має два паралельні варіанти використання або невикористання лічильника. Тобто, обов'язковим і раціональним за витратами є процес випробування лічильника електричної енергії. У варіанті придатності його до подальшої роботи або використання після налаштувань та калібрування такий лічильник може бути використаним і надалі. Якщо лічильник не може бути придатним до подальшої експлуатації, його заміна є обов'язковою.

Схематично, дії по випробуванню та подальшому використанню лічильників електричної енергії у відповідності до перерахованих вище пунктів можна представити на рисунку 5.1.

На основі вище сказаного, необхідним є обґрунтування економічної доцільності здійснення випробувань лічильників електричної енергії на випробувальному стенді, дослідження параметрів якого представлено в даній роботі.

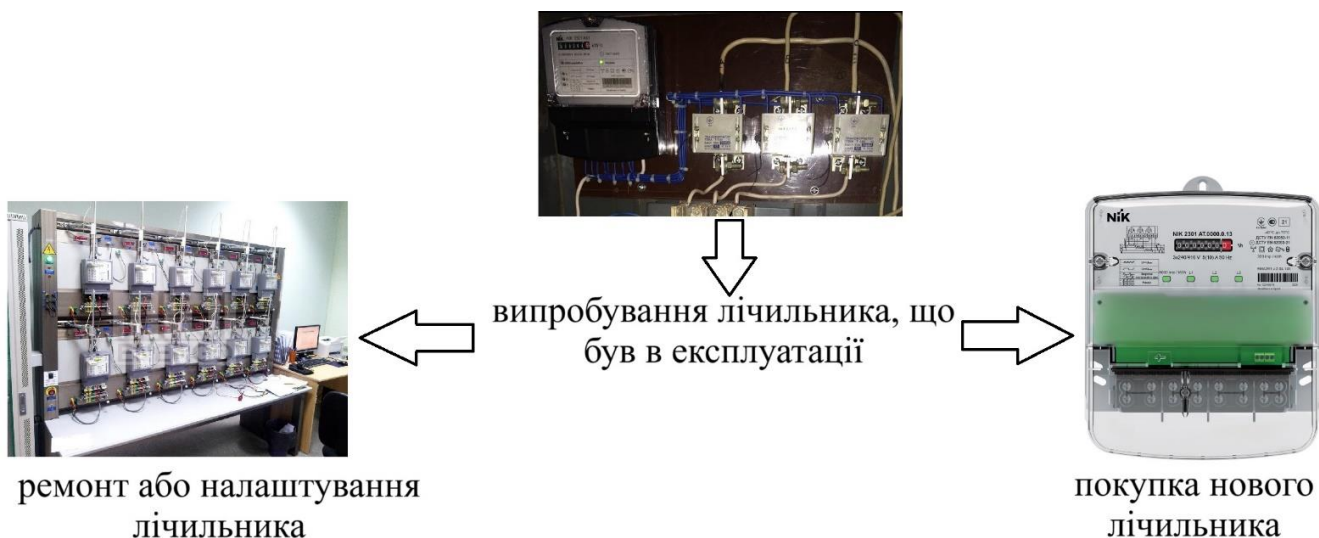


Рисунок 5.1. Схема допуску до експлуатації лічильника електричної енергії  
шляхом його випробувань

Таким чином, економічне обґрунтування доцільно побудувати на затратах фінансів на виконання процесу випробування лічильника на випробувальному стенді, його налаштуванню (за необхідності), або ж покупці нового лічильника електричної енергії. Нижче, в таблиці 5.1, представлено цінові показники по указаним операціям.

Таблиця 5.1. Вартість робіт з лічильниками електричної енергії

№	Назва операції	Вартість, грн
1.	Випробування лічильника, К1	350
2.	Налаштування лічильника, К2	300
3.	Покупка нового лічильника, К3	2000
4.	Роботи з монтажу/демонтажу, К4	300

Для порівняння доцільності випробувань лічильників електричної енергії  $K_{заг1}$  з їх заміною на нові  $K_{заг2}$ , згідно з виразами 5.1 та 5.2 представлено їх розрахунок.

$$K_{\text{заг1}} = K1 + K2 + K4, \text{ грн} \quad (5.1)$$

$$K_{\text{заг2}} = K3 + K4, \text{ грн} \quad (5.2)$$

На основі виразів 5.1 та 5.2 розрахунок економічної ефективності проведення випробувань з лічильниками електричної енергії здійснено нижче.

$$K_{\text{заг1}} = 350 + 300 + 300 = 950 \text{ грн}$$

$$K_{\text{заг2}} = 2000 + 300 = 2300 \text{ грн}$$

Керуючись отриманими значеннями цінових показників з випробування лічильників електричної енергії або ж заміни їх на нові, отримані значення представлено нижче на діаграмі рисунку 5.2.

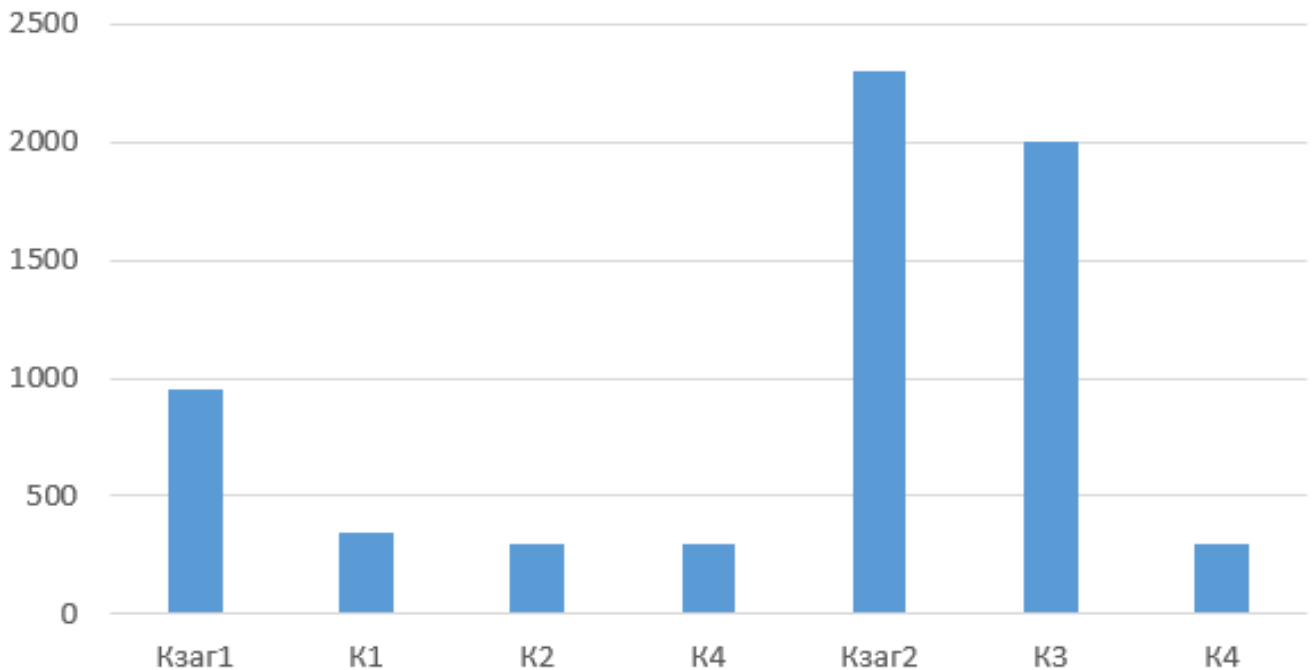


Рисунок 5.2. Діаграма економічної ефективності здійснення випробувань лічильників електричної енергії

## ВИСНОВКИ

Процеси в електроенергетиці повинні бути строго контрольованими. Стосується це усіх аспектів. Зокрема, в даному випадку, мову можна вести про:

- техніку безпеки;
- якість електроенергії;
- рівень надання послуг;
- облік електроенергії;
- інше.

Дану роботу цілком спрямовано на дослідження параметрів стенду для перевірки та випробування лічильників електричної енергії. Дане питання є досить важливим та актуальне для дослідження з точки зору абсолютного контролю за об'ємом використаної електроенергії споживачем.

У ході виконання дослідження обґрунтовано доцільність проведення робіт з лічильниками електричної енергії. Зокрема, використовуючи сучасні дослідження закордонних науковців перелічено причини необхідності випробувань лічильників. Як наслідок із цього, обґрунтовано необхідність налагодження лічильників електроенергії під необхідні параметри. Такі налаштування в роботі охарактеризовано як калібрування.

В результаті, роботу спрямовано на опис стенду для випробування лічильників електричної енергії та характеристику їх параметрів.

Тому, актуальність проведеного дослідження є цілком виправданою, а доцільність проведення робіт - необхідністю з метою якісного забезпечення населення електричною енергією.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Jiao, Y., Chen, Q., Bao, Z., Pan, L., & Li, H. (2021). An on-line anomaly identifying method for calibration devices in an automatic verification system for electricity smart meters. *Measurement*, *180*, 109606. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.109606>
2. Sarkar, A., & Sengupta, S. (2008). Design and implementation of a low cost fault tolerant three phase energy meter. *Measurement*, *41*, 1014-1025. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2008.02.001>
3. Depuru, S.S., Wang, L., Devabhaktuni, V.K., & Gudi, N. (2011). Smart meters for power grid — Challenges, issues, advantages and status. *2011 IEEE/PES Power Systems Conference and Exposition*, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.02.039>
4. Morales-Velazquez, L., Romero-Troncoso, R.D., Herrera-Ruiz, G., Moriñigo-Sotelo, D., & Osornio-Ríos, R.A. (2017). Smart sensor network for power quality monitoring in electrical installations. *Measurement*, *103*, 133-142. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2017.02.032>
5. Carstens, H., Xia, X., & Yadavalli, S. (2016). Low-cost energy meter calibration method for measurement and verification. *Applied Energy*, *188*, 563-575. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.12.028>
6. Yang, Z., Chen, X., Gao, D., Cheng, G., & Wang, R. A fast detection method for metering anomalies of three-phase energy meters based on sliding filter and decision tree. *Electric Power Systems Research*. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2024.111056>
7. Rafiq, H., Manandhar, P., Rodriguez-Ubinas, E., Barbosa, J.D., & Qureshi, O.A. (2023). Analysis of residential electricity consumption patterns utilizing smart-meter data: Dubai as a case study. *Energy and Buildings*. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113103>
8. Лічильник електроенергії NIK 2301 АТ.0000.М.11 трифазний 5(10) А 3×220/380 В однотарифний, НіК. Електронний ресурс. URL: <https://vse-e.com/ua/schetchik-nik-2301-ak1-510a-3f-elektronnyi-odnotarifnyi-zashchita-ot-deistviia->

[magnita?srsltid=AfmBOoqQKdPExYOSVHpFkJGGI8yc4JmTci6CrVg4N0jy9KBYXYrbBuq2](https://www.soe.com.ua/magnita?srsltid=AfmBOoqQKdPExYOSVHpFkJGGI8yc4JmTci6CrVg4N0jy9KBYXYrbBuq2)

9. Сумиобленерго. Електронний ресурс. URL: <https://www.soe.com.ua/>
10. ДСТУ EN 62053-11:2018 Засоби вимірювання електричної енергії змінного струму. Спеціальні вимоги. Частина 11. Лічильники активної енергії електромеханічні (класи точності 0,5, 1 та 2) (EN 62053-11:2003; A1:2017, IDT; IEC 62053-11:2003; A1:2016, IDT)
11. IEC 62052-11:2003 Засоби вимірювання електричної енергії змінного струму. Загальні вимоги, випробування та умови випробування. Частина 11. Лічильники електричної енергії
12. IEC 62052-31:2015 Засоби вимірювання електричної енергії змінного струму. Загальні вимоги, випробування та умови випробування. Частина 31. Вимоги щодо безпечності продукції та відповідні випробування.
13. IEC 62053-21:2003 Засоби вимірювання електричної енергії змінного струму. Спеціальні вимоги. Частина 21. Лічильники активної енергії статичні.
14. ДСТУ 6100:2009. Лічильники активної електричної енергії змінного струму статичні. Методика повірки (ГОСТ 8.584-2004, МОД).
15. ДСТУ EN 50470-3:2022 Засоби вимірювання електричної енергії змінного струму. Частина 3. Спеціальні вимоги. Лічильники активної енергії статичні (класів точності А, В і С) (EN 50470-3:2022, IDT).
16. ДСТУ EN 62058-11:2018 Засоби вимірювання електричної енергії змінного струму. Приймальний контроль. Частина 11. Загальні методи приймального контролю (EN 62058-11:2010, IDT; IEC 62058-11:2008, MOD).
17. ПУЕ Правила улаштування електроустановок (перше переглянуте, перероблене, доповнене та адаптоване до умов України видання). 21.08.2017. Міністерство енергетики та вугільної промисловості України
18. НПАОП 40.1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів (2019). Державний нормативний акт про охорону праці

19. Випробувальний стенд для лічильників енергії. Електронний ресурс. URL: <https://ua.jianxintechical.com/test-bench/three-phase-test-bench/energy-meter-test-bench.html>

20. Установки для повірки лічильників електроенергії. Електронний ресурс. URL: <https://tekknow.com.ua/uk-ua/installations-verification-electricity-meters>