

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»  
Навчально-науковий інститут електроенергетики  
Електротехнічний факультет  
Кафедра кіберфізичних та інформаційно-вимірювальних систем

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
**кваліфікаційної роботи ступеню**  
**магістра**

здобувача вищої освіти Кавуненко Євгеній Романович  
(П.І.Б.)

академічної групи 152М-22-1

(шифр)

спеціальності 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка  
(код і назва спеціальності)

за освітньо-професійною програмою 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

(офіційна назва)

на тему «Розробка та впровадження методики калібрування лічильників електричної енергії» затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від \_\_\_\_\_ 2023р.

(назва за наказом ректора)

Консультанти	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинг.	інституційною	
Керівник кваліфікаційної роботи	д.т.н, проф. Бубліков А.В.			
Провідний консультант:	ас. Гальченко Ю.М.			
Стан питання та постановка завдання	д.т.н, проф. Бубліков А.В.			
Теоретичний розділ	д.т.н, проф. Бубліков А.В.			
Розроблення МКЛ	ас. Гальченко Ю.М.			
Розробка та верифікація програмного забезпечення для розрахунку невизначеностей	ас. Гальченко Ю.М.			
Розробка віртуального стенду та експериментальний розділ	д.т.н, проф. Бубліков А.В.			
Економічна частина	ст. в. Яремчук І.Р.			
Охорона праці	проф. Чеберячко Ю.І.			

Рецензент				
Нормоконтролер	ас. Гальченко Ю.М			

Дніпро2023

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**

завідувач кафедри

кіберфізичних та інформаційно-

вимірювальних систем

(повна назва)

Бубліков А.В.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 року

**ЗАВДАННЯ**

**на кваліфікаційну роботу**

**ступеню \_\_\_\_\_ магістра**

(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студенту Кавуненко Євгену Романовичу академічної групи 152М-22-1

(прізвище та ініціали)

(шифр)

спеціальності 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

за освітньо-професійною програмою «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

на тему Розробка та впровадження методики калібрування лічильників електричної енергії

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від \_\_\_\_\_ .2023р. № \_\_\_\_\_

Розділ	Зміст	Термін виконання
Стан питання та постановка завдання	Необхідність введення методики калібрування	
Теоретичний розділ	Типи лічильників, схеми підключення, вибір та обґрунтування об'єкту дослідження	
Розроблення МКЛ	Розробка методики калібрування для лічильників електроенергії	
Розробка та верифікація програмного забезпечення для розрахунку невизначеностей	Розробка та верифікація програмного забезпечення для розрахунку невизначеностей	
Розробка віртуального стенду та експериментальний розділ	Розробка віртуального приладу у середовищі Labview для опрацювання результатів випробувань.	
Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	Розрахунок капітальних інвестицій та експлуатаційних витрат	
Економічна частина	Аналіз небезпечних і шкідливих чинників. Розробка заходів з охорони праці, пожежної профілактики.	

Завдання видано

\_\_\_\_\_ (підпис керівника)

Гальченко Ю.М.

(прізвище, ініціали)

Дата видачі 02.05.2022

Прийнято до виконання

\_\_\_\_\_ (підпис студента)

Кавуненко Є.Р.

(прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка складає: 9999 с., 26 рис., 14 табл., 2 додаток(и), 20 джерел(а/о).

Об'єкт дослідження: введення методики калібрування на виробництві лічильників електроенергії

Мета роботи: забезпечення експорту нашої продукції за кордон та забезпечення метрологічної простежуваності в цілому на ринку електролічильників

Об'єкт розроблення: методика калібрування для лічильників електроенергії, програма для розрахунку невизначеностей та формування бюджетів невизначеності

Сфера застосування розробки: виготовлення лічильників електроенергії для експорту

Практична значимість кваліфікаційної роботи – дає змогу безпроблемно експортувати лічильники електроенергії за кордон

Перелік ключових слів: ЛІЧИЛЬНИКИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ, ТИПИ ЛІЧИЛЬНИКІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ, МЕТОДИКА КАЛІБРУВАННЯ ЛІЧИЛЬНИКІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

## ЗМІСТ

<b>ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА</b>	1
<b>ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ</b>	4
<b>ВСТУП</b>	5
<b>1. СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ</b>	6
<b>2. ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ</b>	8
<b>Індукційні прилади обліку</b>	8
<b>Електронний (статичний) електролічильник</b>	13
<b>Схеми підключення однофазного лічильника.</b>	16
<b>Схеми приєднання трифазних лічильників в електромережах напругою 220/380 В</b>	19
<b>Вибір об'єкту контролю</b>	22
<b>Висновок за розділом</b>	22
<b>3. РОЗРОБЛЕННЯ МКЛ</b>	23
<b>4. РОЗРОБКА ТА ВЕРИФІКАЦІЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ НЕВИЗНАЧЕНОСТЕЙ ДАНІ ПРО ВЕРИФІКАЦІЮ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ «НАЗВА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ»</b>	42
<b>5. РОЗРОБКА ВІРТУАЛЬНОГО СТЕНДУ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ РОЗДІЛ</b>	48
<b>5.1 Демонстрація віртуального стенду</b>	48
<b>5.2 Програмна частина віртуального стенду</b>	52
<b>6. ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ</b>	60
<b>6.1 Розрахунок капітальних інвестицій</b>	60
<b>6.2 Розрахунок амортизаційних відрахувань</b>	62
<b>6.3 Розрахунок річного фонду заробітної плати</b>	64
<b>6.4 Єдиний соціальний внесок</b>	65
<b>6.5 Розрахунок вартості спожитої електроенергії</b>	65
<b>6.6 Розрахунок експлуатаційних витрат</b>	66

	2
<b>6.7 Економічна ефективність</b>	67
<b>6.8 Висновок до розділу</b>	68
<b>7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ</b>	<b>69</b>
<b>7.1 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих чинників проєктованого технологічного процесу, об'єкту, системи або пристрою.</b>	<b>69</b>
<b>7.1.1 Основні причини електротравм на виробництві</b>	<b>69</b>
<b>7.1.2 Види електричних травм. Причини летальних наслідків від дії електричного струму</b>	<b>70</b>
<b>7.1.3 Чинники, що впливають на наслідки ураження електричним струмом</b>	<b>72</b>
<b>7.2 Розробка заходів з охорони праці.</b>	<b>72</b>
<b>7.2.1 Технічні способи та засоби захисту</b>	<b>72</b>
<b>7.2.2 Ізоляція струмовідних частин</b>	<b>73</b>
<b>7.2.3 Забезпечення недоступності неізольованих струмовідних частин</b>	<b>73</b>
<b>7.2.4 Мала напруга</b>	<b>74</b>
<b>7.2.5 Вирівнювання потенціалів</b>	<b>75</b>
<b>7.2.6 Захисне заземлення</b>	<b>75</b>
<b>7.2.7 Захисне занулення</b>	<b>76</b>
<b>7.2.8 Електрозахисні засоби та запобіжні пристосування</b>	<b>77</b>
<b>7.2.9 Огороджувальні електрозахисні засоби</b>	<b>77</b>
<b>7.2.10 Запобіжні електрозахисні засоби та пристосування</b>	<b>77</b>
<b>7.2.11 Організаційні та технічні заходи електробезпеки</b>	<b>78</b>

	3
<b>7.3 Освітлення приміщення.</b>	79
<b>7.4 Пожежна профілактика.</b>	81
<b>7.5 Безпека в надзвичайних ситуаціях.</b>	82
<b>ВИСНОВКИ</b>	84
<b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ</b>	86
<b>ДОДАТКИ</b>	89
Додаток А	89
<b>Додаток В</b>	90
<b>ВІДГУК КЕРІВНИКА АТЕСТАЦІЙНОЇ РОБОТИ</b>	94
<b>ЗОВНІШНЯ РЕЦЕНЗІЯ</b>	95

## ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ

Використані терміни та визначення відповідно до ДСТУ ISO 9000[1], ДСТУ ISO/IEC 17000[2], та закону України “Про метрологію та метрологічну діяльність”[3].

**ЗВТ** – засіб вимірювальної техніки

**Однофазні електролічильники** – використовуються для вимірювання енергії в однофазних мережах (зазвичай домашнього використання). У однофазних лічильників два входи та один вихід.

**Трифазні електролічильники** – використовуються для вимірювання енергії у трифазних мережах (зазвичай для промислового використання). У трифазних лічильників три входи та один вихід.

**Електролічильники прямого включення** – тип включення лічильників, коли весь струм споживання протікає через вбудований вимірювальний елемент лічильника. Практично всі побутові лічильники електроенергії – прямого включення, з максимальним током до 120 А

**Лічильники комбінованого включення** – використовується для обліку електроенергії великих споживачів із можливим струмом вище 120 А. В цьому випадку, лічильник вмикається в комбінації із трансформаторами струму, що здатні пропорційно відмаштабувати струм до допустимої величини, яку лічильник вже здатен виміряти. Обчислену енергію необхідно домножати на коефіцієнт трансформатора струму

**Лічильники трансформаторного включення** – використовуються для вимірювання споживання на підстанціях в високовольтних мережах енергопостачання та транспортування. І струм, і напруга підключаються до лічильника через первинні трансформатори струму та напруги. Обчислену енергію необхідно домножати на відповідні коефіцієнти струмів

## ВСТУП

Електроенергетика являється великою та важливою складовою економіки України, тому для правильного функціонування цієї сфери потрібен облік електроенергії. Для обліку електроенергії використовують спеціальні прилади - лічильники електричної енергії, або електролічильники.

Електролічильники (далі лічильники) - це ЗВТ для обліку використаної електроенергії, що повсякденно використовуються в побуті, на підприємствах та комерційних цілях.

Наразі, згідно з постановою кабінету міністрів України №94 “Про затвердження Технічного регламенту законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки”, в нашій державі для продажу лічильників однією з обов’язкових вимог є проведення оцінки відповідності, але цього недостатньо для того, щоб визначити наскільки точний прилад стане через роки, такий підхід не має метрологічної простежуваності і оцінки відповідності недостатньо для експорту продукції за кордон. В цій дослідницькій роботі буде запропоноване рішення вище перелічених проблем методом введення калібрування лічильників на підприємстві, буде розглянуто які є варіанти проведення оцінки відповідності, типи лічильників та найпоширеніші з них.



## 1. СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Згідно з пунктом 15 та 16 постанови №94 кабінету міністрів України “Про затвердження Технічного регламенту законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки” в обов’язки виробників входить : “Виробники складають технічну документацію, зазначену у пунктах 48-52 цього Технічного регламенту, та виконують відповідну процедуру оцінки відповідності, наведену в пункті 47 цього Технічного регламенту, або забезпечують її виконання.” та “16. Якщо відповідність засобів вимірювальної техніки вимогам цього Технічного регламенту, що до них застосовуються, було підтверджено встановленою процедурою оцінки відповідності, виробники складають декларацію про відповідність згідно з пунктами 53-56 цього Технічного регламенту і наносять знак відповідності та додаткове метрологічне маркування згідно з пунктами 57-70 цього Технічного регламенту.”[4].

Існує три можливості проведення оцінки відповідності:

Залучення третьої сторони не вимагається. Це може стосуватись випадку, коли декларації (яка супроводжується відповідними технічними експертизами та документацією) виробника достатньо, щоб забезпечити відповідність конкретної продукції відповідним законодавчим вимогам. У цьому випадку виробник сам здійснює всі необхідні контрольні заходи та перевірки й складає технічну документацію, а також забезпечує відповідність процесу виробництва;

Оцінка відповідності здійснюється із залученням внутрішньофірмового акредитованого органу з оцінки відповідності, який є частиною організації виробника. Однак, цей внутрішньофірмовий орган не повинен здійснювати жодної іншої діяльності, ніж оцінка відповідності, та повинен бути незалежним від будь-яких комерційних, проектувальних чи

виробничих підрозділів (більш детально див. Статтю R21 Рішення № 768/2008/ЕС[5]). Він повинен продемонструвати той же рівень технічної компетентності та неупередженості, що й зовнішні органи з оцінки відповідності, шляхом акредитації. Там, де це необхідно для конкретного сектора, законодавець може взяти до уваги той факт, що виробники використовують добре обладнані випробувальні лабораторії чи приміщення, а їхня компетентність буває іноді вищою, ніж можливості деяких зовнішніх органів. Це може стосуватись нової інноваційної складної продукції, для якої найсучасніші науково-технічні знання щодо випробувань залишаються у виробників.

Втім, у деяких інших випадках законодавець може вважати за необхідне залучення третьої сторони, тобто зовнішнього органу з оцінки відповідності. Такий орган повинен бути неупередженим і повністю незалежним від організації або продукції, яку він оцінює (див. також Статтю R17(3) [Рішення № 768/2008/ЕС] Рішення № 768/2008/ЕС"), він не може займатись будь-якою діяльністю, яка може вплинути на його незалежність (див. також Статтю R21(2)(с) Рішення № 768/2008/ЕС), і, таким чином, він не може мати інтересів користувача або інших інтересів стосовно продукції, яка має бути ним оцінена[5].

Перший варіант не підходить, тому що згідно з додатком 1 технічного регламенту Лічильники активної (класи точності 0,5-2,0; 0,2S; 0,5S) та реактивної (класи точності 0,5-3,0) електроенергії проходять процедуру оцінки відповідності за модулями В+D, В+F, або G, що вбачають залучення органу з оцінки відповідності[4].

Для підприємства другий варіант являється найоптимальнішим, оскільки коли при підприємстві є внутрішньофірмовий акредитований орган, який є частиною організації виробника, то виходить дешевше ніж

замовляти процедуру оцінки відповідності в іншій організації, тому далі розглянемо саме такий варіант.

Як видно з зразку декларації про оцінку відповідності (додаток А), оцінка відповідності не включає в себе метрологічну простежуваність та не дає розуміння про невизначеності приладу, вона вказує лише на те, що прилад відповідає своєму типу і, відповідно, класу точності.

В ЕС та світі оцінка відповідності супроводжується калібруванням приладу, в акредитованій лабораторії на проведення калібрування в своїй сфері за стандартом ДСТУ ISO/IEC 17025, що дає змогу визначити метрологічну простежуваність та невизначеності ЗВТ. Отже, для експорту нашої продукції на закордонний ринок нам потрібно проводити оцінку відповідності в комплексі з калібруванням, а для цього потрібно розробити відповідну методику калібрування.

## **2. ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ**

Лічильники розрізняють за кількістю фаз (типом живлення мережі), принципом дії, схемою включення, схемою електропостачання, родом вимірювальних величин, за кількістю вимірювальних елементів, тощо.

За типом живлення мережі лічильники бувають однофазні, та багатофазні. В залежності від моделі кожен з типів можуть вимірювати активну, або і активну і реактивну електроенергію.

### **Індукційні прилади обліку**

Для вимірювань електричної енергії змінного струму застосовуються електронні, електромеханічні і рідше індукційні лічильники. Спожита активна енергія  $W$  розраховується як добуток часу та активної потужності:

$$W = P * t \quad (1)$$

де  $P$  це – активна потужність,

$t$  – час.

Принцип дії індукційних приладів (рис.1) заснований на механічній взаємодії змінних магнітних потоків з індуктивними струмами в рухомій частини приладу (рис. 2). У лічильнику один з потоків створюється електромагнітом, обмотка якого включена на напругу мережі (в якій вимірюється електроенергія). Цей потік перетинає рухливий алюмінієвий диск також індукує в ньому вихрові струми, замикаються навколо сліду полюса електромагніту напруги. Інший потік створюється електромагнітом, обмотка якого включена поспіль в ланцюг струму. Цей потік наводить у диску схожі вихрові струми, що замикаються навколо сліду полюса свого електромагніту. Взаємодія потоку електромагніту напруги з наведеними струмами в диску, потоком такого електромагніта з наведеними струмами в тому і диску потоком електромагніту напруги, з іншого боку, викликають електромагнітні сили, спрямовані по хорді диска також створюють обертовий момент. Такі лічильники називаються двопоточні.

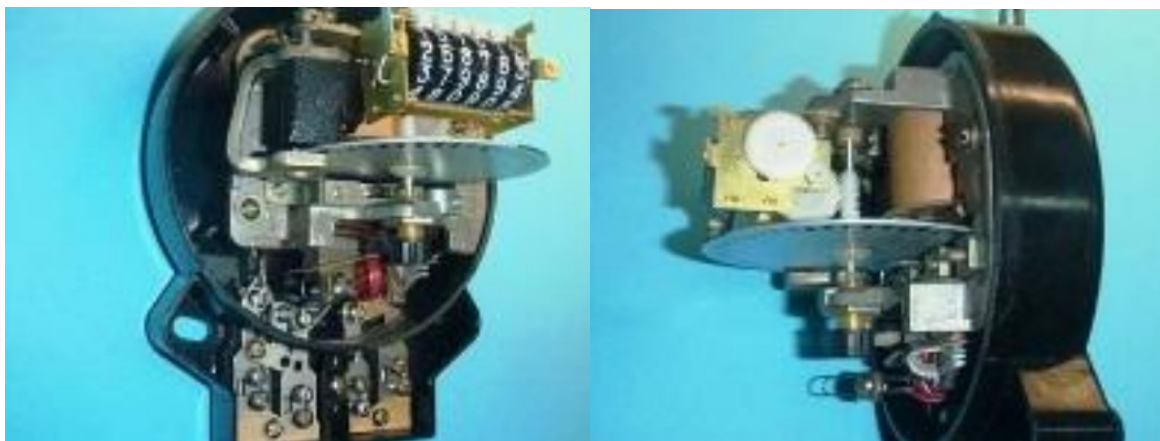


Рис.1. Індукційний лічильник

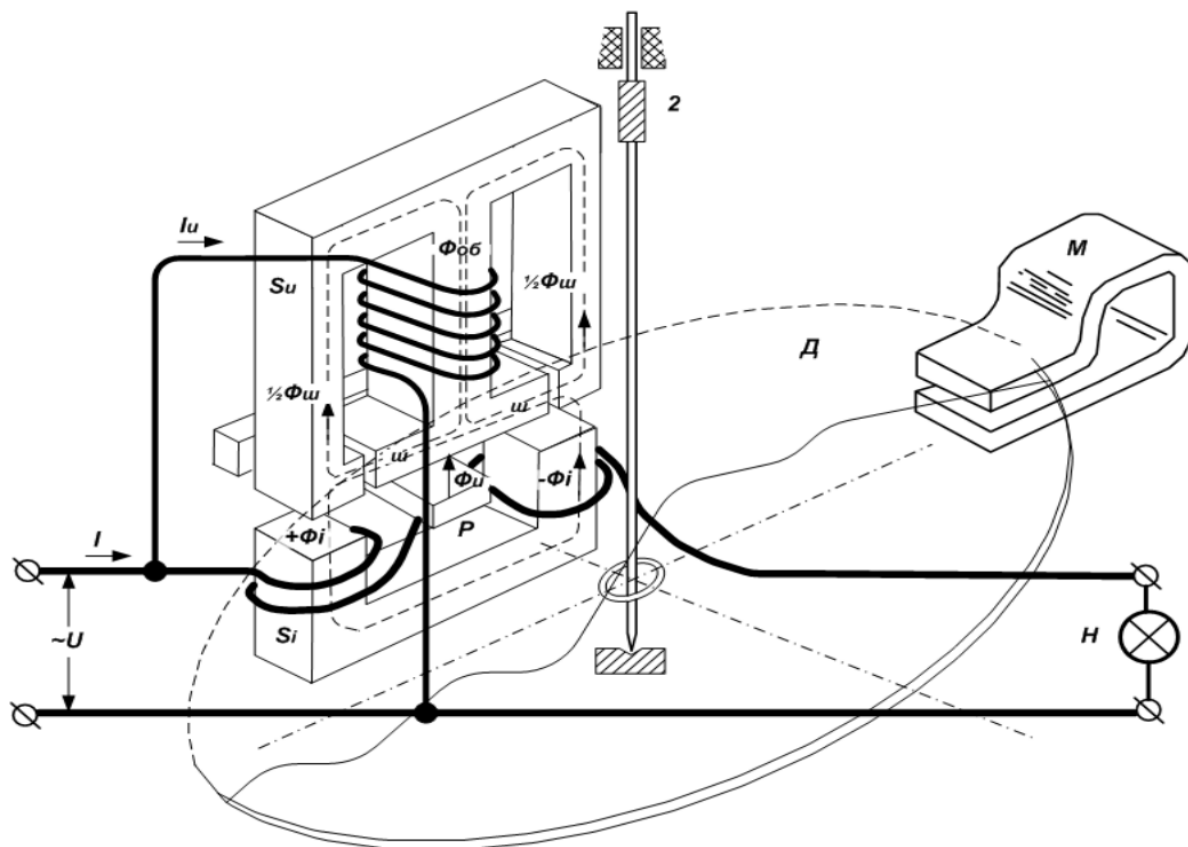


Рисунок 2- Принцип роботи індукційного лічильника

Сучасні лічильники виконуються трьопоточні, в яких подвоєний обертаючий момент створюється за рахунок того, що магнітний потік ланцюга струму двічі перетинає алюмінієвий диск.

Магнітна система кола напруги  $S_u$  Ш-подібної форми розташована по хорді диска (звідси назва на відміну від радіальної системи, коли магнітна система кола напруги U-подібної форми розташована по радіусу диска) і має відгалуження шунтуючий магнітний потік і протиполіус P, магнітозв'язаний з бічними стержнями сердечника. Під магнітною системою кола напруги розташована U- подібна магнітна система кола струму  $S_i$ .

У зазорі між цими системами розташовується алюмінієвий рухомий диск Д. На середньому стержні Ш - подібного сердечника розташована багатовиткова котушка з тонкого дроту, що включається на напругу мережі

U. Струм  $I_u$ , що проходить по цій обмотці, створює загальний магнітний потік  $\Phi_{\text{заг}}$  кола напруги, невелика частина якого  $\Phi_u$ , називається робочим потоком, перетинає диск і через протиполіус Р замикається на бічні стержні Ш-подібного сердечника. Велика частина потоку  $\Phi_{\text{заг}}$ , не перетинаючи диска, замикається через магнітні шунти Ш, розгалужуючись на дві частини  $\frac{1}{2} \Phi_{\text{ш}}$ . Цей неробочий потік  $\Phi_{\text{ш}}$ , як буде показано нижче, необхідний для створення необхідного зсуву між потоками  $\Phi_U$  і  $\Phi_I$  (внутрішнього кута лічильника). Взаємодія магнітних потоків  $\Phi_u$  і  $\Phi_i$  з полем вихрових струмів створює момент обертання рухомої частини:

$$M_{\text{об}} = k * \Phi_u * \Phi_i * \sin(90^\circ + \varphi) \quad (2)$$

Магнітний потік  $\Phi_i$  пропорційний прикладеній напрузі U. Магнітний потік

$\Phi_u$  пропорційний струму навантаження ІН. Тоді:

$$M_{\text{об}} = k * U * I_H * \cos \varphi \quad (3)$$

де k - постійний коефіцієнт, який визначається будовою лічильника.

Постійний магніт 3 створює гальмівний момент. Для компенсації тертя в опорах та повітря в рахунковому механізмі диска 4, черв'ячної передачі електромагнітом 2 створюється компенсаційний момент, рівний гальмівного.

$$M_K = M_T \quad (4)$$

В результаті рівноваги гальмівного і компенсаційного моментів рухома частина при відсутності струму навантаження лишається в режимі динамічної рівноваги[8].

На нижній магнітній системі Si розташовується маловіткова котушка з товстого дроту, що включається послідовно в ланцюг струму навантаження I. Магнітний потік  $\Phi_I$  двічі перетинає алюмінієвий диск і замикається по магнітному шунту Ш верхнього сердечника і частково через

його бічні стержні. Незначна неробоча частина потоку  $\Phi_I$  замикається, не перетинаючи диск, через протиполюс Р. Ці складові потоку  $\Phi_I$  на малюнку не показані. Спрощена векторна діаграма вимірювального елемента лічильника наведена на рис.3 для загального випадку, коли струм навантаження відстає напруги  $U$  на кут  $j$ .

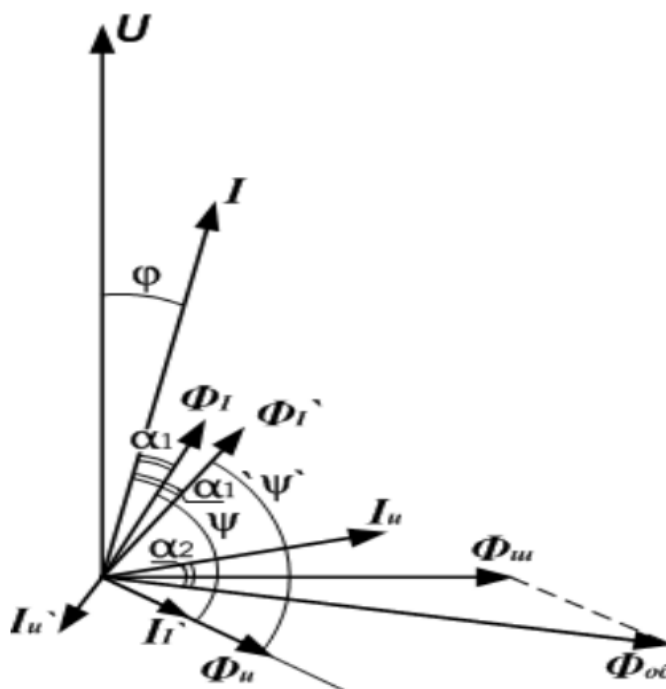


Рис. 3. Векторна діаграма вимірювального елемента лічильника

Магнітний потік  $\Phi_I$ , проходячи по магнітопроводу, створює в ньому втрати на гістерезис і вихрові струми, внаслідок чого вектор потоку  $\Phi_I$  відстає від його струму  $I$  на кут  $\alpha_1$ . Зазвичай цей кут невеликий (близько  $10^\circ$ ) і використовується при регулюванні лічильника по внутрішньому куті. Котушка напруги має велику індуктивну складову, внаслідок чого струм  $I_u$  відстає від прикладеної до неї напруги  $U$  на кут  $70^\circ$ . Потік  $\Phi_{заг}$  відстає від його струму  $I_u$  на кут  $\alpha_2$  внаслідок втрат на гістерезис і вихрові струми в осерді, причому складова цього потоку  $\Phi_U$ , яка перетинає диск, відстає на більший кут внаслідок додаткових втрат на вихрові струми в алюмінієвому диску. Кут зсуву фаз  $Y$  між потоками  $\Phi_I$  і  $\Phi_U$  для правильної роботи лічильника повинен дорівнювати  $90^\circ$ .

## Електронний (статичний) електролічильник

На відміну від індукційних лічильників, електронні та електромеханічні(гібридні) лічильники (рис. 4.) працюють на основі мікросхем, не містять обертових частин і виробляють перетворення сигналів, що надходять з вимірювальних елементів напруги струму, в пропорційні величини потужності та енергії.



Рис.4. Електронний та електромеханічний лічильники

На рис. 5. представлена структурна схема електронного та електромеханічного лічильників, заснованих на амплітудній і широтно-імпульсній модуляції



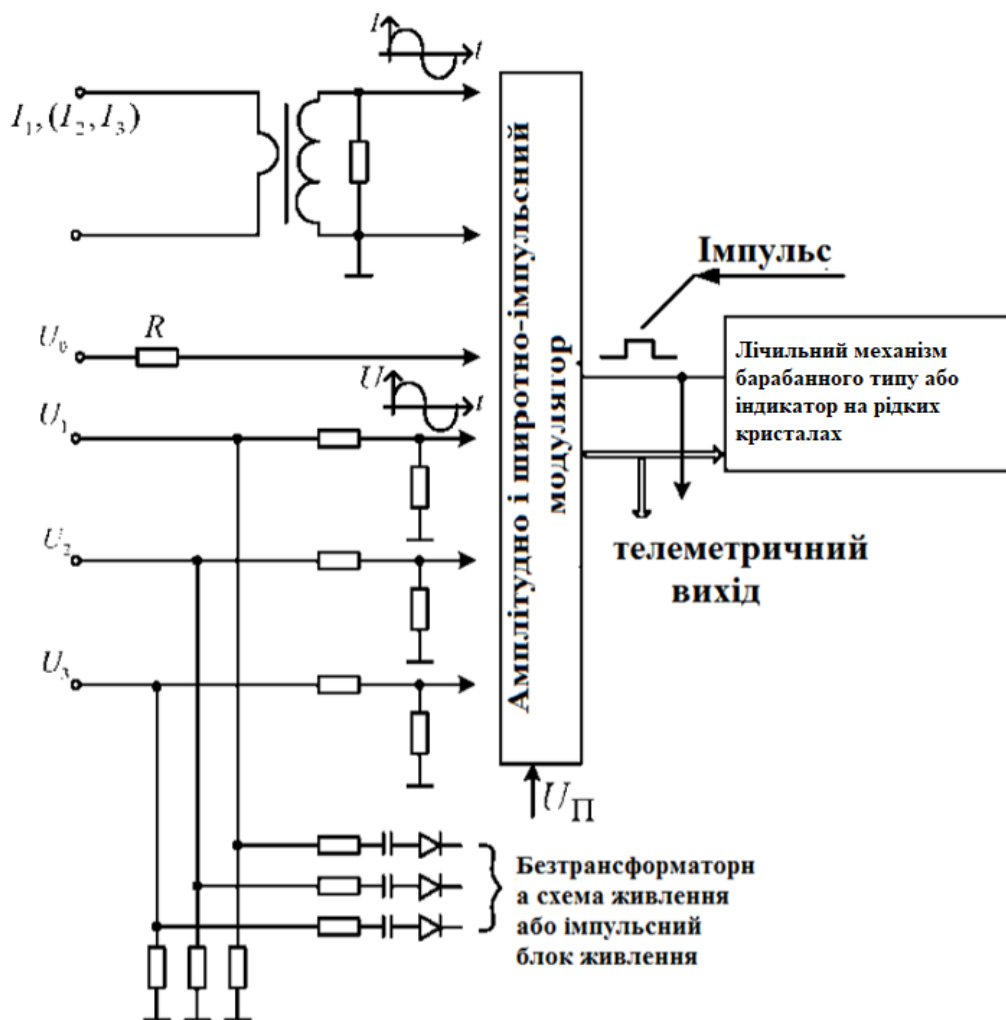


Рис. 5. Структурна схема електронного лічильника

Найбільш важливі функції електронних лічильників енергії – це тариф на лічильник і клас точності. Електролічильник може бути однотарифний або двотарифний. Двотарифні лічильники дають можливість платити за електроенергію менше, тому що у встановлений час вони автоматично переключаються на нічний тариф, який майже в 2 рази нижче денного. Двухтарифна система розрахунків передбачає окремі тарифи для дня (з 7:00 до 23:00) і ночі (з 23:00 до 7:00). Оскільки нічний тариф значно нижче денного, це дає можливість істотно скоротити витрати на оплату електроенергії (особливо при перекладі на нічний режим таких енергоємних приладів, як пральні машини або електрообігрівачі).

«Клас точності» електролічильника вказує на рівень похибки вимірювань приладу. Раніше всі лічильники мали клас точності 2.5 (максимально допустимий рівень похибки цих приладів – 2,5%). Пізніше було введено новий стандарт точності приладів обліку, які використовуються в побутовому секторі – 2.0, що і стало вагомою причиною до повсюдної заміни індукційних лічильників на більш точні, з класом точності 2.0.

Переваги електронних лічильників:

- високий клас точності;
- багатотарифність;
- можливість обліку різних видів енергії одним приладом;
- можливість вимірів показників кількості і якості енергії та потужності;
- можливість фіксації несанкціонованого доступу і випадків розкрадання електроенергії;
- можливість створення сучасних АСКОЕ;
- можливість дистанційного знімання показників за різними цифровими інтерфейсами; можливість тривалого збереження даних обліку і доступу до них.

Лічильники електронні однофазні однотарифні призначені для технічного або комерційного обліку активної електричної енергії змінного струму частотою 50Гц в двопровідних мережах.

Лічильники електронні однофазні багатотарифні забезпечують багатотарифний облік активної електричної енергії в двопровідних мережах змінного струму частотою 50 Гц. Лічильники реєструють і зберігають значення спожитої електроенергії за тарифними зонами на початок кожного місяця, всього, з перевищенням ліміту потужності, з можливістю

наступного перегляду на Рк-індикаторі. Використовуються автономно або в АСКОЕ.

Гібридні лічильники електроенергії (рис.1.6) рідко використовуваний проміжний варіант з цифровим інтерфейсом, вимірювальної частиною індукційного або електронного типу, механічним обчислювальним пристроєм.



Рис.1.6. Гібридний лічильник електроенергії

### Схеми підключення однофазного лічильника.

За способом включення лічильники можна розділити на 3 групи. Лічильники безпосереднього включення (прямого включення), Включаються в мережу без вимірювальних трансформаторів. Такі лічильники випускаються для мереж 0,4 / 0,23 кВ на струми до 100 А.

Лічильники напів-трансформаторного включення, Своїми струмовими обмотками включаються через трансформатори струму. Обмотки напруги включаються безпосередньо в мережу. Область

застосування — мережі до 1 кВ. Лічильники непрямого включення, Включаються в мережу через трансформатори струму та трансформатори напруги. Область застосування — Мережі вище 1 кВ.

Лічильники непрямого включення виготовляються двох типів. Схема включення однофазного лічильника зображена на рис. 7, а. Обов'язковою вимогою при включенні лічильника є дотримання полярності підключення як по струму, так і за напругою.

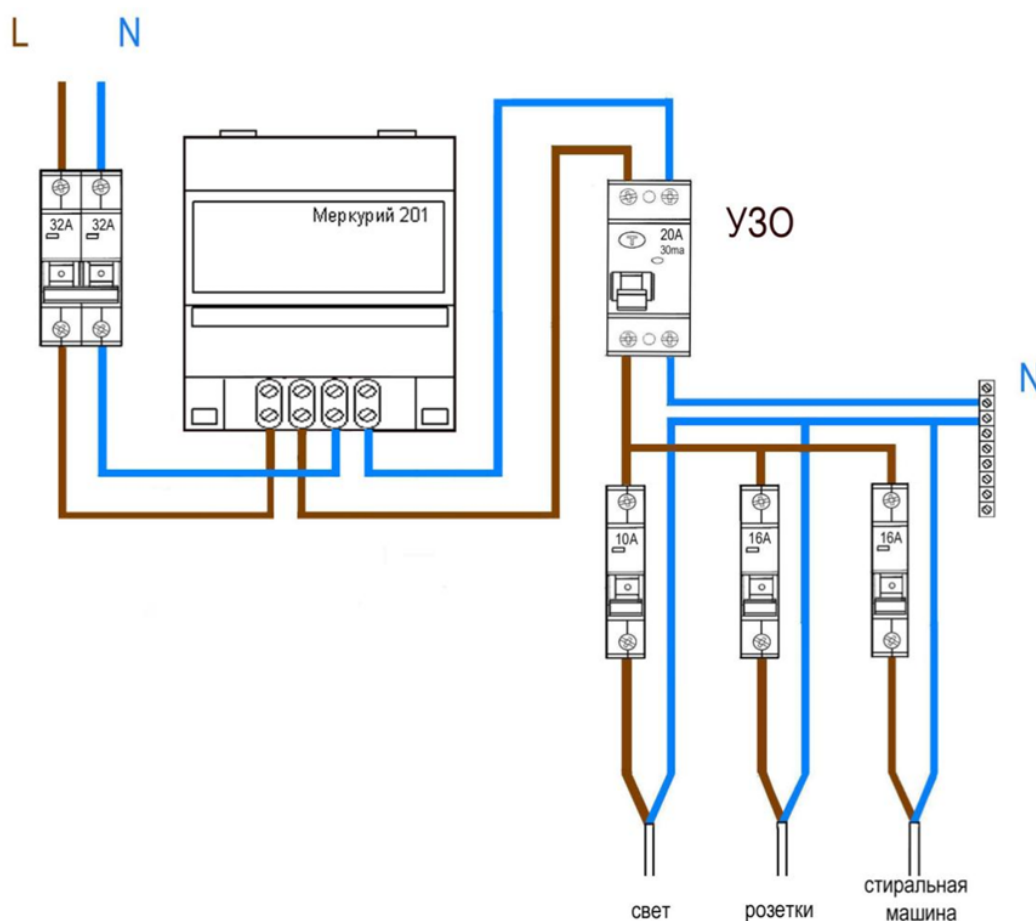


Рис. 7. Схема включення однофазного лічильника

На рис. 8, б зображена схема включення індукційного лічильника зі зворотнім полярністю в струмового кола. В даному випадку зміна напрямку струму в колі створює від'ємний обертаючий момент, і диск лічильника буде обертатися у зворотній бік. Електронний однофазний лічильник в цьому випадку енергію не вимірює, і миготіння індикаторів не спостерігається.

Нові типи електронних однофазних лічильників вимірюють електроенергію незалежно від полярності підключення струмового ланцюга. Включення однофазного лічильника з зворотною полярністю по напрузі і струму показано на рис. 8, в. В даному випадку фази струму і напруги  $17$  одночасно змінюються на  $180^\circ$ , а кут фазового зсуву залишається колишнім. Тому лічильник вимірює електроенергію відповідно до свого класу точності. На практиці використання схеми включення лічильника за рис. 8, в не допускається, оскільки вона дозволяє використовувати електроенергію без обліку[8].

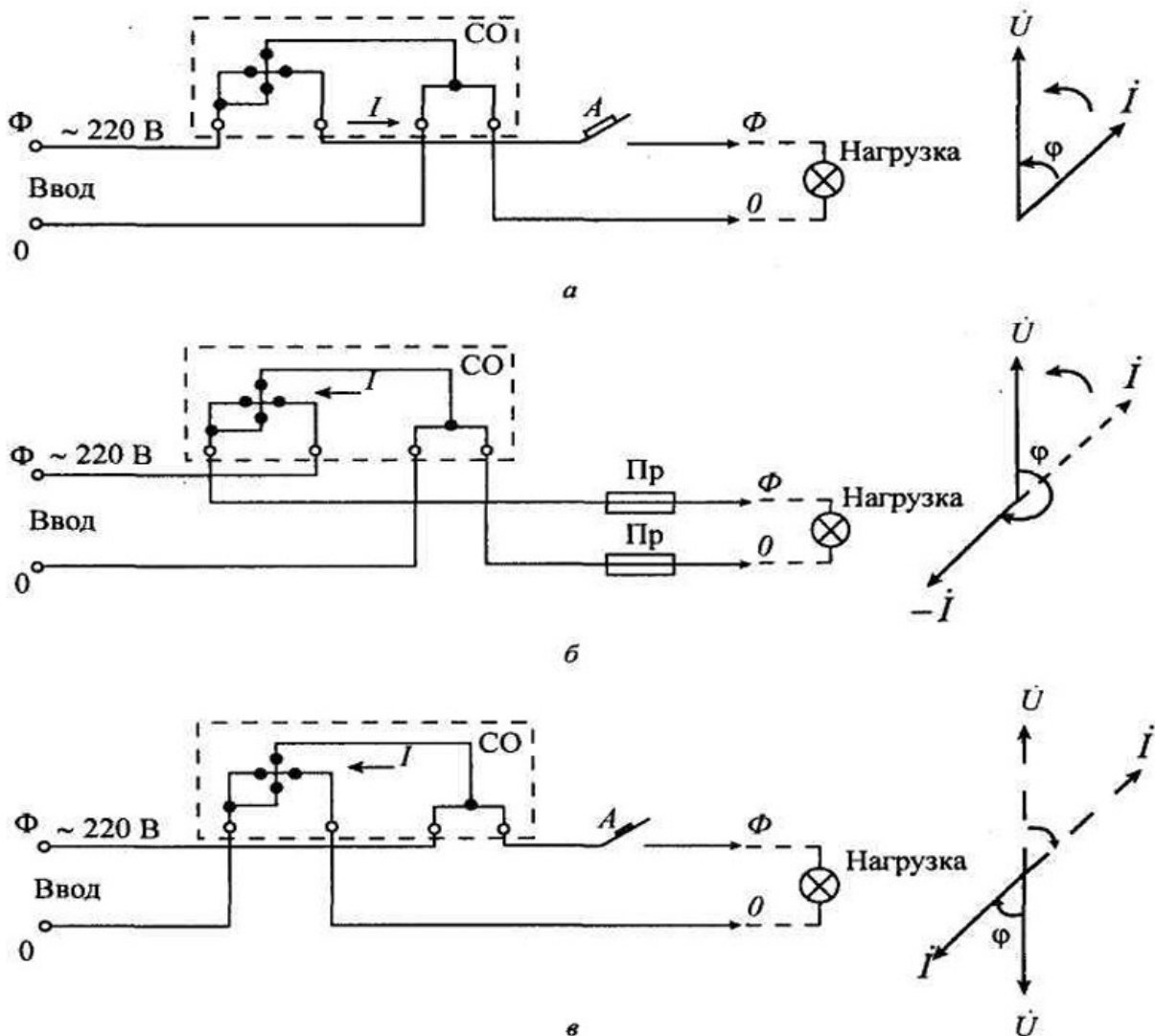


Рис. 8. Схеми включення і векторні діаграми однофазного лічильника (а), індукційного однофазного лічильника з зворотною полярністю в струмовому колі (б) і однофазного лічильника з зворотною полярністю в колі струму і напруги (в)

### Схеми приєднання трифазних лічильників в електромережах напругою 220/380 В

У трифазних чотирьох провідних мережах напругою 220/380В для вимірювань електричної енергії використовують лічильники прямого (безпосереднього) ввімкнення. Вони називаються прямоструминними. Крім того, застосовують лічильники, що підключаються до мережі за допомогою трансформатора струму (ТС). Вони називаються універсальними або трансформаторними.

Лічильники прямого ввімкнення розраховані на номінальні струми навантаження 5, 10, 20, 50 А. Підключення до кола струму даних лічильників виконується послідовно з мережевими провідниками та обов'язковим дотриманням полярності (рис. 9).

Виміряна енергія дорівнює різниці показань рахункового механізму за розрахунковий (обліковий) період:  $\Delta W = П_k - П_n = \Delta П$ .

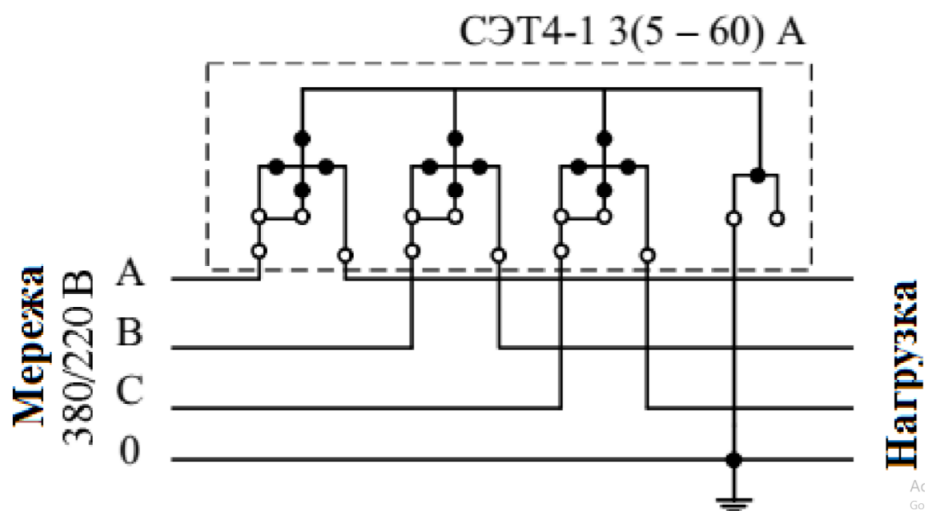


Рисунок 9. – Схема ввімкнення прямоточного лічильника типу СЭТ4-1

Підключення з зворотною полярністю однією з струмових ланцюгів лічильника може призвести до значного недообліку електроенергії. Тому обов'язкове є дотримання прямого порядку чергування фаз напруг на колодці затискачів лічильника електричної енергії. Зміна послідовності чергування фаз напруг на колодці затискачів лічильника електричної енергії виконується за допомогою зміною місць підключення відповідно двох провідників одного елемента з двома провідниками іншого елемента.

На рис. 1.6 зображені схема ввімкнення трансформаторного лічильника (а) та векторна діаграма (б), яка вказує на індуктивний характер навантаження у фазі фазового зсуву, рівного 30 градусів. Схема підключення виконується десяти провідною. Струмові кола лічильника гальвонічно не з'єднані з ланцюгами напруги, а розділені. Вимірювана електроенергія даним способом дорівнює різниці показаників лічильника, помноженої на коефіцієнт трансформації:

$$W = (P_k - P_H) * k_T = \Delta P * k_T \quad (5)$$

Підключення всіх трьох вимірювальних елементів лічильника потребує обов'язкового дотримання полярності підключених струмових ланцюгів і відповідності їх своїй напрузі. Зворотна полярність ввімкнення первинної обмотки ТТ або його вторинної обмотки обумовлює негативний обертовий момент, що діє на диск лічильника. Дана схема забезпечує нормальну похибку вимірювань. Обов'язково потрібно підключатися до нульового проводу. Найбільш часті пошкодження які зустрічаються в схемі:

- обрив (внутрішній злам) фазних проводів напруги вторинних ланцюгів;
- окислення або ослаблення затиснутих контактів на ТТ;
- пробою ТТ.

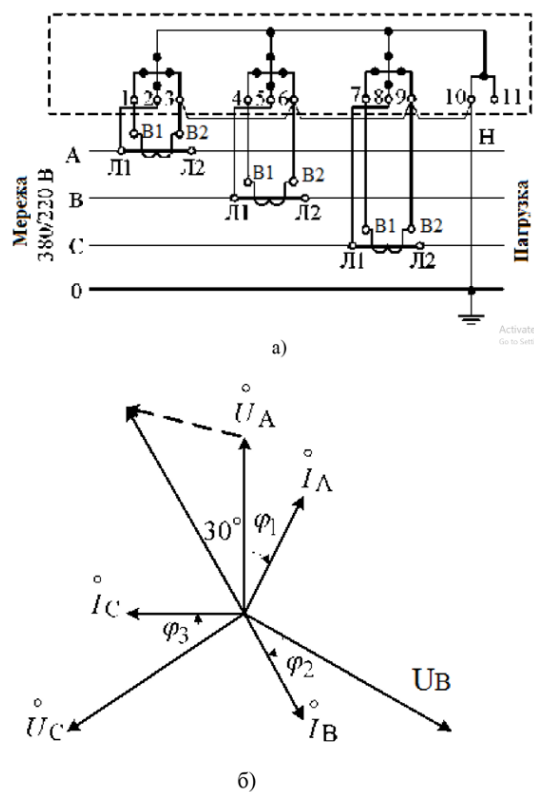


Рисунок 10. – Схема включення трьохелементного індукційного лічильника типу СА4У–І672М в трьох фазну мережу з роздільними ланцюгами напруги та струму (а) і векторна діаграма (б). Прямий порядок чергування фаз є обов'язковий

За необхідності зміни порядку чергування фаз три провідника з одного елемента на колодці затискачах лічильника змінюються місцями з відповідними трьома провідниками іншого елемента.

Доволі часто використовується семи провідна схема ввімкнення (рис. 10, а). У даній схемі використовується об'єднання ланцюгів напруги та струму. З'єднання ланцюгів напруги та струму забезпечується установкою перемичок на ТТ та на лічильнику. Схема має низку недоліки:

- пробій ТТ тривалий час не можливо виявити;
- під напругою певний час знаходяться струмові кола лічильника;
- установка перемичок І2-Л2 на ТС, і 1-2 на лічильнику спричиняє додаткову похибка вимірювань.



Прямий порядок чергування фаз обов'язковий:

Л1 - В1 - перемички, встановлені на ТС;

1 - 2; 4 - 5; 7 - 8 - перемички, встановлені на лічильнику.[8]

### **Вибір об'єкту контролю**

Враховуючи всі характеристики вище зазначених різновидів лічильників для розробки методики калібрування найкращий вибір це - електронні лічильники виходячи з того, що в порівнянні з індуктивними та електромеханічними лічильниками вони мають суттєві переваги: точність, багатотарифність, можливість обліку різних видів енергії одним приладом, тощо.

Якщо ж вибирати між трифазними лічильниками та однофазними то більш актуальною буде МКЛ для однофазних лічильників електроенергії, адже трифазні лічильники використовують в електромережах з великими потужностями, здебільшого на виробництвах, а однофазні лічильники використовують здебільшого в побуті, в кожному будинку, з цього виходить, що однофазні лічильники більш запитаний ніж трифазні.

### **Висновок за розділом**

В цьому розділі мною було зібрано та представлено інформацію про:

- загальні положення проведення оцінки відповідності в Україні та за кордоном;
- функціонал та конструкцію (об'єкта контролю) на прикладах;
- проведено порівняльний аналіз який з типів лічильників являється найзапитанішим

### **3. РОЗРОБЛЕННЯ МКЛ**

## **МЕТОДИКА КАЛІБРУВАННЯ**

лічильників електроенергії однофазних

з електронним показуючим пристроєм

**Розробив:**

Студент групи 152м-22-1

Кавуненко Євгеній Романович

## 1 ТЕРМІНИ, ВИЗНАЧЕННЯ ТА СКОРОЧЕННЯ

У даній Методиці калібрування терміни та визначення відповідно до ДСТУ ISO 9000 та ДСТУ ISO/IEC 17000.

Крім того, в Методиці калібрування використовуються наступні терміни та скорочення:

- ВУ – вимірювальне устаткування;
- ЕЗВТ – еталонні засоби вимірювальної техніки;
- ЗВТ – засоби вимірювальної техніки;
- КЛ – статус калібрувальної лабораторії;
- МКЛ – методика калібрування;
- МОВ – методика оцінки відповідності Центру оцінки відповідності;
- МР – метрологічні роботи та послуги (вимірювання, калібрування, повірка та ін.);
- НЛЦ – начальник лабораторії Центру оцінки відповідності;
- НД – нормативний документ;
- ПсЦ – Паспорт Центру оцінки відповідності;
- ПрЦ – Процедура Центру оцінки відповідності;
- ПБЕЕС – Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів;
- ПТЕЕС – Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів;
- ЛЦ – Лабораторія Центру оцінки відповідності;
- СУЯЦ – Система управління якістю Центр оцінки відповідності;
- Ц – Центр оцінки відповідності;
- ТУс – технологічне устаткування.

Вимірювана величина - конкретна величина, що є об'єктом вимірювання.

Впливна величина - величина, яка не є вимірюваною величиною, але впливає на результат вимірювання.

Нормовані робочі умови - значення вимірюваної величини і впливних величин, що утворюють нормальні робочі умови для засобів вимірювальної техніки.

Перешкода - впливна величина, що має значення в межах, встановлених відповідними вимогами, але поза встановлених нормованих робочих умов для засобів вимірювальної техніки. Впливна величина є перешкодою, якщо для цієї впливної величини не встановлені нормовані робочі умови.

Кліматичні умови - умови, за яких може експлуатуватися засіб вимірювальної техніки.

## 2 ВСТУП

МКЛ поширюється на усі види МР що проводяться персоналом Ц на території Ц.

МКЛ встановлює технологічну послідовність проведення МР, їх ресурсне забезпечення, вимоги до технологічного процесу та результатів. МКЛ розроблена з урахуванням вимог наступних стандартів:

- ДСТУ EN 50470-1 «Засоби вимірювання електричної енергії змінного струму. Частина 1. Загальні вимоги, випробування та умови випробувань. Лічильники електричної енергії (класів точності А, В і С)»;
- ДСТУ EN 50470-2 «Засоби вимірювання електричної енергії змінного струму. Частина 2. Спеціальні вимоги. Лічильники активної енергії електромеханічні (класів точності А і В)»;
- ДСТУ EN 50470-3 Засоби вимірювання електричної енергії змінного струму. Частина 3. Спеціальні вимоги. Лічильники активної енергії статичні (класів точності А, В і С)»;
- ДСТУ EN 62052-11 «Засоби вимірювання електричної енергії змінного струму. Загальні вимоги, випробування та умови випробування. Частина 11. Лічильники електричної енергії»;
- ДСТУ EN 62052-21 «Засоби вимірювання електричної енергії змінного струму. Загальні вимоги, випробування та умови випробування. Частина 21. Засоби тарифікації та керування навантагою»;
- ДСТУ EN 62053-11 «Засоби вимірювання електричної енергії змінного струму. Спеціальні вимоги. Частина 11. Лічильники активної енергії електромеханічні (класів точності 0,5, 1 і 2)»;
- ДСТУ EN 62053-21 «Засоби вимірювання електричної енергії змінного

струму. Спеціальні вимоги. Частина 21. Лічильники активної енергії статичні (класів точності 1 і 2)»;

- ДСТУ EN 62053-22 «Засоби вимірювання електричної енергії змінного струму. Спеціальні вимоги. Частина 22. Лічильники активної енергії статичні (класи точності 0,2 S та 0,5 S)»;

- ДСТУ EN 62053-24 «Засоби вимірювання електричної енергії змінного струму. Спеціальні вимоги. Частина 24. Статичні лічильники реактивної енергії для основної частоти (класи точності 0,5 S, 1 S та 1)»;

- ЕА- 4/02 М:2013 «Вираження невизначеності вимірювання при калібруванні».

МКЛ є головним технологічним документом, за яким проводяться МР за результатами яких проводиться оцінка відповідності вимогам НД.

МКЛ є офіційним документом, його копія може надаватися замовнику за вимогою з метою підтвердження спроможності Ц якісного виконання МР зразків продукції з дотриманням принципів компетентності у своїй діяльності.

МКЛ запроваджено з метою забезпечення довіри до результатів МР та діяльності Ц. Результатом впровадження МКЛ є демонстрація Ц того, що він працює компетентно, а результат МР є достовірний.

### **3 СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ**

МКЛ поширюється на лічильники електричної енергії з електронним обліковим пристроєм.

МКЛ в сфері застосування не може послаблювати вимоги: ДСТУ EN 50470-1; ДСТУ EN 50470-2; ДСТУ EN 50470-3, ДСТУ EN 62052-11; ДСТУ EN 62052-21; ДСТУ EN 62053-11; ДСТУ EN 62053-21; ДСТУ EN 62053-22; ДСТУ EN 62053-23; ДСТУ EN 62053-23, а може лише їх роз'яснювати, конкретизувати, доповнювати або посилювати.

### **4 ОПЕРАЦІЇ КАЛІБРУВАННЯ**

При проведенні калібрування повинні бути виконані операції, зазначені в таблиці 4.1.

#### **Таблиця 4.1 – Перелік операцій калібрування**

Назва процесу	Номер пункту методики
<b>1. Зовнішній огляд</b>	<b>11.1</b>
Оцінка візуального стану	
- Контроль інформації нанесеної на паспортну табличку	
- Контроль стану елементів пломбування	
- Перевірка відсутності забруднення	
<b>2. Опробування</b>	<b>11.2</b>
Оцінка електротехнічної частини	
- Контроль стану ізоляції	
- Контроль допоміжних пристроїв	
- Контроль інтерфейсних пристроїв	
Оцінка конструктивної частини	
- Контроль показуючого пристрою	
- Перевірка елементів цоколю	
- Перевірка елементів кожуху	
Оцінка працездатності системи	

- Контроль апаратної частини	
- Контроль програмної частини	
- Самонагрівання поверхні елементів	
<b>3. Визначення метрологічних характеристик</b>	<b>11.3</b>
- Контроль відхилень під час вимірювання	<b>11.3.1</b>
- Контроль точності вимірювання	<b>11.3.2</b>
- Контроль порогу чутливості	<b>11.3.3</b>

## 5 ЗАСОБИ КАЛІБРУВАННЯ

**Таблиця 5.1** - Перелік обладнання, що використовується

Назва обладнання
Установка для випробування, калібрування та повірки однофазних лічильників електричної енергії РТС-8125М
Лічильник-ватметр еталонний однофазний НС-5100
Установка для випробування електричної міцності CS2672В
Тестер ізоляції (мегомметр) DVM52IT
Мультиметр M890F
Термогігрометр цифровий ИТП-3-04
Барометр-анероїд метеорологічний БАММ-1
Пірометр «GM320»

Всі засоби вимірювань, що використовуються для калібрування лічильників електроенергії повинні мати діючі свідоцтва калібрування.

## 6 ВИМОГИ ДО КВАЛІФІКАЦІЇ ВИКОНАВЦІВ

Перед використанням обладнання, персонал повинен мати необхідні навички для роботи з обладнанням, знати вимоги його експлуатаційної документації, та своєї посади бути уповноваженим для виконання конкретного виду діяльності.

## 7 ВИМОГИ БЕЗПЕКИ

При проведенні калібрування персонал Ц повинен дотримуватися "Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів" і "Правила техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів".



При калібрування необхідно дотримуватись вимог техніки безпеки, викладені в експлуатаційній документації на застосовувані засоби калібрування.

Забороняється знімати лічильники з пристрою при наявності напруги на установці.

До проведення калібрування повинні бути допущені особи, які мають необхідну кваліфікацію і проходили внутрішнє навчання.

## **8 УМОВИ КАЛІБРУВАННЯ**

Аналіз вимог виконує НЛЦ. Умови калібрування мають відповідати наступним вимогам:

1. температура,  $20 \pm 2$  [С];
2. вологість, від 30 до 80 [%];
3. атмосферний тиск від 84 до 106 [кПа];
4. освітленість на робочих місцях, [лк] 400;
5. шуму, вібрації,  $40 \pm 5$  [дБ].

Забороняється проводити будь-які метрологічні роботи за аномальних умов приміщення та довкілля. Також забороняється проводити будь-які метрологічні роботи у разі порушення:

- Правил прибирання приміщень та догляду за рослинами;
- Правил доступу до приміщень, діляниць, обладнання;
- Правил режиму запобігання втручанню у діяльність;
- Правила режиму чистоти приміщень і довкілля.

## **9 ПОВОДЖЕННЯ З ОБ'ЄКТОМ КАЛІБРУВАННЯ**

Основні завдання вимог щодо процесу поведження з об'єктом калібрування :

- ідентифікація зразків;
- відбір зразків;

- приймання зразків на МР;
- транспортування і перевірка обладнання;
- занесення розрахунків і результатів МР;
- занесення даних в протоколи випробувань;
- зберігання виробів та затвердження даних.

Ідентифікація і відбір зразків проводиться у зоні вхідного контролю ЛЦ.

За результатами ідентифікації і відбору зразків складається Акт ідентифікованого відбору зразків.

Після відбору, зразок підлягає поводженню, переміщенню, транспортуванню, зберіганню чи утриманню.

## **10 ПІДГОТОВКА ДО КАЛІБРУВАННЯ**

Перед проведенням калібрування необхідно:

- переконатись, що вимоги ПТЕЕС, ПБЕЕС виконуються і подальше виконання робіт безпечно;
- перевірити умови приміщення та довкілля;
- перевірити етикетку верифікації, що підтверджує результати калібрування еталона та допоміжних засобів;
- підготувати та підключити установку для калібрування лічильників електричної енергії відповідно до її експлуатаційного документа;
- встановити групу на стендові місця в однієї модифікації та серії;
- підключити їх до ланцюгів відповідно до Додатку А «Схема підключення» (несиметрична схема підключення або у випадку необхідності симетричного підключення).

## **11 ПРОВЕДЕННЯ КАЛІБРУВАННЯ**

### **11.1 Зовнішній огляд**

Зовнішній огляд включає в себе:

- Контроль наявності усіх елементів та їх розташування в загальній

схеми у відповідності до документації на прилад

- Контроль інформації нанесеної на паспортну табличку:

- нормальні робочі умови;
- класи за механічними і електромагнітними умовами;
- верхню і нижню межі температури;
- рівень захисту оболонки та кліматичні умови;
- виконання монтажу, обслуговування, ремонту, допустимого регулювання;
- правильність і спеціальні умови застосування;
- умови сумісності з інтерфейсами, компонентами, вузлами

- Контроль стану елементів пломбування:

- огляд пломби на предмет вірності встановлення;
- огляду пломби на предмет фіксації на місці встановлення;

- Перевірка відсутності забруднення:

- паспортна табличка – лицьова поверхня;
- цоколь – лицьова поверхня;
- кожух – лицьова поверхня;
- лицьова поверхня клемної кришки;
- клемна колодка;
- роз'єм випробувального виходу;

## 11.2 Опробування

Опробування включає в себе:

- Контроль стану ізоляції

- виконати вимоги ПТЕЕС, ПБЕЕС, а саме: вдягнути ЗІЗ встановити ЗКЗ, переконатися у відсутності напруги;
- встановити групу лічильників на стендові місця і підключити їх до ланцюгів відповідно до Рисунку 2;
- темпом збільшення 1 кВ/1 с, встановити напругу на значення 4 кВ + 0.4 кВ і витримати її на протязі 60 с + 6 с;
- темпом зменшення 1 кВ/1 с, зняти напругу до нуля, та провести зовнішній огляд лічильника;
- отримати підтвердження відповідності схем лічильника зовнішнім електромагнітним умовам Е2
- зняти лічильники відповідно до вимог ПТЕЕС, ПБЕЕС.

- Контроль допоміжних пристроїв

- Контроль інтерфейсних пристроїв

- Контроль показуючого пристрою
- Перевірка елементів цоколю
- Перевірка елементів кожуху
- Контроль апаратної частини
- Контроль програмної частини
- Самонагрівання поверхні елементів:
  - переконатись, що вимоги ПТЕЕС, ПБЕЕС виконуються і подальше виконання робіт безпечно;
  - визначити температуру довкілля (без аномальних умов, температура довкілля має становити  $23 \pm 2^\circ\text{C}$ );
  - увімкнути необхідний діапазон вимірювання на пірометричному датчику;
  - провести контроль температури перегріву пірометричним датчиком зони мікросхеми та напівпровідникових елементів,  $t_1 \leq t_0 + 10^\circ\text{C}$ ;
  - провести контроль температури перегріву пірометричним датчиком зон вимірювальних шунтів та трансформаторів,  $t_2 \leq t_0 + 15^\circ\text{C}$ ;
  - провести контроль температури перегріву пірометричним датчиком зон силових клемних затискачів,  $t_4 \leq t_0 + 20^\circ\text{C}$ ;
  - зберегти результати щодо зміни похибки від самонагрівання.

### 11.3 Визначення метрологічних характеристик

Визначення метрологічних характеристик розпочинається з контролю відхилень вимірювань. Після контролю відхилень вимірювань, необхідно провести контроль точності та контроль порогу чутливості.

#### 11.3.1 Контроль відхилень під час вимірювання

Для контролю відхилень під час вимірювання необхідно:

– переконатись, що вимоги ПТЕЕС, ПБЕЕС виконуються і подальше виконання робіт безпечно;

– встановити режим контролю реверсу струмів та перевірити наявність і постійність індикації;

– встановити режим контролю витоку на землю (нерівність вхідного і вихідного струму) та перевірити наявність і постійність індикації;

- перевірити наявність індикатора навантаження;
- встановити режим контролю перевищення навантаження та перевірити наявність і постійність індикації;
- перевірити активність у меню установки режимів визначення: похибки, чутливості, самоходу, константи лічильника.

**Допускається:** спрацювання індикатора «земля» на струмах близьких до нижньої границі вимірювання.

**Особливу увагу** звернути на режими роботи установки.

**Не допускається:** непрацюючі режими, відсутність навантаження під час тестування (крім режиму контролю перевищення навантаження).

### 11.3.2 Контроль точності вимірювання

Для контролю точності вимірювання необхідно:

- переконатись, що вимоги ПТЕЕС, ПБЕЕС виконуються і подальше виконання робіт безпечно;
- встановити режим калібрування, для визначення похибок за характером навантаження згідно параметрів, наведених у Таблиці 3;
- встановити режим калібрування, для визначення похибок за характером навантаження згідно параметрів, наведених у таблицях 4 та 5.
- залишити лічильники без змін для наступного контролю.

**Таблиця 3 – Межі похибки каналу вимірювання, що викликана самонагріванням лічильників типу**

Діапазон, [А]	Коефіцієнт потужності	Межі зміни похибки за класом точності 1.0 [%], згідно з ДСТУ EN 62053-11	Межі зміни похибки за класом точності 2.0 [%], згідно з ДСТУ EN 62053-23
<b>Для лічильників активної електроенергії</b>			
$I_{\max}$	$\cos(\varphi) = 1$	0,7	-
	$\cos(\varphi) = 0,5$ L	1,0	-
<b>Для лічильників реактивної електроенергії типу</b>			
$I_{\max}$	$\sin(\varphi) = 1$	-	1,0
	$\sin(\varphi) = 0,5$ L(C)	-	1,5

**Таблиця 4 – Границі похибки однофазних лічильників електричної енергії (актив)  
(ДСТУ EN 62053-11:2018, п.8.1, табл.6)**

№	Значення сили струму	Коефіцієнт потужності		Похибка
		Актив +	Актив -	
1	0,05 I <sub>н</sub>	$\cos \varphi = 1$	$\cos \varphi = -1$	± 1,2
2	0,1 I <sub>н</sub>	$\cos \varphi = 1$	$\cos \varphi = -1$	± 0,8
		$\cos \varphi = 0,8 C$	$\cos \varphi = -0,8 C$	± 1,2
		$\cos \varphi = 0,5 L$	$\cos \varphi = -0,5 L$	± 1,2
3	0,2 I <sub>н</sub>	$\cos \varphi = 0,8 C$	$\cos \varphi = -0,8 C$	± 0,8
		$\cos \varphi = 0,5 L$	$\cos \varphi = -0,5 L$	± 0,8
4	I <sub>н</sub>	$\cos \varphi = 1$	$\cos \varphi = -1$	± 0,8
		$\cos \varphi = 0,8 C$	$\cos \varphi = -0,8 C$	± 0,8
		$\cos \varphi = 0,5 L$	$\cos \varphi = -0,5 L$	± 0,8
5	I <sub>max</sub>	$\cos \varphi = 1$	$\cos \varphi = -1$	± 0,8
		$\cos \varphi = 0,8 C$	$\cos \varphi = -0,8 C$	± 0,8
		$\cos \varphi = 0,5 L$	$\cos \varphi = -0,5 L$	± 0,8

Таблиця 5 – Границі похибки однофазних лічильників електричної енергії (реактив)  
(ДСТУ EN 62053-23:2018, п.8.1, табл.6)

№	Значення сили струму	Коефіцієнт потужності		Похибка а
		Реактив +	Реактив -	
1	0,05 I <sub>н</sub>	$\sin \varphi = 1$	$\sin \varphi = -1$	± 2,0
2	0,1 I <sub>н</sub>	$\sin \varphi = 1$	$\sin \varphi = -1$	± 1,6
		$\sin \varphi = 0,5 L$	$\sin \varphi = -0,5 C$	± 2,0
3	0,2 I <sub>н</sub>	$\sin \varphi = 0,5 L$	$\sin \varphi = -0,5 C$	± 1,6
		$\sin \varphi = 0,25 L$	$\sin \varphi = -0,25 C$	± 2,0
4	I <sub>н</sub>	$\sin \varphi = 1$	$\sin \varphi = -1$	± 1,6
		$\sin \varphi = 0,5 L$	$\sin \varphi = -0,5 C$	± 1,6
		$\sin \varphi = 0,25 L$	$\sin \varphi = -0,25 C$	± 2,0
5	I <sub>max</sub>	$\sin \varphi = 1$	$\sin \varphi = -1$	± 1,6
		$\sin \varphi = 0,5 L$	$\sin \varphi = -0,5 C$	± 1,6
		$\sin \varphi = 0,25 L$	$\sin \varphi = -0,25 C$	± 2,0

Відносна похибка визначається автоматично, та виводиться на визначник похибки, в режимі визначення похибки за формулою:

$$\delta_L = \frac{C_L N_L - C_Y N_e}{C_Y N_e} \times 100\%,$$

Де  $C_L$  – постійна повіряемого лічильника (кількість електроенергії на один імпульс);

$N_L$  – кількість імпульсів виданих повіряємим лічильником при вимірюванні;

$C_Y$  – коефіцієнт перетворення ЕЗВТ, що дорівнює добутку постійної

( $C_e$ ) на коефіцієнт перетворення ( $k_m$ ) ЕЗВТ;

$N_e$  – кількість імпульсів виданих еталоном при вимірюванні;

**Допускається:** межі похибки що не перевищуються встановлені.

**Особливу увагу** звернути на розподіл похибок по діапазонам вимірювань.

**Не допускається:** перевищення похибки встановлених меж.

### 11.3.3 Контроль порогу чутливості

Для контролю порогу чутливості необхідно:

- переконатись, що вимоги ПТЕЕС, ПБЕЕС виконуються і подальше виконання робіт безпечно;
- встановити режим контролю порогу чутливості меж діапазону вимірювання струму. Перевірити чутливість на діапазонах відповідно до Таблиці 6;
- встановити режим контролю відсутності самоходу показів. Для цього випробування коло струму має бути розімкнено, а напругу в кола напруги треба подавати зі значенням 115 % від номінального. Мінімальна тривалість випробування для лічильників активної електричної енергії має становити:

$$\Delta t = \frac{600 \cdot 10^6}{k \cdot m \cdot U_n \cdot I_{max}}$$

Мінімальна тривалість випробування

$\Delta t$  для лічильників реактивної електричної енергії має становити:

$$\Delta t = \frac{480 \cdot 10^6}{k \cdot m \cdot U_n \cdot I_{max}}$$

- зняти лічильники відповідно до вимог ПТЕЕС, ПБЕЕС, оформити результати у вигляді протоколу оцінки відповідності.

**Таблиця 6 – Межі діапазону струму лічильників**

Діапазон, [A]	Струм, [A]	Нижній поріг, [A]	Верхній поріг, [A]	Нижній поріг, [A]	Верхній поріг, [A]
		cos (φ)		sin (φ)	
		За класом точності, <b>1.0</b> [%]		За класом точності, <b>2.0</b> [%]	
$0.004I_n \leq I_b \leq I_{max}$	$0.02 \leq 5.0 \leq 60$	0.02	60	-	-

$0.005I_n \leq I_b \leq I_{max}$	$0.025 \leq 5.0 \leq 80$	-	-	0.025	80
----------------------------------	--------------------------	---	---	-------	----

**Допускається:** коливання порогу чутливості до 3%.

**Особливу увагу** на режим самоходу, який проводиться з розімкнутим ланцюгом навантаження.

**Не допускається:** зниження порогу чутливості на встановлених діапазонах вимірювання.

## 12 ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ І ОБЧИСЛЕННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ ПРИ КАЛІБРУВАННІ

Відповідно до методики калібрування оцінюється розширена невизначеність вимірювання електричної енергії, шляхом звірення показів лічильника з еталонною установкою.

Оцінювання результату вимірювань і його невизначеності проводиться в такому порядку:

- складання математичної моделі вимірювання потужності;
- оцінювання вхідних величин і їх невизначеностей;
- оцінювання вихідних величин і їх невизначеностей;
- складання бюджету невизначеності;
- представлення результатів калібрування.

### 12.1 ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ І ОБЧИСЛЕННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Математична модель вимірювання електроенергії за силою струму та напругою, лічильником що калібрується:

$$\delta_{Px} = \underline{\delta}_{КЛ} + \Delta(\delta_E) + \Delta(\delta_{КЛ}) + \Delta(\delta_{окЛ}) + \Delta(E_{скЛ}), (12.1.1)$$

$$\delta_{Qx} = \underline{\delta}_{КЛ} + \Delta(\delta_E) + \Delta(\delta_{КЛ}) + \Delta(\delta_{окЛ}) + \Delta(E_{скЛ}), (12.1.2)$$

де  $\delta_{Px}/\delta_{Qx}$  – активна/реактивна електрична енергія, виміряна за допомогою лічильника електроенергії;

$\underline{\delta}_{КЛ}$  – середнє відхилення показів між еталонною установкою та калібруємим лічильником;

$\Delta(\delta_E)$  – похибка еталонної установки;

$\Delta(\delta_{КЛ})$  – похибка спричинена розкидом показів калібруємого лічильника;

$\Delta(\delta_{окЛ})$  – похибка округлення калібруємого лічильника;



$\Delta(E_{\text{скл}})$  – поправка, яка враховує вплив на еталон/лічильник електроенергії:

- похибка, зумовлена впливом температури, вологості і тиском навколишнього середовища;
- похибка, яка враховує вплив обраного методу калібрування;
- похибка, яка враховує вплив вимірювальних провідників при вимірюваннях.

У модельних рівняннях (12.1.1-12.1.2) невизначеність, що обумовлена впливом умов оточуючого середовища на лічильник приймається рівною нулю і у подальших розрахунках не зазначається, оскільки при проведенні калібрування у приміщенні лабораторії підтримуються умови навколишнього середовища зазначені у розділі 8. Невизначеність, що враховує вплив обраного методу калібрування, приймається рівною нулю і у подальших розрахунках не зазначається, оскільки у даному випадку використовується стандартизований метод калібрування. Також поправка, що враховує вплив вимірювальних провідників при вимірюваннях приймається рівною нулю і у подальших розрахунках не зазначається, оскільки при проведенні калібрування використовуються вимірювальні кабелі із комплекту еталонів, вплив яких враховується в специфікації на еталон, так як дані кабелі калібруються разом з еталоном.

### **12.1.1 Відхилення показання $\delta_x$ (систематична похибка) лічильника виходить із залежності:**

$$\delta_x = \frac{(e_{\text{кл}} + \Delta_k) - (e_E + \Delta_E)}{e_E} * 100\%, \quad (12.1.3)$$

де  $e_{\text{кл}}$  – середнє значення електроенергії, виміряне лічильниками, що калібрується;

$\Delta_k$  – поправка на похибку квантування (відліку) лічильника, що калібрується;

$e_E$  – електроенергія, виміряна еталоном;

$\Delta_E$  - поправка на сумарну додаткову похибку еталонної установки, що пов'язана з відхиленнями в умовах експлуатації, впливом на значення, що відтворюється еталоном, калібруемого лічильника і т.п.

Зазвичай  $\Delta_k$  та  $\Delta_E$  розглядаються як центровані випадкові величини (з оціненим значенням рівним нулю), тому оцінка систематичної похибки лічильника електроенергії, що калібрується, дорівнюватиме:

$$\delta_x = \frac{e_{\text{КЛ}} - e_E}{e_E} * 100\%, \quad (12.1.4)$$

Вхідним величинам рівняння (12.1.3) відповідають наступні стандартні невизначеності:

- стандартна невизначеність  $u_A(\delta_{\text{КЛ}})$ , пов'язана зі спостережуваною мінливістю показів калібруємого лічильника, що оцінюється за типом А при виконанні багатократних вимірювань;
- стандартна невизначеність відліку калібруємого лічильника  $u_B(\delta_{\text{окл}})$ ;
- стандартна інструментальна невизначеність еталонної установки  $u_B(\delta_E)$ ;
- стандартна невизначеність поправки  $\Delta_E$   $u_B(\Delta_E)$ . При проведенні калібрування у приміщенні лабораторії підтримуються умови навколишнього середовища зазначені у розділі 8; використовується стандартизований метод калібрування; використовуються вимірювальні кабелі із комплекту еталонів, вплив яких враховується в специфікації на еталон, так як дані кабелі калібруються разом з еталоном, тому дана складова невизначеності дорівнює нулю.

#### **12.1.2 Оцінювання середнього значення калібрувальної величини вимірної лічильником електроенергії.**

На підставі отриманих даних при вимірюванні, для кожної калібрувальної точки обчислюється середнє значення відхилення:

$$\underline{\delta}_{\text{КЛ}} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \delta_{\text{КЛ}i}, \quad (12.1.5)$$

$\underline{\delta}_{\text{КЛ}}$  – середнє значення відхилення при вимірюванні лічильниками електроенергії;

$n$  – кількість результатів спостережень;

$\delta_{\text{КЛ}i}$  – значення відхилення, при вимірюванні  $i$ -го калібруємого лічильника.

#### **12.1.3 Оцінювання стандартної невизначеності, обумовленої розкидом показів вимірювання значення калібрувальної величини.**

Математична модель стандартної невизначеності від розкиду показів обчислюється за виразом:

$$u_A(\delta_{\text{КЛ}}) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=0}^n (\delta_{\text{КЛ}i} - \underline{\delta}_{\text{КЛ}})^2}, \quad (12.1.6)$$

де  $u_A(\delta_{\text{КЛ}})$  – стандартна невизначеність типу А від розкиду показів калібруємого лічильника;

$n$  – кількість результатів спостережень;

$\delta_{\text{КЛ}i}$  – значення відхилення, при вимірюванні  $i$ -го калібруємого лічильника;

$\underline{\delta}_{\text{КЛ}}$  – середнє значення відхилення при вимірюванні лічильниками електроенергії.

**12.1.4 Оцінювання стандартної невизначеності, обумовленої впливом еталону на вимірювану величину.**

Стандартна невизначеність, обумовлена впливом еталону на результат вимірювання електричної енергії оцінюється на підставі даних про розширені невизначеності  $U(\delta_E)$  і коефіцієнта охоплення  $k$  наведених у сертифікаті калібрування еталону:

$$u_B(\delta_E) = \frac{U(\delta_E)}{k}, \quad (12.1.7)$$

**12.1.5 Оцінювання стандартної невизначеності, обумовленої округленням розрахунків відхилення.**

У припущенні про рівномірний закон розподілу:

$$u_B(\delta_{\text{окЛ}}) = \frac{q}{2\sqrt{3}}, \quad (12.1.8)$$

де  $q$  – одиниця молодшого розряду при розрахунках.

**12.1.6 Оцінювання сумарної стандартної невизначеності вимірювання калібрувальної величини.**

Враховуючи вплив всіх складових, наведених у відповідності з математичною моделлю (12.1) для виконаних у даному випадку вимірювань, сумарна стандартна невизначеність оцінюється за виразом:

$$u_c(E_x)\% = \sqrt{c_1^2 * u_A^2(\delta_{\text{КЛ}})\% + c_2^2 * u_c^2(\delta_E)\% + c_3^2 * u_B^2(\delta_{\text{окЛ}})\%}, \quad (12.1.9)$$

де  $c_1, c_2, c_3 = 1$  – коефіцієнти впливу;

$c_1 * u_A(\delta_{\text{КЛ}})\%$  - внесок невизначеності вхідної величини  $u_A(E_{\text{КЛ}})\%$  у сумарну стандартну невизначеність;

$c_2 * u_B(\delta_E)\%$  - внесок невизначеності вхідної величини  $u_B(E_E)\%$  у сумарну стандартну невизначеність;

$c_3 * u_B(\delta_{\text{окЛ}})\%$  - внесок невизначеності вхідної величини  $u_B(E_{\text{кКЛ}})\%$ , у сумарну стандартну невизначеність;

**12.1.7 Оцінювання розширеної невизначеності вимірювання калібрувальної величини.**

$$U(E_x)\% = k * u_c(\delta_x), \quad (12.1.10)$$

де  $k$  – коефіцієнт охоплення, який для ймовірності покриття 95% приймається рівним 2.

Складові коефіцієнти впливу і невизначеності, що входять у вираз оцінки сумарної стандартної невизначеності (12.1.10), та спосіб їх вираження наведено у таблиці 8.

Таблиця 8

Позначення	Опис	Спосіб визначення
$c_1, c_2, c_3$	коефіцієнт впливу, оскільки вимірювання ... , то дорівнюють 1	1
$u_A(\delta_{\text{КЛ}})\%$	Відносна стандартна невизначеність типу А, обумовлена розкидом показів вимірювання електричної енергії	Згідно виразу 12.1.6
$u_c(\delta_E)\%$	Відносна сумарна невизначеність, обумовлена впливом еталону на результат вимірювання електричної енергії	На підставі даних з сертифіката калібрування, згідно з виразом 12.1.7
$u_B(\delta_{\text{окл}})\%$	Відносна стандартна невизначеність типу В, обумовлена роздільною здатністю калібруемого лічильника	Згідно виразу 12.1.8

### 12.1.8 Складання бюджету невизначеності.

Результат вимірювання і всі складові невизначеності вимірювання заносяться до бюджету невизначеності, наведеного у таблиці 9.

Таблиця 9

Вхідні величини	Оцінка вхідної величини	Стандартна невизначеність вхідної величини	Розподіл	Коефіцієнт впливу	Внесок у невизначеність
$\delta_{\text{КЛ}i}, \underline{\delta}_c$	Значення 12.1.5	Значення 12.1.6	Нормальний	1	$u_A(\delta_{\text{КЛ}})\%$
$\Delta_k$	0	Значення 12.1.8	Рівномірний	1	$u_B(\delta_{\text{окл}})\%$
I, U, $\varphi$	$\delta_E$	Значення 12.1.7	Нормальний	-1	$u_c(\delta_E)\%$
Вихідна величина	Оцінка вихідної величини	Сумарна стандартна невизначеність	Ефективна кількість ступенів свободи	Коефіцієнт охоплення	Розширена невизначеність
$e_x$	Значення 12.1.4	Значення 12.1.9	$\nu_{\text{eff}} =$	<b>k = 2</b>	Значення 12.1.10

### 12.1.9 Подання результату калібрування.

Повний результат вимірювання записується наступним чином: відхилення показів калібруемого лічильника, склали *Значення 12.1.5*  $\pm$  *Значення 12.1.10*.

Зазначена розширена невизначеність отримана множенням стандартної невизначеності вимірювань на коефіцієнт охоплення  $k = 2$ . Вона відповідає для нормального розподілу відхиленню від середнього з імовірністю охоплення приблизно 95%. [ 4 ].

#### **4. РОЗРОБКА ТА ВЕРИФІКАЦІЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ НЕВИЗНАЧЕНОСТЕЙ**

Оскільки на підприємстві лічильники виготовляються масово то проводити розрахунки невизначеностей кожного окремого лічильника в ручному режимі є недоцільно та неможливо в умовах виробництва, тому було вирішено розробити програму розрахунку невизначеностей, та автоматичного складання бюджету невизначеностей. Програма розроблена в ПЗ excel пакету office з використанням VBA, та складається з двох основних частин: лист для вводу даних отриманих в результаті вимірювань та розрахунку стандартних невизначеностей і лист для складання бюджету невизначеності на кожну точку калібрування кожного лічильника.

ДАНІ ПРО ВЕРИФІКАЦІЮ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ «НАЗВА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ»

Загальні відомості: *програма призначена для оцінювання невизначеності вимірювання відхилення показів електролічильника. Вхідні дані вводяться у комірки:*

- *На листі «Розрахунки» в комірках B4–B43 вказуються серійні номери калібруємих лічильників*
- *На листі «Розрахунки» в комірках C4-AA43 вказуються результати вимірювань в різних точках*
- *На листі «Розрахунки» в комірках A47-B49 вказуються коефіцієнт охоплення еталона*
- *На листі «Розрахунки» в комірках C49-AA49 вказуються розширена невизначеність, обумовлена впливом еталона, з свідоцтва про калібрування еталону*
- *На листі «Розрахунки» в комірці AB3 задається вид виміряної електроенергії*
- *На листі «Бюджет невизначеності» в комірці J1 з випадючого списку вибираємо серійний номер калібруємого лічильника для якого хочемо розрахувати бюджет невизначеності*

№	Перевіряємий фактор або критерій					Результат перевірки	
	Назва	Комірка	Результат	Очікуваний результат		Значення	Збіжність, %
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Стандартна невизначеність від розкиду показів	Розрахунки!C45:AA45	0,0162925	$u_A(\delta_{\text{кл}}) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=0}^n (\delta_{\text{кл}i} - \bar{\delta}_{\text{кл}})^2}$	=СТАНДОТ КЛОН.Г(C4:C43)* КОРЕНЬ(1/(СЧЁТ(C4:C43)-1))	0,0162925	Додаток В:100
2	Стандартна невизначеність, обумовлена впливом еталона	Розрахунки!C47:AA47	0,027	$u_B(\delta_E) = \frac{U(\delta_E)}{k}$	=C49/\$A\$47	0,027	Додаток В:100
3	Стандартна невизначеність обумовлена округленням	Розрахунки!A45:B45	0,00288675135	$u_B(\delta_{\text{окл}}) = \frac{q}{2\sqrt{3}}$	=A47/(2*КОРЕНЬ(3))	0,00288675135	Додаток В:100

	розрахунків відхилення						
4	Сумарна стандартна невизначеність калібрувальної величини	Розрахунки!C51:AA 51	0,031666...	$u_c(E_x)\%$ $= \sqrt{c_1^2 * u_A^2(\delta_{\text{КЛ}})\% + c_2^2 * u_c^2(\delta_E)\% + c_3^2 * u_B^2(\delta_{\text{окл}})\%}$	=КОРЕНЬ(C45^2+C47^2+\$A\$45^2)	0,031666...	Додаток В:100
5	Розширена невизначеність калібрувальної величини	Розрахунки!C53:AA 53	0,06333...	$U(E_x)\% = k * u_c(\delta_x)$	=C51*\$A\$51	0,06333...	Додаток В:100
6	Ефективна кількість ступенів свободи	Бюджет невизначеності!I9:J9	128	$v_{eff} = \frac{u_c(E_x)\%^4}{\frac{u_A(\delta_{\text{КЛ}})^4}{n-1}}$	=G9^4/(G5^4/(\$E\$1-1))	128	Додаток В:100



Заводський номер лічильника	Відносна похибка основного каналу (I), %											
	0.05I <sub>n</sub>	0.1I <sub>n</sub>		0.2I <sub>n</sub>		I <sub>n</sub>			I <sub>max</sub>			
	cosφ=1	cosφ=1	cosφ=0.5L	cosφ=0.8C	cosφ=1	cosφ=0.5L	cosφ=1	cosφ=0.5L	cosφ=0.8C	cosφ=1	cosφ=0.5L	
5438842	0,12	0,08	0,26	0,04	0,23	0,04	0,06	0,03	0,08	0,11	-0,11	0,03
5438929	-0,03	-0,05	0,41	-0,25	0,37	-0,22	-0,01	0,18	-0,10	-0,03	0,03	0,03

Заводський номер лічильника	Відносна похибка допоміжного каналу (II), %												
	0.05I <sub>n</sub>	0.1I <sub>n</sub>		0.2I <sub>n</sub>		I <sub>n</sub>			I <sub>max</sub>		I <sub>1</sub>		
	cosφ=1	cosφ=1	cosφ=0.5L	cosφ=0.8C	cosφ=1	cosφ=0.5L	cosφ=1	cosφ=0.5L	cosφ=0.8C	cosφ=1	cosφ=0.5L	cosφ=0.8C	
5438842	0,15	0,14	0,16	0,14	0,16	0,14	0,13	0,00	0,18	0,21	-0,11	0,29	0,03
5438929	0,06	0,05	0,24	-0,03	0,21	-0,02	0,04	0,08	0,01	0,08	-0,03	0,08	0,03

Рисунок 1 – форма введення даних для розрахунку невизначеності за відхиленням показів

№	cosφ=1					
	Вхідні величини	Оцінка вхідної величини	Стандартна невизначеність вхідної величини	Розподіл	Коефіцієнт впливу	Внесок у невизначеність
2	δклі	0,08	0,02	Нормальний	1	0,02
	Δк	0	0,002886751	Рівномірний	1	0,002886751
	I, U, φ	2   0,05	0,025	Нормальний	1	0,025
	Вихідна величина	Оцінка вихідної величини	Сумарна стандартна невизначеність	Ефективна кількість ступенів свободи	Коефіцієнт охоплення	Розширена невизначеність
	e <sub>x</sub>	0,08	0,03	125	2	0,06
№	cosφ=0.5L					
	Вхідні величини	Оцінка вхідної величини	Стандартна невизначеність вхідної величини	Розподіл	Коефіцієнт впливу	Внесок у невизначеність
3	δклі	0,26	0,05	Нормальний	1	0,05
	Δк	0	0,002886751	Рівномірний	1	0,002886751
	I, U, φ	2   0,05	0,025	Нормальний	1	0,025
	Вихідна величина	Оцінка вихідної величини	Сумарна стандартна невизначеність	Ефективна кількість ступенів свободи	Коефіцієнт охоплення	Розширена невизначеність
	e <sub>x</sub>	0,26	0,06	14	2	0,12
№	cosφ=0.8C					
	Вхідні величини	Оцінка вхідної величини	Стандартна невизначеність вхідної величини	Розподіл	Коефіцієнт впливу	Внесок у невизначеність
4	δклі	0,04	0,04	Нормальний	1	0,04
	Δк	0	0,002886751	Рівномірний	1	0,002886751
	I, U, φ	2   0,05	0,025	Нормальний	1	0,025
	Вихідна величина	Оцінка вихідної величини	Сумарна стандартна невизначеність	Ефективна кількість ступенів свободи	Коефіцієнт охоплення	Розширена невизначеність
	e <sub>x</sub>	0,04	0,05	19	2	0,09

Рисунок 2 – Результати розрахунків, бюджет невизначеності за відхиленням показів.

## 5. РОЗРОБКА ВІРТУАЛЬНОГО СТЕНДУ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

### 5.1 Демонстрація віртуального стенду

Для наглядної демонстрації операції калібрування було розроблено віртуальний стенд в програмному середовищі LabView

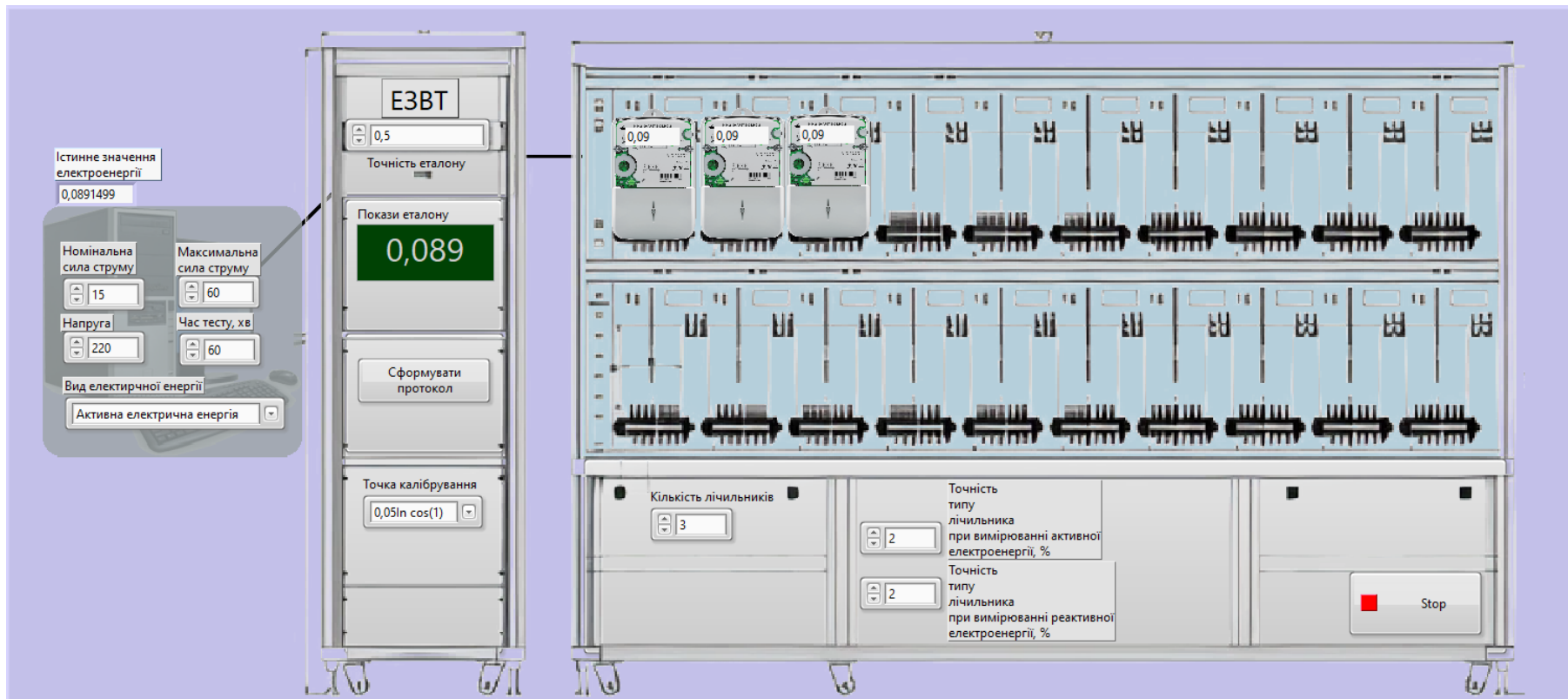


Рис 5.1 Лицьова панель віртуальної установки

На віртуальній установці можна побачити такі елементи як «Істинне значення», «Точність типу лічильника», «Точність еталону», «Точка калібрування», «Кількість лічильників», «Час тесту» та «Stop». Ці всі параметри та елементи потрібні лише для демонстрації, адже в реальному тесті ці параметри заздалегідь відомі і автоматично оброблюються установкою.

Для початку потрібно задати точність типу лічильника та точність еталону за допомогою відповідних елементів типу Numeric control «Точність еталону», «Точність типу лічильника активної електроенергії, %» та «Точність типу лічильника реактивної електроенергії, %». Це потрібно для віртуалізації випадкової похибки за нормальних умов та нормальним законом розподілу.

Наступний етап - завішення лічильників за допомогою елемента типу Numeric control «Кількість лічильників» шляхом збільшення значення елемента, що призведе до з'явлення нових лічильників на екрані, рис 5.2. Максимальна кількість лічильників що можна завісити в віртуальному тесті сягає двадцяти, в реальності це значення залежить від калібрувальної установки та може сягати сорока лічильників за один тест.

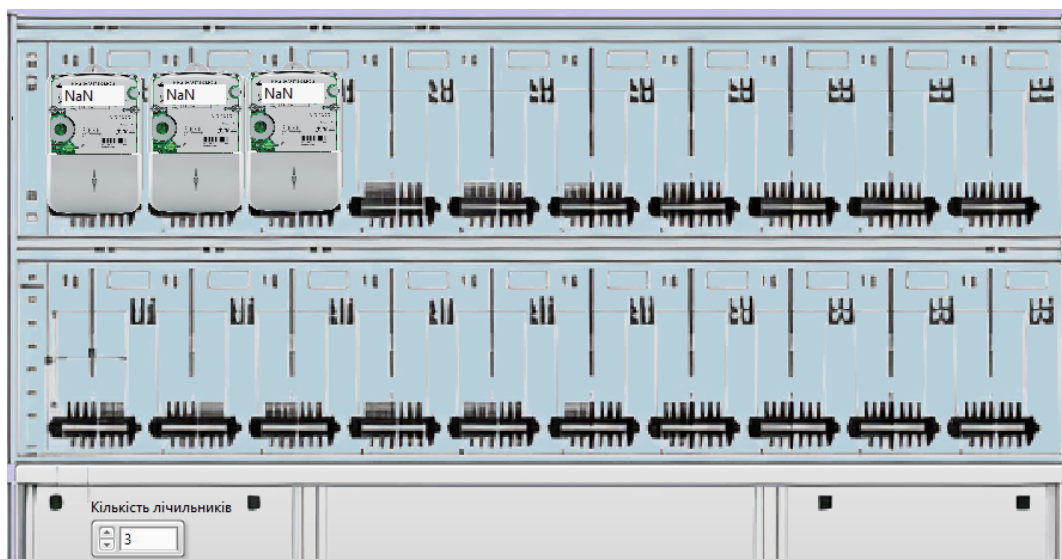


Рис 5.2 завішення лічильників

Після того як ми завісили лічильники треба задати параметри струму на комп'ютері, для цього на блоці з комп'ютером виставляємо силу номінальну струму, максимальну силу струму, напругу, час тесту, та вид електричної енергії на відповідних елементах типу Numeric control «Номінальна сила струму», «Максимальна сила струму», «Напруга», «Час тесту, хв» та типу Combo Box «Вид електричної енергії» рис. 5.3

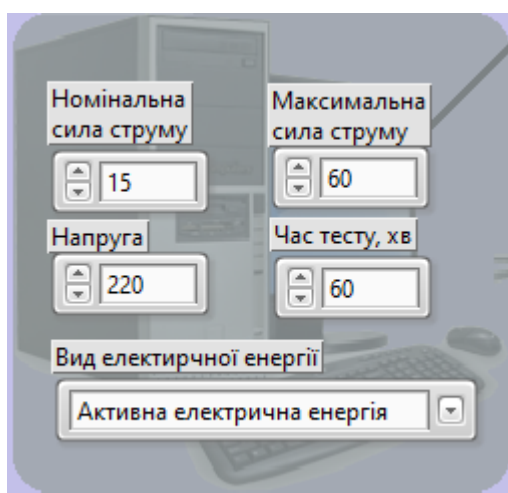


Рис. 5.3 – параметри, що задаються на ПК

І останній етап реального тесту це формування протоколу вимірювань, він формується автоматично, для його формування на віртуальній установці я встановив елемент типу Blank Button «Сформувати протокол» рис. 5.4, віртуальна установка автоматично проводить тест в двадцяти чотирьох або двадцяти двох точках, в залежності від типу вимірювальної електричної енергії. Точки беруться відповідно до ДСТУ EN 62053-11:2018 та ДСТУ EN 62053-23:2018. В протокол заносяться відносні відхилення показів кожного лічильника та показів еталону на кожній точці тесту за формулою:

$$\delta = \frac{W_{л} - W_{е}}{W_{е}} * 100\%, \quad (5.1)$$

Де  $W_{л}$  – це покази лічильника,

$W_{е}$  – покази еталону.

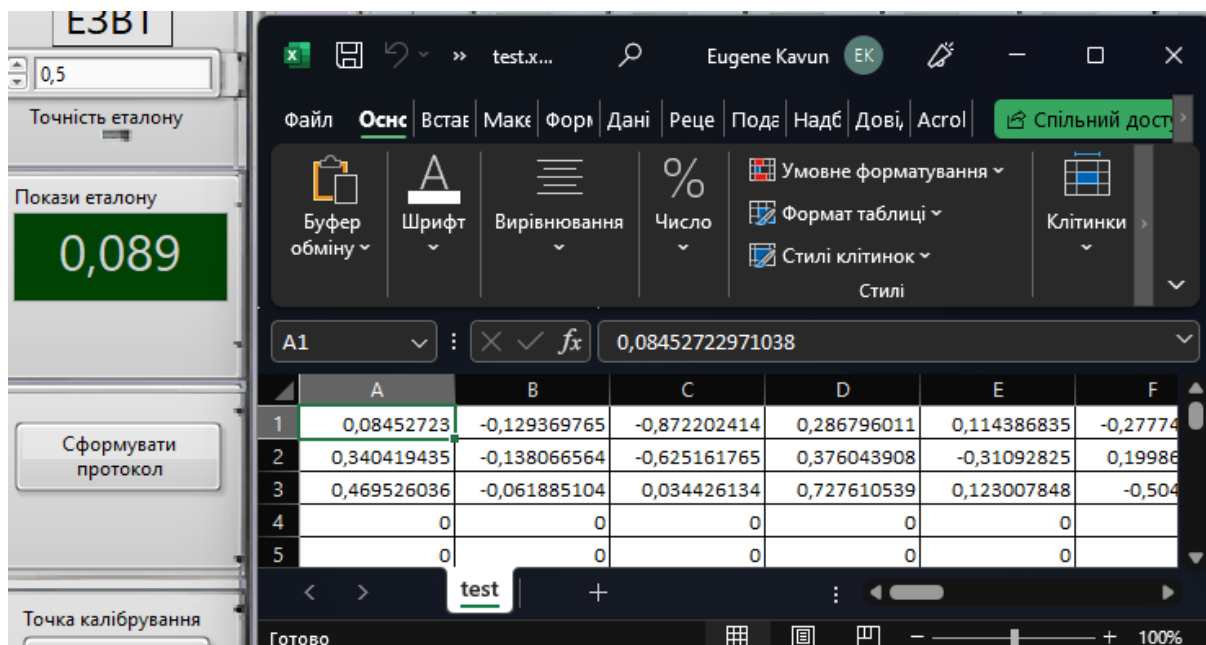


Рис 5.4 – сформований протокол вимірювань

Для більшої наочності я розробив можливість продивлятися покази лічильників та покази еталону на кожній окремій точці тесту, за допомогою елемента типу Combo Box «Точка калібрування», і як ми бачимо на рис 5.5, лічильники та еталон видають покази відповідно заданих значень точки калібрування та інших заданих параметрів.

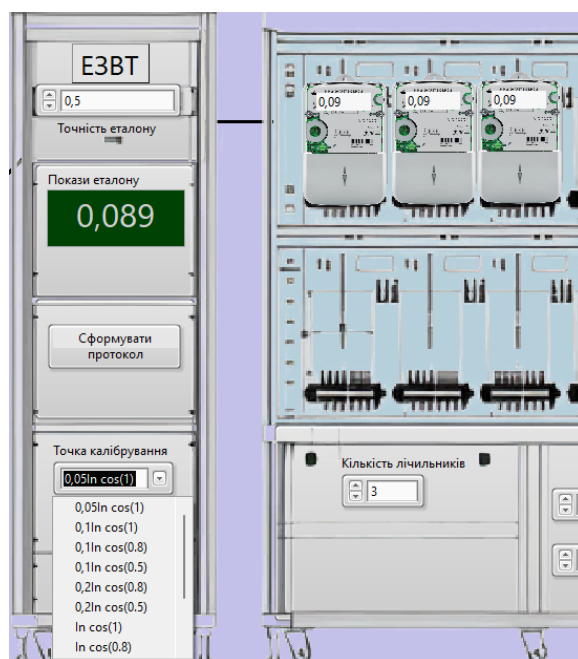


Рис. 5.5 – покази лічильників в точці  $0,05 * I_n * \cos(1)$

## 5.2 Програмна частина віртуального стенду

Всі елементи управління винесені за основний цикл, та отримують значення через локальні змінні, рис. 5.6



Рис. 5.6 – всі елементи віртуального стенду

Основний цикл візуально можна поділити на дві частини:

1. Обчислювальний цикл, рис 5.7
2. Умови відображення лічильників та умови формування протоколу, рис 5.8

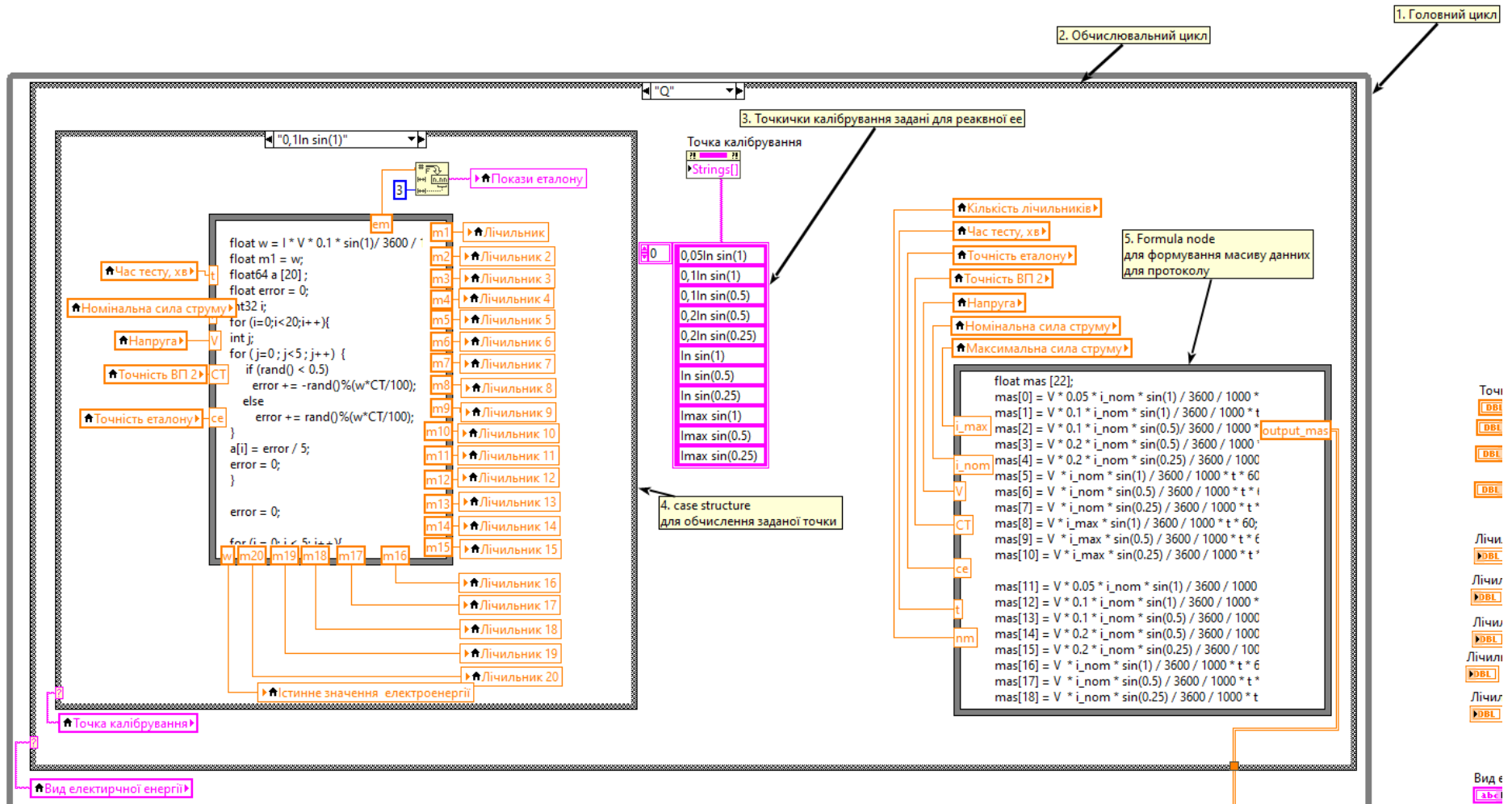


Рис. 5.7 – Обчислювальний цикл



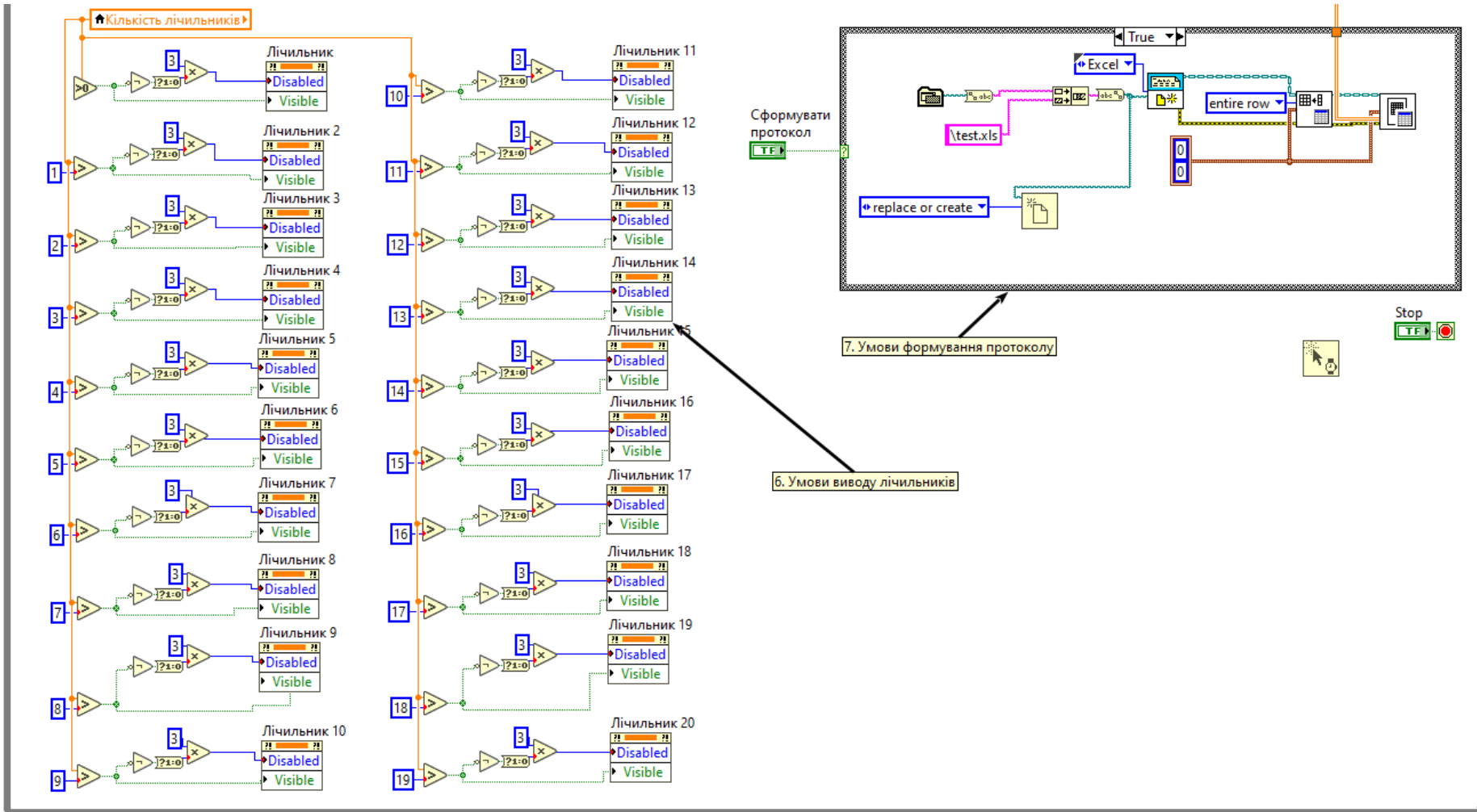


Рис 5.8 – Умови відображення лічильників та умови формування протоколу

Значення обчислювального циклу задається елементом типу Combo Box «вид електричної енергії», значення що приймає case structure: “Q”, “P”, де Q – це реактивна електроенергія, а P – активна.

Для задання точок калібрування в залежності від типу електричної енергії використовується масив текстових значень рис 5.7 (коментар 3), що задають об’єкту типу Combo Box «Точка калібрування» перелік можливих варіантів до вибору точок калібрування.

На кожну точку калібрування в case structure для обчислення заданої точки 5.7 (коментар 4) є елемент Formula node рис. 5.9, де виконуються розрахунки заданої точки в елементі «Точка калібрування», за заздаледь встановленими параметрами току.

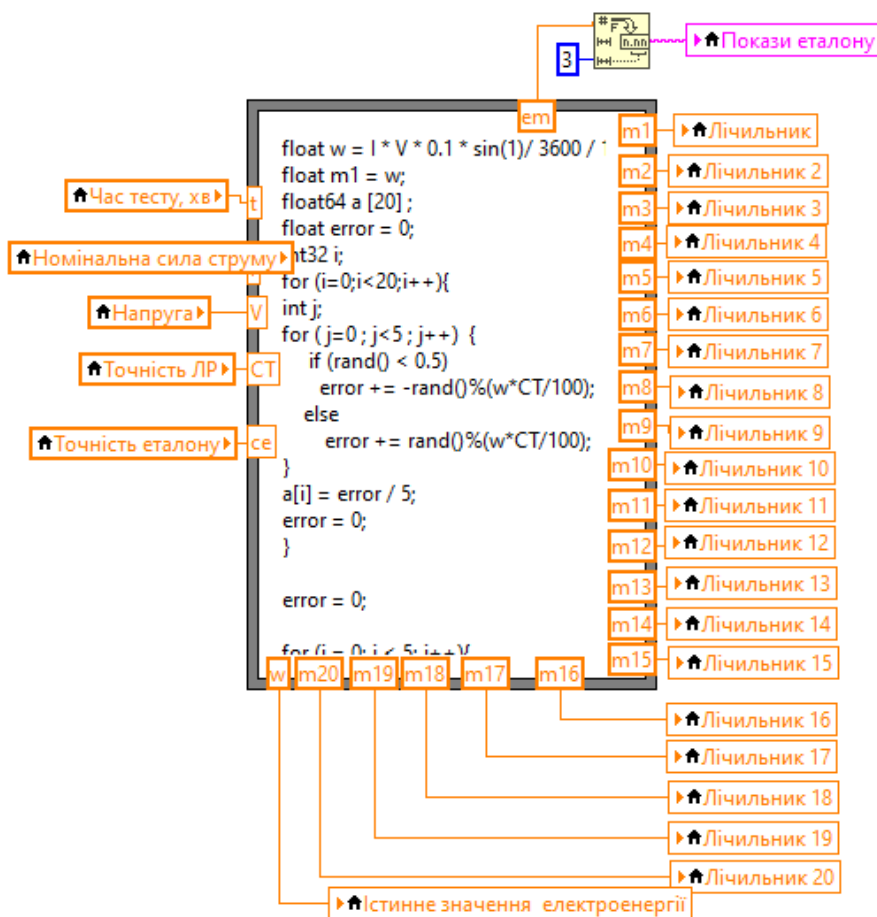


Рис. 5.9 – Formula node з кодом розрахунку для точки калібрування

$$0.1 * I_n * \sin(1)$$

Formula Node – це елемент котрий виконує код на мові програмування C, передання та вивід значень виконується за допомогою вхідних та вихідних строго числових змінних, кількість яких задається розробником.

В Formula Node для обчислення заданої точки калібрування на вхід подаються значення з елементів «Час тесту, хв», «Номінальна напруга струму»(або «Максимальна сила струму» , в залежності від точки), «Напруга», «Точність ЛР»(або «Точність ЛА», де ЛР та ЛА це – лічильник активної електроенергії та лічильник реактивної електроенергії) та «Точність еталону», що ініціалізують відповідні змінні “t”, “I”, “V”, “CT”, “ce”, а на виході формуються змінні “m1” – “m20”(що відповідають показам лічильників «Лічильник» - «Лічильник 20»), “w” (що відповідає показам істинного значення) та “em”(відповідає показам еталонного лічильника), рис 5.9 . В тілі елемента задається наступний код, рис 5.10

```

1 float w = I * V * sin(1)/ 3600 / 1000 * t * 60 ;
2 float m1 = w;
3 float64 a [20] ;
4 float error = 0;
5 int32 i;
6 for (i=0;i<20;i++){
7 int j;
8 for ( j=0 ; j<5 ; j++) {
9     if (rand() < 0.5)
10        error += -rand()%(w*CT/100);
11    else
12        error += rand()%(w*CT/100);
13 }
14 a[i] = error / 5;
15 error = 0;
16 }
17
18 error = 0;
19
20 for (i = 0; i < 5; i++){
21     if (rand() < 0.5)
22        error += -rand()%(w*ce/100);
23    else
24        error += rand()%(w*ce/100);
25 }
26 em = w + error/5;
27
28 if (w < abs(a[0])) m1 = 0;
29 else m1 = w + a[0];

```

Рис 5.10 – код для розрахунку електроенергії в заданій точці, частина 1

На першій строчці (рис. 5.10) програма розраховує істинне значення електроенергії  $W$  [кВт\*год] за формулою:

$$W = \frac{I A * U B * \sin(x) * t * c * 60c}{3600c * 10^3}, \quad (5.2)$$

Де  $I$  – встановлена сила струму;

$U$  – встановлена напруга;

$\sin(x)/\cos(x)$  – коефіцієнт потужності (в залежності від типу струму та точки калібрування);

$t * 60c$  – час тесту в хвилинах;

$3600 c$  – кількість секунд в часі;

$10^3$  – переведення Вт\*год в кВт\*год.

На строках 6 – 16, та 20-26 формулюються значення для показів кожного лічильника та еталону, з урахуванням їх класів точності. Відхили показів розраховуються за формулою:

$$\Delta = \sum_{i=0}^{n=5} rand_{кт} * rand(-1 or 1), \quad (5.3)$$

Де  $rand_{кт}$  – випадкова величина в діапазоні класу точності,

$rand(-1 or 1)$  – 1 або -1 визначене випадково.

```

27
28 if (w < abs(a[0])) m1 = 0;
29 else m1 = w + a[0];
30
31 if (w < abs(a[1])) m2 = 0;
32 else m2 = w + a[1];
33
34 if (w < abs(a[2])) m3 = 0;
35 else m3 = w + a[2];
36

```

Рис. 5.11 - код для розрахунку електроенергії в заданій точці, частина 2

На строках 28 – 88 присвоюються значення вихідним змінним для показів лічильників, рис 6.11, якщо значення показів менше за нуль, то прилад буде показувати нуль .

Для автоматичного розрахунку і створення протоколу вимірювань використовується Formula node, рис 5.7 (коментар 5), до якого на На вхід подаються значення з елементів «Кількість лічильників», «Час тесту, хв», «Номінальна напруга струму», «Максимальна сила струму», «Напруга», «Точність ЛР»(або «Точність ЛА») та «Точність еталону», що ініціалізують відповідні змінні “t”, “i\_nom”, “i\_max”, “V”, “CT”, “ce”, а на виході ініціалізується змінна “output\_mas”, передається до блоку умов формування протоколу, рис 5.8 (коментар 7).

Для формування даних протоколу в Formula node використовується код зазначений на рис 5.12. На строках 2 – 24 формуються істинні значення електричної енергії, розраховуючи кожен точку за формулою (5.2), вносячи значення в масив “mas”. На строках 31 – 47 розраховуються відносні значення відхилів показів завішених лічильників від еталонних показів, за формулою (5.1) за допомогою трьохповерхневого циклу, який спочатку формує відхил і-того приладу, потім формує покази і-того приладу і на останньому поверсі визначає відносний відхил показів, та заносить всі данні в вихідний масив даних “output\_mas”.

Подальше формування документу відбувається за допомогою використання конструкції Structure case зазначеної на рис 5.8 (коментар 7)

```

1 float mas [22];
2 mas[0] = V * 0.05 * i_nom * sin(1) / 3600 / 1000 * t * 60;
3 mas[1] = V * 0.1 * i_nom * sin(1) / 3600 / 1000 * t * 60;
4 mas[2] = V * 0.1 * i_nom * sin(0.5) / 3600 / 1000 * t * 60;
5 mas[3] = V * 0.2 * i_nom * sin(0.5) / 3600 / 1000 * t * 60;
6 mas[4] = V * 0.2 * i_nom * sin(0.25) / 3600 / 1000 * t * 60;
7 mas[5] = V * i_nom * sin(1) / 3600 / 1000 * t * 60;
8 mas[6] = V * i_nom * sin(0.5) / 3600 / 1000 * t * 60;
9 mas[7] = V * i_nom * sin(0.25) / 3600 / 1000 * t * 60;
10 mas[8] = V * i_max * sin(1) / 3600 / 1000 * t * 60;
11 mas[9] = V * i_max * sin(0.5) / 3600 / 1000 * t * 60;
12 mas[10] = V * i_max * sin(0.25) / 3600 / 1000 * t * 60;
13
14 mas[11] = V * 0.05 * i_nom * sin(1) / 3600 / 1000 * t * 60;
15 mas[12] = V * 0.1 * i_nom * sin(1) / 3600 / 1000 * t * 60;
16 mas[13] = V * 0.1 * i_nom * sin(0.5) / 3600 / 1000 * t * 60;
17 mas[14] = V * 0.2 * i_nom * sin(0.5) / 3600 / 1000 * t * 60;
18 mas[15] = V * 0.2 * i_nom * sin(0.25) / 3600 / 1000 * t * 60;
19 mas[16] = V * i_nom * sin(1) / 3600 / 1000 * t * 60;
20 mas[17] = V * i_nom * sin(0.5) / 3600 / 1000 * t * 60;
21 mas[18] = V * i_nom * sin(0.25) / 3600 / 1000 * t * 60;
22 mas[19] = V * i_max * sin(1) / 3600 / 1000 * t * 60;
23 mas[20] = V * i_max * sin(0.5) / 3600 / 1000 * t * 60;
24 mas[21] = V * i_max * sin(0.25) / 3600 / 1000 * t * 60;
25
26 int i,j,k;
27 float error = 0;
28 float et_error = 0;
29 float output_mas [20][22];
30
31 for (i=0;i<nm;i++){
32 for ( j=0 ; j<22 ; j++) {
33 for(k=0;k<5;k++){
34 if (rand() < 0.5){
35 error += -rand()%(mas[j]*CT/100);
36 et_error += -rand()%(mas[j]*ce/100);}
37 else{
38 error += rand()%(mas[j]*CT/100);
39 et_error += rand()%(mas[j]*ce/100);}
40 }
41 error = error / 5;
42 et_error =et_error / 5;
43 output_mas[i][j] = (error - et_error) / (mas[j] + et_error) * 100;
44 error = 0;
45 et_error =0;
46 }
47 }

```

Рис 5.12 код для формування даних для протоколу

Після формування протоколу, ці значення потрібно занести в ПЗ, розробленому в другому пункті цієї кваліфікаційної роботи.

Для відображення лічильників на стенді було використано конструкцію зазначену на рис 5.8 (коментар б), суть якої полягає зміненні змінної “Visible”, і-того лічильника, в разі якщо значення в елементі «Кількість лічильників» більше за черговість лічильника.

## 6. ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

### 6.1 Розрахунок капітальних інвестицій

У даній кваліфікаційній роботі описується розробка методу калібровки однофазних електролічильників.

Для здійснення запропонованої технічної розробки методу калібровки, в даному розділі виконано розрахунок капітальних та експлуатаційних витрат.

Капітальні інвестиції – це кошти, призначені для створення і придбання основних фондів і нематеріальних активів, що підлягають амортизації.

При визначені величини проектних капіталовкладень  $K_{пр}$  можна скористатися формулою:

$$K_{пр} = K_{об} + Z_{т} + Z_{м} + Z_{н} + Z_{пр},$$

де  $K_{об}$  – сумарна вартість придбання електрообладнання для реалізації прийнятого технічного рішення;

$Z_{т}$  – транспортні витрати;

$Z_{м}$  – витрати на монтажні роботи;

$Z_{н}$  – витрати на налагоджувальні роботи;

$Z_{пр}$  – інші одноразові вкладення грошових коштів.

Витрати на придбання технічних засобів та комплектуючих виробів зведені до табл. 3.1.

Таблиця 1.1 - Зведення капітальних витрат

№ з/п	Найменування комплектуючих виробів	Кількість	Ціна за одиницю, грн	Сума, грн	Обґрунтування

1	установка для повірки лічильників РТС-8125М	1	1295000	1295000	[8]
2	установка універсальна пробійна CS2672B	1	45 278,31	45 278,31	[9]
3	мегаомметр ЭС 0202/1Г	1	8085	8085	[10]
4	термогігрометр 608-Н1	1	2 799	2 799	[11]
5	барометр-анероїд БАММ-2	1	5 000	5 000	[12]
6	Міні ПК MSI Cubi N JSL-208EU Celeron N4500 4GB RAM 128GB SSD Windows 11 Professional	1	13 720	13 720	[13]
7	Крісло офісне	1	1 985	1 985	[14]
8	Офісний стіл	1	1340	1340	[15]
	ВСЬОГО			1 373 207.31	

Монтажні та налагоджувальні роботи відсутні.

Інші одноразові вкладення грошових коштів (Зпр) включають витрати:

- на демонтаж застарілого обладнання;
- на проведення проектно-конструкторських робіт;
- на підготовку персоналу;
- на придбання готового програмного забезпечення.



Застаріле обладнання для демонтажу не потребує додаткових грошових вкладень, та не може бути реалізоване після нього.

Вартість проектно-конструкторські роботи за фінансовою звітністю підприємства складає 0,00 грн.

Потреба у підготовці персоналу відсутня.

На підприємстві вже застосовується сумісне програмне забезпечення.

Таким чином інші одноразові вкладення грошових коштів складають 0 грн.

Вартість капітальних інвестицій було розраховано за формулою:

$K_{пр} = 1\,295\,000 + 45\,278.31 + 8\,085 + 2\,799 + 5\,000 + 13\,720 + 1\,985 + 1\,340 = 1\,373\,207.31$   
грн.

## 6.2 Розрахунок амортизаційних відрахувань

Амортизація – процес перенесення авансованої раніше вартості засобів праці на вартість продукції, що виробляється, з метою її повного відшкодування.

Установка для повірки лічильників РТС-8125М відноситься та установка універсальна пробійна CS2672В відносяться до 9-ї групи основних засобів та інших необоротних активів, а саме “інші основні засоби”, з мінімально допустимі строками їх амортизації 12 років. Мегаомметр ЭС 0202/1Г, термогігрометр 608-Н1, барометр-анероїд БАММ-2, крісло офісне, офісний стіл відносяться до 6-ї групи “інструменти, прилади, інвентар (меблі)” з мінімально допустимі строками їх амортизації 4 років. Міні ПК відноситься до групи 4 “машини та обладнання” з мінімально допустимі строками їх амортизації 2 роки.

Амортизаційні відрахування за установки доцільно розраховувати за формулою:

$$A_y = F / T_{\text{експ}} = (1\,295\,000 + 45\,278,31) / 12 = 111\,689,86 \text{ грн}$$

де  $F_y$  – балансова вартість установок;

$T_{\text{експ}}$  – нормативний строк служби установки, років.

Амортизаційні відрахування за прилади доцільно розраховувати за формулою:

$$A_n = F / T_{\text{експ}} = (8085 + 2799 + 5000 + 1985 + 1340) / 4 = 4802,25 \text{ грн}$$

де  $F_n$  – балансова вартість приладів та меблів;

$T_{\text{експ}}$  – нормативний строк служби установки, років.

Амортизаційні відрахування за ПК доцільно розраховувати за формулою:

$$A_m = F / T_{\text{експ}} = 13720 / 2 = 6860 \text{ грн}$$

де  $F_m$  – балансова вартість ПК;

$T_{\text{експ}}$  – нормативний строк служби установки, років.

Розрахуємо сумарну річну амортизацію  $A$ :

$$A = A_y + A_n + A_m = 111\,689,86 + 4802,25 + 6860 = 123\,352,11 \text{ грн}$$

### 6.3 Розрахунок річного фонду заробітної плати

$$T_{\text{ном.рік}} = (T_k - T_{\text{вих.св}} - T_{\text{відп}}) T_{\text{зм}}$$

де,  $T_k$  – календарний фонд робочого часу, дні ( $T_k = 365$ );

$T_{\text{вих.св}}$  – вихідні дні та свята, дні ( $T_{\text{вих.св}} = 118$ );

$T_{\text{відп}}$  – відпустка, дні ( $T_{\text{відп}} = 21$ );

$T_{\text{зм}}$  – тривалість зміни, год ( $T_{\text{зм}} = 8$ ).

Таким чином, річний фонд робочого часу працівника складе:

$$T_{\text{ном.рік}} = (365 - 118 - 21) 8 = 1808 \text{ годин}$$

Відповідно до даних онлайн ресурсу work.ua [16] середня заробітна плата інженера метролога складає 23 000 грн на місяць з робочим графіком 5/2, в середньому в місяці 22 робочих дня, розрахуємо погодинну ставку  $Z_{\text{п/год}}$ :

$$Z_{\text{п/год}} = 23\,000 \text{ грн} / (22 \text{ дні} * 8 \text{ год}) = 130 \text{ грн/год}$$

Розрахунок річного фонду заробітної плати працівників здійснюється у відповідності з формою, наведеною в таблиці 2.2.

Таблиця 2.1 - Розрахунок заробітної плати персоналу

Найменування професії робітників	Явочний штат у зміну, осіб	Годинна тарифна ставка, грн	Номінальний річний фонд робочого часу	Основна заробітна плата, грн	Додаткова заробітна плата, грн	Річний фонд заробітної плати, грн
Інженер метролог	1	130	1808	235 040	23504	258544

Додаткова заробітна плата обслуговуючого персоналу визначається в розмірі 10% від основної заробітної плати.

Таким чином, загальна величина річного фонду заробітної плати розраховується за формулою

$$C_3 = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{дод}} = 235\,040 + 23\,504 = 258\,544 \text{ грн}$$

де  $Z_{\text{осн}}$  – основна заробітна плата

Здод – додаткова заробітна плата

#### **6.4 Єдиний соціальний внесок**

Єдиний соціальний внесок визначається на підставі встановленого чинним законодавством відсотка від суми основної та додаткової заробітної плати, його ставка складає 22% [17]:

$$\text{ЄСВ} = \text{Сз} * 0,22 = 258\,544 * 0,22 = 56\,879,68 \text{ грн}$$

Річні витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт електротехнічного устаткування й мереж включають витрати на матеріали, запасні частини, заробітну плату ремонтником. Витрати, пов'язані з ремонтом та технічним обслуговуванням обладнання, становлять 4 % від вартості капітальних вкладень, тобто:

$$\text{Ср.т.о.} = 1\,373\,207.31 * 0,04 = 54\,928,29 \text{ грн.}$$

#### **6.5 Розрахунок вартості спожитої електроенергії**

Розрахуємо вартість електроенергії, споживаної устаткуванням:

$$\text{Сe} = \text{Кe} * \text{Кд} * \text{T},$$

де Ке – кількість електроенергії, що споживається за годину, кВт/год;  
Кдр – кількість робочих днів у році, в середньому 264 днів;  
Т – тариф на електроенергію для підприємств (для користувачів електроенергії 2 класу тариф складає 1 3280.3 грн за МВт/год без ПДВ. З урахуванням ПДВ тариф складає 1 5936.4 грн за МВт/год [11]).

Один лічильник за витрачає 25 Вт\*год, за один тест завішують 40 лічильників і еталон, всього за день на одній установці роблять 15 тестів, це 615 лічильників за день, з цього виходить, що за день

витрачається  $615 \cdot 25 = 15\,375$  Вт\*год = 15.375 кВт\*год. Настільний ПК витрачає приблизно 240 Вт\*год, отже за день  $240 \cdot 8 = 1920$  Вт\*год = 1.920 кВт\*год. В сумі за один робочий день використовується  $15.375 + 1.920 = 17.295$  кВт\*год = 0.017295 МВт\*год.

Витрати на електроенергію будуть становити:

$$C_e = 0,01795 \cdot 13280,3 \cdot 264 = 62932,69 \text{ грн,}$$

Інші витрати з експлуатації системи містять витрати з охорони праці, на спецодяг та інше.

$$C_{інш} = 0.$$

$$C_e = 25\,303,20 + 113\,361,60 + 24\,939,55 + 2\,530,33 + 3\,448,00 + = 193\,114,7 \text{ грн.}$$

## 6.6 Розрахунок експлуатаційних витрат

До основних статей експлуатаційних витрат по електротехнічному устаткуванню відносяться:

- амортизаційні відрахування ( $C_a$ );
- заробітна плата обслуговуючого персоналу ( $C_z$ );
- єдиний соціальний внесок ( $C_c$ );
- вартість електроенергії, що буде спожита об'єктом проектування або витрат електроенергії ( $C_e$ );
- інші витрати ( $C_{ін}$ ).

Таким чином, річні експлуатаційні витрати по об'єкту проектування розраховують за формулою

$$C = C_a + C_z + C_c + C_e + C_{ін},$$

Річні експлуатаційні витрати по об'єкту проектування:

$$C = 123352,11 + 258544 + 54928,29 + 62932,69 + 0 = 499757,09 \text{ грн}$$

Таблиця 5.1 – Експлуатаційні витрати

Найменування показника	Сума, грн
Сума нарахованої амортизації	123 352,11
Фонд заробітньої плати	258 544
Відрахування на соціальне страхування	54928,29
Електроенергія	62932,69
Інші витрати	0
Разом	499757,09

### 6.7 Економічна ефективність

Згідно з затвердженою методикою, для оцінки економічної ефективності розраховується за формулою:

$$Z = C + E_n \cdot x \cdot K,$$

де  $C$  – собівартість річного випуску продукції, грн;

$E_n$  – нормативний коефіцієнт економічної ефективності (приймається в розрахунках рівним 0,15);

$K$  – капітальні вкладення, грн..

За один день на одній установці випускається 600 лічильників, робочих днів в рік приблизно 264, отже  $600 \cdot 264 = 158\,400$  лічильників в рік, собівартість одного лічильника приблизно 500 грн, вартість однофазного лічильника з електронним відліковим пристроєм сягає приблизно 1500 грн, за рік собівартість продукції  $500 \cdot 158\,400 = 79\,200\,000$  грн

$$Z = 79\,200\,000 + 0,15 \cdot 1\,373\,207,31 = 79\,405\,981,1 \text{ грн}$$

### **6.8 Висновок до розділу**

У економічному розділі кваліфікаційної роботи розраховано капітальні інвестиції, експлуатаційні витрати, номінальний річний фонд робочого часу на одного працівника та експлуатаційні витрати.

## **7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **7.1 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих чинників проєктованого технологічного процесу, об'єкту, системи або пристрою.**

Темою цієї кваліфікаційної роботи є розробка та введення МКЛ на лічильники електроенергії, отже основними факторами безпеки при роботі з електроустановками це ураження електричним струмом, та займання устаткування, тому в цьому розділі будуть розглянуті питання електробезпеки та пожежної профілактики.

Сьогодні, незважаючи на наявність засобів безпеки на ринку, лише в Україні щорічно внаслідок електричного струму гине близько 1500 осіб. Найбільше випадків електротравматизму відбувається при експлуатації електроустановок напругою до 1000 В, через їх поширення та доступність для багатьох на виробництві, а кілька тисяч стають інвалідами чи травмуються. Виконання обслуговування електричної мережі – це відважна робота, що вимагає високого рівня навичок та уваги. Тому цим займаються висококваліфіковані лінійні монтажники. Для захисту громадськості та працівників від небезпек електрики було розроблено кілька правил і стандартів, що вирішують усі відомі проблеми з електричною безпекою. закон "Про затвердження правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів". Мета цього законодавства – забезпечити, наскільки це можливо, кожному працівнику безпечні умови праці.

З кожним роком зростає виробництво та використання електроенергії, а з цим і кількість людей, що користуються електро- пристроями та установками. Тому питання електробезпеки є надзвичайно важливими.

Аналіз виробничих травм показує, що електричні травми становлять лише близько 1% від загальної кількості травм. Але серед загальної кількості смертельних нещасних випадків, електротравми становлять 20-40% і посідають одне з перших місць. Випадки електротравматизму при експлуатації електроустановок напругою понад 1000 В менш поширені, бо такі установки рідше зустрічаються і обслуговуються висококваліфікованим персоналом.[19]

#### **7.1.1 Основні причини електротравм на виробництві**

Випадкове доторкання до неізольованих струмопровідних частин електроустаткування;

використання несправних ручних електроінструментів;

застосування нестандартних або несправних переносних світильників напругою 220 чи 127 В;



робота без надійних захисних засобів та запобіжних пристосувань;  
доторкання до незаземлених корпусів електроустановок через пошкоджену ізоляцію;

порушення правил будови, улаштування та безпечної експлуатації електроустановок і захисних засобів.

Електрообладнання, яким користуються майже всі працівники, представляє значну небезпеку, оскільки органи людини не відчують електричну напругу на відстані. Організм реагує лише після контакту з електричним струмом.

Проходячи через організм людини, електричний струм викликає термічні, електролітичні, механічні та біологічні ефекти.

Електричне обладнання, з яким доводиться мати справу майже всім працівникам на виробництві, становить серйозну потенційну загрозу, оскільки органи відчуттів людини не можуть виявити наявності електричної напруги на відстані. У зв'язку з цим захисна реакція організму проявляється лише після того, як людина зазнала впливу електричної напруги.

Проходячи через організм людини, електричний струм справляє термічний, електролітичний, механічний та біологічний вплив.

Термічний вплив струму призводить до опіків окремих частин тіла, нагрівання серця, кровоносних судин, мозку та інших органів, через які пролягає струм, що призводить до порушень їх функціонування.

Електролітична дія струму характеризується розкладом (електролізом) крові та інших органічних рідин, що призводить до суттєвих порушень їх фізикохімічного складу.

Механічний вплив струму може призвести до ушкодження (розривів, розшарувань тощо) різних тканин організму через електродинамічний ефект.

Біологічний вплив струму на живі тканини призводить до небезпечного збудження клітин та тканин організму, супроводжуючись непровольним судомним скороченням м'язів. Це збудження може спричинити серйозні порушення й навіть повне припинення роботи органів дихання та кровообігу. Збудження тканин організму через дію електричного струму може бути прямим, коли струм проходить безпосередньо через ці тканини, або рефлекторним (через центральну нервову систему), коли тканини не перебувають на шляху проходження струму.[19]

### **7.1.2 Види електричних травм. Причини летальних наслідків від дії електричного струму**

Електротравми виникають в результаті впливу електричного струму чи електричної дуги. Їх наслідки поділяють на два види: місцеві, коли ураження стосується конкретного місця організму, та загальні (електричні удари), коли ураження поширюється на всі тіло через порушення роботи життєво важливих органів і систем. Статистика електротравм розподіляється так: місцеві травми — 20%; електричні удари — 25%; комбіновані травми (поєднання місцевих та електричних ударів) — 55%.

Типові місцеві травми включають електричні опіки, електричні знаки, металізацію шкіри, механічні ушкодження та електрофтальмію.

Електричні опіки, що трапляються переважно у робітників, які працюють з електроустановками, становлять близько 60% від усіх місцевих травм. Вони поділяються на струмові (контактні), коли струм перетворюється в тепло, та дугові, що виникають через електричну дугу. Електричні опіки можуть вразити не лише шкіру, а й м'язи, нерви та навіть кістки в залежності від температури і розмірів дуги. Такі опіки потребують тривалого лікування.

Електричні знаки (позначки) представляють собою плями на шкірі в місці контакту з струмовідними частинами.

Металізація шкіри - відбувається через проникнення дрібних часточок металу, що розплавляються внаслідок дії електричної дуги.

Механічні ушкодження - виникають від скорочення м'язів через дію електричного струму, проходячи через організм. Це може призвести до розривів шкіри, кровоносних судин, нервів, вивихів суглобів і навіть переломів.

Електрофтальмія — ураження очей від ультрафіолетових випромінювань електричної дуги. Найнебезпечніший вид електротравми — електричний удар, який в більшості випадків (приблизно 80%, включаючи комбіновані травми) призводить до смерті.

Електричний удар - це збудження живих тканин організму електричним струмом, що супроводжується судомним скороченням м'язів. Залежно від наслідків ураження електричні удари розподіляють на чотири ступені:

I - скорочення м'язів без втрати свідомості;

II - скорочення м'язів з втратою свідомості, але з підтриманням дихання та серцевої роботи;

III - втрата свідомості та порушення серцевої діяльності чи дихання (або обох одночасно);

IV - клінічна смерть.

Клінічна смерть - це перехідний період між життям і смертю, який починається з зупинкою серця та легень і триває 6-8 хвилин, поки не почнуть загинати клітини головного мозку. Після цього настає біологічна

смерть, коли зупиняються біологічні процеси у клітинах та тканинах організму, йде розпад білкових структур.

Якщо під час клінічної смерті швидко від'єднати потерпілого від електричного струму та негайно розпочати надання необхідної допомоги (штучне дихання, масаж серця), є висока ймовірність його порятунку.

Летальні наслідки від електричного удару можуть бути викликані зупинкою серця або його фібриляцією, припиненням дихання через скорочення м'язів грудної клітки, що беруть участь у диханні, або електричним шоком - реакцією організму на електричний струм, що супроводжується розладами кровообігу, дихання та обміну речовин. Часто може діяти кілька причин одночасно. Слід відзначити, що шоківий стан може тривати від кількох хвилин до декількох днів. При тривалому шоківому стані зазвичай настає смерть.[19]

### **7.1.3 Чинники, що впливають на наслідки ураження електричним струмом**

Вплив електричного струму на людину та наслідки ураження залежать від багатьох факторів, які можна умовно розділити на електричні (напруга, сила струму, опір організму, характер струму) і неелектричні (час дії струму, маршрут проходження через тіло, особливості кожної людини, умови оточуючого середовища).

Сила струму грає ключову роль у наслідках ураження. Різні сили струму впливають на організм людини по-різному. Виділяють три основні рівні сили струму:

Пороговий відчутний струм - мінімальне значення, яке спричиняє відчутні подразнення при проходженні через тіло.

Пороговий невідпускаючий струм - мінімальне значення, при якому м'язи руки, що стиснуті навколо провідника, не можуть розслабитися, утримуючи людину у зоні впливу струму.

Пороговий фібриляційний (потенційно смертельно небезпечний) струм - найменше значення, що спричиняє фібриляцію серця при проходженні через організм людини.[19]

## **7.2 Розробка заходів з охорони праці.**

### **7.2.1 Технічні способи та засоби захисту**

Технічні способи та засоби захисту (ТСЗЗ) поділяють на:

- ТСЗЗ при нормальних режимах роботи електроустановок (ізоляція струмовідних частин, забезпечення недоступності неізольованих струмовідних частин, попереджувальні сигналізація, знаки та написи,

застосування малих напруг, захисне розділення електромереж, вирівнювання потенціалів);

- ТСЗЗ при переході напруги на металеві нормально неструмовідні частини електроустановок (захисні заземлення, занулення, вимикання);
- електрозахисні засоби та запобіжні пристосування.
- ТСЗЗ при нормальних режимах роботи електроустановок[19]

### **7.2.2 Ізоляція струмовідних частин**

Забезпечується шляхом покриття їх шаром діелектрика для захисту людини від випадкового доторкання до частин електроустановок, через які проходить струм. Розрізняють робочу, додаткову, подвійну та посилену ізоляцію.

Робочою називається ізоляція струмовідних частин електроустановки, яка забезпечує її нормальну роботу та захист від ураження струмом.

Додатковою називається ізоляція, яка застосовується додатково до робочої і у випадку її пошкодження забезпечує захист людини від ураження струмом.

Подвійною називається ізоляція, яка складається з робочої та додаткової.

Наприклад, додаткова ізоляція досягається шляхом виготовлення корпусів та рукояток електроустаткування із діелектричних матеріалів (пластмасові корпуси ручних електрифікованих інструментів, побутових електропристроїв тощо).

Посиленою називається покращена робоча ізоляція. [19]

**7.2.3 Забезпечення недоступності неізольованих струмовідних частин** передбачає застосування захисних огорожень, блокувальних пристроїв та розташування неізольованих струмовідних частин на недосяжній висоті чи в недоступному місці.

Захисні огороження можуть бути суцільними та сітчастими. Суцільні огороження (корпуси, кожухи, кришки і т. ін.) застосовуються в електроустановках з напругою до 1000 В, а сітчасті (огорожі, бар'єри) - до і вище 1000 В. Вони повинні встановлюватись на відстані до струмопровідних частин не менше за припустиму.

Якщо під час експлуатації електроустановок передбачений періодичний доступ (для оглядів, технічного обслуговування, ремонтів) до їх огорожених зон, в яких знаходяться неізольовані струмові дні частини, то дверцята, кришки, двері цих огорожень повинні мати блокувальні пристрої. Останні забезпечують зняття напруги зі струмовідних частин у разі відкриття огороження та спробі проникнути в небезпечну зону.

Блокувальні пристрої за принципом дії поділяються на механічні, електричні та електронні.

Розташування неізолюваних струмовідних частин на недосяжній висоті чи у недоступному місці забезпечує безпеку без захисних огорожень та блокувальних пристроїв. Обираючи необхідну висоту підвісу проводів під напругою, враховують можливість випадкового доторкання до них довгих струмопровідних елементів, інструменту чи транспорту. Так, висота підвісу проводів повітряних ліній електропередач відносно землі при лінійній напрузі до 1000 В повинна бути не меншою ніж 6 м. Розташування неізолюваних струмовідних частин у спеціальних приміщеннях чи комірках, що зачиняються на ключ (знімну ручку), обмежує доступ до них сторонніх осіб.

Попереджувальні сигналізація, знаки та написи є пасивними засобами захисту, які не усувають небезпеки ураження, а лише інформують про її наявність. Попереджувальна сигналізація може бути світловою (лампочки, світлодіоди і т. ін.) та звуковою (зумери, дзвінки, сирени).

На виробництві широко використовують світлову сигналізацію для попередження про наявність напруги на тих чи інших частинах електроустаткування. Наприклад, при подачі напруги на електроустаткування на пульті керування загоряється сигнальна лампочка "Мережа".[19]

#### 7.2.4 Мала напруга

Застосовується для зменшення небезпеки ураження електричним струмом. До малих напруг належать номінальні напруги, що не перевищують 42 В змінного струму та 110 В постійного струму. За таких напруг струм, що може пройти через тіло людини, є дуже малим і вважається відносно безпечним. Однак гарантувати цілковиту безпеку неможливо, тому поряд з малою напругою використовують й інші способи та засоби захисту.

Малі напруги застосовують у приміщеннях з підвищеною небезпекою (напруга до 42 В включно) та в особливо небезпечних приміщеннях (напруга до 12 В включно) для живлення ручних електрифікованих інструментів, переносних світильників, для місцевого освітлення на виробничому устаткуванні.

Джерелами такої напруги можуть слугувати батареї гальванічних елементів, акумулятори, трансформатори і т. ін. На рис. 3.22 наведено схему знижувального трансформатора, що містить металевий корпус 1, магнітопровід 2, екран 3, обмотки низької 4 та високої 5 напруги.

Для захисту від переходу високої напруги в мережу низької напруги вторинну обмотку трансформатора приєднують до нульового проводу або заземлюють (так само як металевий корпус і екран трансформатора).

Для унеможливлення випадкового приєднання електрообладнання з малою напругою живлення до мережі більш високої напруги штепсельні вилки та розетки відповідних напруг мають свої конструктивні відмінності. Отже, застосування малих напруг суттєво зменшує небезпеку ураження електричним струмом, однак при цьому зростає значення робочого струму, а відтак і переріз провідників, що, в свою чергу, збільшує витрати кольорових металів (міді, алюмінію). Крім того, при малих напругах істотно зростають втрати електроенергії в мережі, що обмежує її протяжність.

У силу вищезазначених обставин малі напруги мають обмежене використання в електронезбезпечних приміщеннях (особливо небезпечних і з підвищеною небезпекою) і застосовуються лише для живлення переносного електрообладнання, яке, на відміну від стаціонарних електроустановок, експлуатується в більш важких умовах (зазнає механічних впливів, змін температури, вологості тощо).[19]

### **7.2.5 Вирівнювання потенціалів**

Є способом зниження напруг дотику та кроку між точками електричного кола, до яких можливе одночасне доторкання людини або на яких вона може одночасно стояти. Вирівнювання потенціалів досягається шляхом штучного підвищення потенціалу опорної поверхні ніг до рівня потенціалу струмовідної частини, а також при контурному заземленні. Вертикальні заземлювачі в контурному заземленні розміщуються як по контуру, так і всередині захищеної зони і з'єднуються сталевими полосами. У разі замикання струмовідних частин на корпус, що приєднаний до такого контурного заземлення, ділянки землі всередині контура набувають високих потенціалів, які наближаються до потенціалу заземлювачів. Завдяки цьому максимальні напруги дотику та кроку Пп знижуються до допустимих значень.

Захисне розділення електромережі

передбачає поділ останньої на окремі електрично незв'язані між собою ділянки за допомогою роздільних трансформаторів РТ з коефіцієнтом трансформації 1:1 (рис. 3.24). Чим протяжніша та розгалуженіша електромережа, тим меншим є її опір ізоляції та більшою ємність відносно землі. Отже, якщо таку електромережу розділити на низку невеликих мереж (ділянок) такої ж напруги, які мають незначну ємність та великий опір ізоляції, то при цьому значно підвищується безпека експлуатації електроустановок.[19]

### **7.2.6 Захисне заземлення**

Застосовують у мережах з напругою до 1000 В з ізольованою нейтраллю та в мережах напругою вище 1000 В з будь-яким режимом нейтралі джерела живлення.

Захисне заземлення - це навмисне електричне з'єднання зі землею або з її еквівалентом металевих частин електроустановки, які нормально не перебувають під напругою, але можуть опинитись під нею в аварійних режимах. Призначення захисного заземлення полягає в тому, щоб у випадку появи напруги на металевих конструктивних частинах електроустановки (наприклад, унаслідок замикання на корпус фази при пошкодженні її ізоляції) забезпечити захист людини від ураження електричним струмом у разі її доторкання до таких частин. Це досягається шляхом зниження до безпечних значень напруг дотику та кроку.

Заземлювальним пристроєм називають сукупність конструктивно з'єднаних заземлювальних провідників та заземлювача. Заземлювач - провідник або сукупність електрично з'єднаних провідників, які перебувають у контакті зі землею або її еквівалентом. Заземлювачі бувають природні та штучні. Як природні заземлювачі використовують електропровідні частини будівельних і виробничих конструкцій, а також комунікацій, які мають надійний контакт із землею (водогінні та каналізаційні трубопроводи, фундаменти будівель і т. ін.). [19]

### **7.2.7 Захисне занулення**

Застосовується в чотирьохпровідних мережах напругою до 1000 В з глухозаземленою нейтраллю. Відповідно до ПУЕ, занулення корпусів електроустановок використовується в тих випадках, що й захисне заземлення.

Занулення - це навмисне електричне з'єднання з нульовим захисним проводом металевих частин електроустановки, які нормально не перебувають під напругою, але можуть опинитися під нею в аварійних режимах роботи.

Нульовий захисний провід - це провід, який з'єднує частини, що підлягають зануленню, з глухозаземленою нейтральною точкою обмотки джерела струму або її еквівалентом.

Захисне вимикання застосовується як основний або додатковий захисний засіб у будь-яких електроустановках, але особливо тоді, коли з різних причин важко забезпечити ефективно заземлення чи занулення, а також коли є висока імовірність випадкового доторкання до струмопровідних частин. Такі умови частіше за все виникають у пересувних електроустановках, а також у стаціонарних, що розташовані в районах з поганою провідністю ґрунту. Захисне вимикання є незамінним засобом для ручних електроінструментів, які у значній кількості застосовують у багатьох галузях виробництва.

Захисне вимикання - це швидкодіючий захист, який забезпечує автоматичне вимкнення електроустановки (до 0,2 с) у разі виникнення в ній небезпеки ураження струмом.[19]

### **7.2.8 Електрозахисні засоби та запобіжні пристосування**

Залежно від призначення електрозахисні засоби поділяються на ізолювальні (рис. 3.31), огорожувальні та запобіжні.

#### **Ізолювальні електрозахисні засоби**

Призначені для ізоляції людини від частин електроустановок, що знаходяться під напругою та від землі, якщо людина одночасно доторкається до землі чи заземлених частин електроустановок та струмопровідних частин чи металевих конструктивних елементів (корпусів), які опинилися під напругою.

Розрізняють основні та додаткові ізолювальні електрозахисні засоби.

- До основних належать такі електрозахисні засоби, ізоляція яких упродовж тривалого часу витримує робочу напругу електроустановки, і тому ними дозволяється доторкатись до струмовідних частин, що знаходяться під напругою. До них належать: при роботах у електроустановках з напругою до 1000 В - діелектричні рукавички, ізолювальні штанги, ізолювальні кліщі, покажчики напруги, інструменти з ізолювальними рукоятками, електровимірювальні кліщі; а при роботі в електроустановках напругою понад 1000 В - ізолювальні штанги, електровимірювальні та ізолювальні кліщі, покажчики напруги, покажчик напруги для фазування (див. рис. 3.31).

- Додаткові ізолювальні захисні засоби мають недостатні ізолювальні властивості й призначені для підсилення захисної дії основних засобів. Тому вони застосовуються лише одночасно з основними засобами. До додаткових ізолювальних електрозахисних засобів належать: при роботах у електроустановках з напругою до 1000 В - діелектричні калоші, килимки, ізолювальні підставки тощо; при роботах у електроустановках з напругою понад 1000 В - діелектричні рукавички, боти, килимки, ізолювальні підставки та інші засоби захисту.[19]

### **7.2.9 Огорожувальні електрозахисні засоби**

(Щити, ширми, екрани, плакати електробезпеки) призначені для захисту працівників, котрі виконують роботи в електроустановках, від випадкового доторкання чи наближення на небезпечну відстань до струмовідних частин, що знаходяться під напругою, а також для тимчасового огороження входів у комірки, камери та проходів у приміщення, в які вхід працівникам заборонений.[19]

### **7.2.10 Запобіжні електрозахисні засоби та пристосування**



Призначені: для захисту персоналу від випадкового падіння з висоти (запобіжні пояси, страхувальні канати); для забезпечення безпечного піднімання на висоту (ізолювальні драбини, кігті-лази монтерські); для запобігання нещасним випадкам при помилковому або самочинному увімкненні комутаційних апаратів або при наведеній напрузі (переносне заземлення); для захисту від світлової, теплової, механічної дії електричної дуги (захисні окуляри, щитки, спецодяг, каски, захисні рукавички тощо).

Електрозахисні ізолювальні засоби застосовуються в закритих електроустановках, а в суху погоду - у відкритих. Забороняється виконувати роботи із використанням основних електрозахисних засобів у відкритих електроустановках під час дощу, снігопаду, туману тощо.[19]

### **7.2.11 Організаційні та технічні заходи електробезпеки**

До роботи на електроустановках допускаються особи не молодші 18 років, які пройшли інструктаж та навчання з безпечних методів праці, перевірку знань правил безпеки та інструкцій відповідно до займаної посади чи роботи, яку вони виконують та кваліфікаційної групи з електробезпеки, і які не мають протипоказань, визначених Міністерством охорони здоров'я України.

З метою профілактики професійних захворювань, нещасних випадків та забезпечення безпеки праці працівники, що обслуговують діючі електроустановки, в обов'язковому порядку проходять попередній (при прийнятті на роботу) та періодичні (термін обумовлений професією та характеристикою роботи) медичні огляди.

Роботи в електроустановках стосовно їх організації поділяються на такі, що виконуються:

- за нарядом-допуском;
- за розпорядженням;
- у порядку поточної експлуатації.

Безпека робіт у діючих електроустановках досягається наступними організаційними заходами:

- затвердження переліку робіт, що виконуються за нарядами, розпорядженнями і в порядку поточної експлуатації;
- призначення осіб, відповідальних за безпечне проведення робіт;
- оформлення нарядом, розпорядженням або затвердженням переліку робіт, що виконуються в порядку поточної експлуатації;
- підготовка робочих місць;
- допуск до роботи, нагляд під час виконання робіт;
- переведення на інше робоче місце;
- оформлення перерв у роботі та її закінчення.

Робота в електроустановках стосовно заходів безпеки поділяється на три категорії:

- зі зняттям напруги;
- без зняття напруги на струмовідних частинах та поблизу них;
- без зняття напруги віддалік від струмовідних частин, що перебувають під напругою.

До технічних заходів, які необхідно виконувати в діючих електроустановках для забезпечення безпеки робіт належать:

При проведенні робіт зі зняттям напруги в діючих електроустановках:

- вимкнення установки (частини установки) від джерела живлення електроенергії;
- механічне блокування приводів апаратів, які здійснюють вимкнення, зняття запобіжників, від'єднання кінців лінії, що забезпечує електропостачання, та інші заходи, що унеможливають випадкову подачу напруги до місця проведення робіт;
- вивішування заборонних плакатів на приводах ручного і на ключах дистанційного керування комутаційною апаратурою;
- перевірка відсутності напруги на струмовідних частинах, які слід заземлити для захисту людей від ураження електричним струмом;
- встановлення заземлення (увімкнення заземлюваних ножів);
- встановлення переносних заземлень);
- огороження робочих місць або струмовідних частин, що залишаються під напругою, і вивішування на огороженнях плакатів безпеки;

При проведенні робіт без зняття напруги на струмовідних частинах та поблизу них:

виконання робіт за нарядом не менш ніж двома працівниками із застосуванням електрозахисних засобів, під постійним наглядом, із забезпеченням безпечного розташування працівників, використовуваних механізмів та пристосувань;

При проведенні робіт без зняття напруги віддалік від струмовідних частин, що перебувають під напругою, є неможливим випадкове наближення працівників і ремонтного оснащення та інструменту, що застосовуються ними, до струмовідних частин на відстань, меншу від допустимої, тому передбачати технічні та організаційні заходи для запобігання такому наближенню не потрібно.[19]

### 7.3 Освітлення приміщення.

Для освітлення калібрувальної лабораторії площею 22.90 м<sup>2</sup> використано 6 вбудованих світлодіодних світильників **3F Diagon 15W/840 EP 596x596 + Corn.plaf.** Світлодіодні лампи покращують безпеку приміщення, є екологічно чистими, мають довгий термін служби і не потребують спеціального утилізації.



Рисунок 7.1 **3F Diagon 15W/840 596x596 + Corn.plaf.**

Таблиця 7.1 Відповідність потужності джерел світла

Лампа розжарювання	Світлодіодна лампа	Люмінісцентна лампа	Люмени
40	4-8	10-15	400
60	8-10	15-25	700
75	10-12	25-30	900
100	12-18	30-50	1200
150	18-20	50-70	1800
200	25-30	70-90	2500

Калібрувальна лабораторія повинна бути оснащена задовільним світлом.

Знайдемо необхідну кількість Вт для даного приміщення:

$$P = pS/N \quad (5.1)$$

$p$  – питома значення потужності, приблизно дорівнює 4.45 Вт/м<sup>2</sup>;

$S$  – площа приміщення;

$N$  – кількість ламп.

$$P = 4.45 * 22.90 / 6 = 16.98 \text{ Вт}$$

Для більшої наочності аналіз освітленості приміщення робочої зони виконаний у спеціалізованій САПР DIALux evo 12.0. Згідно з ДБН В.2.5-28:2018 освітленість приміщень лабораторій повинна становити від 300 лк.

Приміщення загальною площею 22.90 м<sup>2</sup> має по два віконні прорізи в стінах довшої сторони, стіни та стеля пофарбовані у білий колір, підлога вкрита шаром лінолеуму.

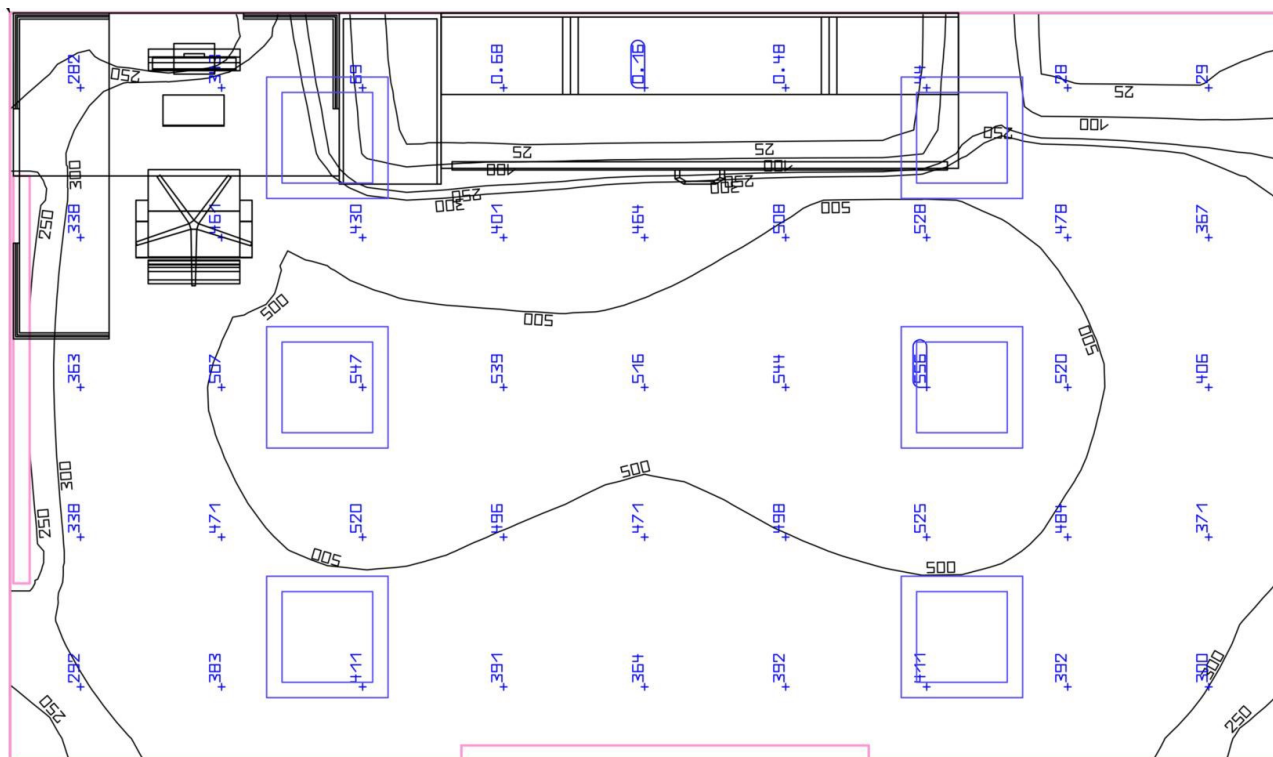


Рисунок 7.2 Освітленість калібрувальної лабораторії

#### 7.4 Пожежна профілактика.

Основними напрямками забезпечення пожежної безпеки є усунення умов виникнення пожежі та мінімізація її наслідків. Об'єкти повинні мати системи пожежної безпеки, спрямовані на запобігання пожежі, дії на людей та матеріальні цінності небезпечних факторів пожежі, в тому числі їх вторинних проявів. До таких факторів належать: полум'я та іскри, підвищена температура навколишнього середовища, токсичні продукти горіння й термічного розкладу матеріалів і речовин, дим, знижена концентрація кисню.

Пожежна безпека об'єкта повинна забезпечуватися системою запобігання пожежі, системою протипожежного захисту і системою організаційно-технічних заходів.

Системи пожежної безпеки мають запобігти виникненню пожежі і впливу на людей небезпечних факторів пожежі на необхідному рівні. Потрібний рівень пожежної безпеки людей за допомогою зазначених систем, не повинен бути меншим за 0,999999 відвернення впливу на кожну людину, а допустимий рівень пожежної небезпеки для людей не може перевищувати 10" впливу небезпечних факторів пожежі, що перевищують гранично допустимі значення на рік у розрахунку на кожну людину.

Об'єкти, пожежі на яких можуть призвести до загибелі або масового ураження людей небезпечними факторами пожежі та їх вторинними

проявами, а також до значного пошкодження матеріальних цінностей, повинні мати системи пожежної безпеки, що забезпечують мінімально можливу імовірність виникнення пожежі. Конкретні значення такої імовірності визначаються проектувальниками та технологами.

Основними вихідними даними при розробці комплексу технічних і організаційних рішень щодо забезпечення потрібного рівня пожежної безпеки в кожному конкретному випадку є чинна законодавча і нормативно-технічна база з питань пожежної безпеки, вибухопожежонебезпечні властивості матеріалів і речовин, що застосовуються у виробничому циклі, кількість вибухопожежонебезпечних матеріалів і речовин і особливості виробництва. На основі цих вихідних даних визначаються такі критерії вибухопожежонебезпеки об'єкта, як категорії приміщень і будівель за вибуховою і пожежною небезпекою, а також класи вибухонебезпечних і пожежонебезпечних зон. Саме залежно від категорії приміщень та будівель і класу зон за вибуховою і пожежною небезпекою, відповідно до вимог чинних нормативів, розробляються технічні і організаційні заходи і засоби забезпечення вибухопожежної безпеки об'єкта.

### **7.5 Безпека в надзвичайних ситуаціях.**

Одна з найпоширеніших надзвичайних ситуацій – це пожежа. Будь-яке вогнище починається з загорання, яке може бути ліквідоване однією людиною, якщо вона володіє відповідними навичками та знає правила поведінки під час пожежі. Тому важливо заздалегідь знати: де розташовані засоби пожежогасіння, якими вони є і як ними користуватися у разі виникнення пожежі..

Ні в якому разі не слід панікувати.

Під час пожежі треба бути обачними щодо високої температури, задимленості та газових небезпек, можливого обвалу будівельних конструкцій, вибухів технічного обладнання, падіння горящих дерев і можливих провалів. Важливо уникати входу в зону задимлення. Під час рятування людей із горячих будівель варто пам'ятати такі моменти:

Перед тим, як увійти у горяче приміщення, слід накритися вологою ковдрою, одягом або щільною тканиною.

Відкривайте двері у задимлені приміщення обережно, щоб уникнути різкого надходження повітря, що може спричинити полум'я.

У сильно задимленому приміщенні краще рухатися пополюзою або пригинаючись.

Щоб захиститися від чадного газу, важливо дихати через вологу тканину.

Спочатку треба рятувати дітей, людей з обмеженими можливостями та літніх людей.

Звертайте увагу, що маленькі діти можуть ховатися від страху під ліжком, в шафі або застрягати у куточках.

виходьте із осередку пожежі в той бік, звідки віє вітер;

якщо на людині горить одяг, зваліть її на землю та швидко накиньте пальто, плащ або будь-яку ковдру чи покривало (бажано зволожену) і щільно притисніть до тіла, у разі необхідності викличте медичну допомогу;

якщо загорівся ваш одяг, падайте на землю і перевертайтеся, щоб збити полум'я, ні в якому разі не біжіть – це ще більше роздуває вогонь;

для гасіння пожежі використовуйте вогнегасники, пожежні гідранти, а також воду, пісок, землю, кошму, ковдри та інші засоби, пристосовані для гасіння вогню;

бензин, гас, органічні масла та розчинники, що загорілися, гасіть тільки за допомогою пристосованих видів вогнегасників, засипайте піском або ґрунтом, а якщо осередок пожежі невеликий, накрийте його азбестовим чи брезентовим покривалом, зволоженою тканиною чи одягом;

якщо горить електричне обладнання або проводка, вимкніть рубильник, вимикач або електричні пробки, а потім починайте гасити вогонь.

Якщо пожежа застала вас у приміщенні, слід дотримуватись наступних правил:

до дверей приміщення слід повзти підлогою під хмарою диму, але не відчиняти двері відразу;

обережно доторкніться до дверей тильною стороною долоні, якщо двері не гарячі, то відчиніть їх та швидко виходьте;

якщо двері гарячі, не відчиняйте їх – дим та полум'я не дозволять вам вийти;

щільно закрийте двері, а всі щілини і отвори заткніть будь-якою тканиною, щоб уникнути подальшого проникнення диму. Повертайтеся поповзом у глибину приміщення і приймайте заходи до порятунку;

присядьте та глибоко вдихніть повітря, розкрийте вікно, висуньтеся та спробуйте покликати за допомогою;

якщо ви не в змозі розкрити вікно, розбийте віконне скло твердим предметом та зверніть увагу людей, які можуть викликати пожежну команду;

якщо ви вибрались через двері, зачиніть їх та поповзом пересувайтеся до виходу із приміщення;

обов'язково зачиняйте за собою всі двері;

зверніть увагу, що під час пожежі заборонено користуватися ліфтами;

якщо ви знаходитесь у висотному будинку, не біжіть вниз крізь вогнище, а користуйтеся можливістю врятуватися на даху будівлі.

Запам'ятайте: у всіх випадках, якщо ви в змозі, зателефонуйте «101» і викличте пожежну команду.[20]

## ВИСНОВКИ

Електроенергетика являється великою та важливою складовою економіки України, тому для правильного функціонування цієї сфери потрібен облік електроенергії. Для обліку електроенергії використовують спеціальні прилади - лічильники електричної енергії.

В цій кваліфікаційній роботі, спираючись на нормативні документи, було розглянуте питання необхідності розроблення та введення методики калібрування на лічильники електроенергії, розглянуті які варіанти оцінки відповідності існують на виробництві, які типи лічильників існують, які в них схеми підключення, які типи лічильників найпоширеніші та чому.

Було розроблено методику калібрування однофазних лічильників електричної енергії, визначено фактори, що впливають на результат вимірювань: відносна стандартна невизначеність типу А, обумовлена розкидом показів вимірювання електричної енергії, відносна сумарна невизначеність, обумовлена впливом еталону на результат вимірювання електричної енергії та відносна стандартна невизначеність типу В, обумовлена роздільною здатністю калібруемого лічильника.

Розроблено та верифіковано програму для визначення невизначеності лічильників, за допомогою якої можна автоматично отримати розрахунки невизначеностей вимірювання використовуючи данні з протоколу оцінки метрологічних характеристик, оскільки ПЗ було верифіковане його можна використовувати в калібрувальних лабораторіях. Для верифікації було проведено калібрування в точці  $0.05I_n$ ,  $\cos\varphi=1$  основного каналу вимірювання десяти лічильників, з напругою 220В. Результати калібрування показали, що найбільший внесок у невизначеність дає стандартна невизначеність типу А, обумовлена розкидом показів вимірювання електричної енергії.

Розроблено віртуальний стенд для проведення калібрування, за допомогою якого можна наочно побачити процес калібрування, а також реалізована можливість формування протоколу вимірювань.

В сьомому розділі були розраховані витрати на вимірювальне устаткування необхідне для проведення калібрування, загальні витрати на заробітну плату, витрати на електроенергію за актуальними цінами.

В восьмому розділі було проаналізовано небезпечні фактори та чинники при роботі з електроустановками, та представлені заходи для убезпечення робочого процесу. За допомогою програмного забезпечення DIALux evo було розраховано потрібний рівень освітлення для забезпечення безпечної роботи. Також були розглянуті порядок дій при виникненні пожежі на підприємстві.



**ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ**

1. Закон. (n.d.). закон України “Про метрологію та метрологічну діяльність”. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1314-18#Text>
2. Держстандарт. (2021). ДСТУ EN ISO/IEC 17000:2021(EN ISO/IEC 17000:2020, IDT;ISO/IEC 17000:2020, IDT) Оцінювання відповідності. Словник термінів і загальні принципи.
3. Держстандарт. (21.12.2015). ДСТУ ISO 9000.
4. КАБІНЕТ МІНІСТРІВ УКРАЇНИ, ПОСТАНОВА від 13 січня 2016 р. № 94  
  
URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/94-2016-%D0%BF#n366>
5. Рішення Європейського парламенту і Ради № 768/2008/ЄС від 9 липня 2008 року, «про спільні рамки для реалізації продуктів та про скасування Рішення Ради 93/465/ЄЕС»
6. Климова Р.Н., Електроенергетичні системи та мережі. Енергозбереження, 2017р.
7. Коваль В.П. Лучейко І.Д., МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ до виконання лабораторних робіт з курсу «Системи вимірювання, обліку та управління енерговикористанням»
8. <https://en.zhejianghanpu.com/Customized-Single-Phase-Electrical-Meter-Test-Bench-with-40-Meter-Positions-PTC-8125M-pd49361480.html>
9. <https://detail.1688.com/offer/36761543601.html>
10. [https://zyabkin.ua/shop/prilad-es-0202-1-g-megaommetr/?gad\\_source=1&gclid=CjwKCAiAvoqsBhB9EiwA9XTWGQdJwBt3hy73BoU\\_nTA5pKXBOi4S8wF826QZG8eKYSIZHOqVcHY00BoCV6oQAvD\\_BwE](https://zyabkin.ua/shop/prilad-es-0202-1-g-megaommetr/?gad_source=1&gclid=CjwKCAiAvoqsBhB9EiwA9XTWGQdJwBt3hy73BoU_nTA5pKXBOi4S8wF826QZG8eKYSIZHOqVcHY00BoCV6oQAvD_BwE)
11. [https://prom.ua/ua/p1404668330-testo-608-termogigrometr.html?utm\\_source=google\\_pmax&utm\\_medium=cpc&utm\\_content=pmax&utm\\_campaign=Pmax\\_cpa\\_50\\_b2b&gad\\_source=1&g](https://prom.ua/ua/p1404668330-testo-608-termogigrometr.html?utm_source=google_pmax&utm_medium=cpc&utm_content=pmax&utm_campaign=Pmax_cpa_50_b2b&gad_source=1&g)

- [clid=CjwKCAiAvoqsBhB9EiwA9XTWGaGzL4RwXkEoLDJcKVt79TcdwJ57qqF2YnVXKbt0VvvrX5AShRXGHxoCqQcQAvD\\_BwE](https://metrologprom.com.ua/uk/p/1323120805-barometr-aneroid-meteorologicheskij-bamm-s-kalibrovkoy/)
12. <https://metrologprom.com.ua/uk/p/1323120805-barometr-aneroid-meteorologicheskij-bamm-s-kalibrovkoy/>
  13. [https://prom.ua/p2021082322-mini-msi-cubi.html?utm\\_source=google\\_pmax&utm\\_medium=cpc&utm\\_content=pmax&utm\\_campaign=Pmax\\_cpa\\_50\\_tehnika\\_i\\_elektronika\\_591336642&gad\\_source=1&gclid=Cj0KCCQiA4Y-sBhC6ARIsAGXF1g75aQ4Ft1YTg15wek5twBkNB4G\\_5\\_n0gIv0xX8YtOHU9ncZx7tBSaEaArrfEALw\\_wcB](https://prom.ua/p2021082322-mini-msi-cubi.html?utm_source=google_pmax&utm_medium=cpc&utm_content=pmax&utm_campaign=Pmax_cpa_50_tehnika_i_elektronika_591336642&gad_source=1&gclid=Cj0KCCQiA4Y-sBhC6ARIsAGXF1g75aQ4Ft1YTg15wek5twBkNB4G_5_n0gIv0xX8YtOHU9ncZx7tBSaEaArrfEALw_wcB)
  14. [https://bonro.ua/krislo-ofisne-bonro-manager-chorne-41000010/?gclid=Cj0KCCQiA4Y-sBhC6ARIsAGXF1g55ZxfZiDa0AF4minmqBXswt\\_kRBI5qS77x119mgL0jPdjC1e5ILUgaAliKEALw\\_wcB](https://bonro.ua/krislo-ofisne-bonro-manager-chorne-41000010/?gclid=Cj0KCCQiA4Y-sBhC6ARIsAGXF1g55ZxfZiDa0AF4minmqBXswt_kRBI5qS77x119mgL0jPdjC1e5ILUgaAliKEALw_wcB)
  15. [https://stylbest.com.ua/ua/catalog\\_mebeli/18566/Ofisnyy\\_stol\\_FKM\\_os-2/?gclid=Cj0KCCQiA4Y-sBhC6ARIsAGXF1g6RWsAaMSaf7\\_ZCb0n2tTRLs0bzwZSnqxFhba\\_Dbq6R50bf9jV7h8aAtrpEALw\\_wcB](https://stylbest.com.ua/ua/catalog_mebeli/18566/Ofisnyy_stol_FKM_os-2/?gclid=Cj0KCCQiA4Y-sBhC6ARIsAGXF1g6RWsAaMSaf7_ZCb0n2tTRLs0bzwZSnqxFhba_Dbq6R50bf9jV7h8aAtrpEALw_wcB)
  16. <https://www.work.ua/ru/salary-%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3/>
  17. <https://index.minfin.com.ua/labour/social/>
  18. <https://www.dtek-dnem.com.ua/ua/services-tariffs>
  19. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці: підручник / Львів: «Афіша», 2005 рік
  20. Дії у разі виникнення пожежі // КИЇВСЬКА МІСЬКА ДЕРЖАВНА АДМІНІСТРАЦІЯ

URL:<https://old.kyivcity.gov.ua/content/pamyatka-shchodo-diy-u-razi-vynyknennya-pozhezhi.html>

## ДОДАТКИ

### Додаток А

Додаток 4  
до Технічного регламенту

#### ДЕКЛАРАЦІЯ ПРО ВІДПОВІДНІСТЬ № \_\_\_\_\_

1. Засіб вимірювальної техніки, який призначений для застосування у сфері законодавчо регульованої метрології (далі - засіб вимірювальної техніки)/модифікація засобу вимірювальної техніки (назва, тип, партія чи серійний номер)

---

2. Найменування та місцезнаходження виробника або його уповноваженого представника \_\_\_\_\_

3. Ця декларація видана під виключну відповідальність виробника.

4. Об'єкт декларації (ідентифікація засобу вимірювальної техніки, яка дає змогу забезпечити його простежуваність, може включати зображення, якщо це необхідно для ідентифікації зазначеного засобу) \_\_\_\_\_

5. Об'єкт декларації відповідає вимогам таких технічних регламентів

---

6. Посилання на відповідні національні стандарти (їх частини), що були застосовані, або посилання на технічні специфікації (їх частини), стосовно яких декларується відповідність \_\_\_\_\_

7. Призначений орган \_\_\_\_\_  
(найменування, ідентифікаційний номер)

провів \_\_\_\_\_  
(опис завдань)

і видав сертифікат \_\_\_\_\_

8. Додаткова інформація \_\_\_\_\_

Підписано від імені та за дорученням \_\_\_\_\_

---

(місце та дата видання)

\_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я та по батькові, посада)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Примітка. Присвоєння виробником номера декларації про відповідність необов'язкове

## Додаток В

### ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ І ОБЧИСЛЕННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ ПРИ КАЛІБРУВАННІ ЗА ВІДХИЛЕННЯМ ПОКАЗІВ

Вихідні дані:

№	Заводський номер лічильника	Відносна похибка основного каналу (I), 0.05I <sub>n</sub> , cosφ=1,%
1	5438842	0,12
2	5438832	0,06
3	5438929	-0,03
4	5438848	0,07
5	5438850	0,03
6	5438928	0,01
7	5438827	-0,01
8	5438828	-0,03
9	5438927	-0,04
10	5438845	0,03

#### 1. Оцінювання середнього лічильником електроенергії.

Значення калібрувальної величини вимірюної на підставі отриманих даних при вимірюванні, для кожної калібрувальної точки обчислюється середнє значення калібрувальної величини:

$$1) \bar{\delta}_{кл} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta_{кли} = \frac{1}{10} \cdot (0,12 + 0,06 + (-0,03) + 0,07 + 0,03 + 0,01 + (-0,01) + (-0,03) + (-0,04) + 0,03) = \frac{1}{10} \cdot \frac{0,21}{1} = 0,021\%$$

n - кількість результатів спостережень;

$\delta_{кли}$  - значення відхилення електроенергії калібруємого лічильника, виміряне і-м лічильником води.

2. Оцінювання стандартної невизначеності, обумовленої розкидом показів вимірювання значення калібрувальної величини. Математична модель стандартної невизначеності від розкиду показів обчислюється за виразом:

$$\begin{aligned}
 2) u_A(\sigma_{k_{\text{кл}}}) &= \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^n (\sigma_{k_{\text{кл}i}} - \bar{\sigma}_{k_{\text{кл}}})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{1}{10(10-1)} \cdot (0,099^2 + 0,039^2 + (-0,051)^2 + \\
 &+ 0,049^2 + 0,009^2 + (-0,011)^2 + (-0,031)^2 + (-0,051)^2 + (-0,061)^2 + 0,009^2)} = \\
 &= \sqrt{\frac{1}{90} \cdot (0,009801 + 0,001521 + 0,002601 + 0,002401 + 0,000081 + \\
 &+ 0,000121 + 0,000961 + 0,002601 + 0,003721 + 0,000081)} = \sqrt{\frac{1}{90} \cdot 0,02389} = \\
 &= \sqrt{2,65444 \cdot 10^{-5}} = 0,0162925 \%
 \end{aligned}$$

3. Оцінювання стандартної невизначеності, обумовленої впливом еталону на вимірювану величину. Стандартна невизначеність, обумовлена впливом еталона на результат вимірювання відхилю показів електроенергії на підставі даних про розширену невизначеність  $U(\delta_E)$  і коефіцієнта охоплення  $k$  наведених у сертифікаті калібрування установки:

$$3) u_B(\sigma_E) = \frac{U(\delta_E)}{k} = \frac{0,054}{2} = 0,027 \%$$

4. Оцінювання стандартної невизначеності, обумовленої округленням розрахунків відхилення. У припущенні про рівномірний закон розподілу:

$$4) u_B(\sigma_{\text{окл}}) = \frac{a}{2\sqrt{3}} = \frac{0,01}{2\sqrt{3}} = 0,00288675135 \%$$

5. Оцінювання сумарної стандартної невизначеності вимірювання калібрувальної величини.

Враховуючи вплив всіх складових, для виконаних у даному випадку вимірювань, сумарна стандартна невизначеність оцінюється за виразом:

$$\begin{aligned}
 5) u_c(E_x)_{\%} &= \sqrt{C_1^2 \cdot u_A^2(\delta_{\text{кЛ}})_{\%} + C_2^2 \cdot u_B^2(\delta_E)_{\%} + C_3^2 \cdot u_B^2(\delta_{\text{окЛ}})_{\%}} = \\
 &= \sqrt{0,0162925^2 + 0,027^2 + 0,00288675^2} = \\
 &= \sqrt{0,000265446 + 0,000729 + 8,33333 \cdot 10^{-6}} = \sqrt{0,00100278} = \\
 &= 0,0316667
 \end{aligned}$$

де  $c_1, c_2, c_3 = 1$  – коефіцієнти впливу;

$c_1 * u_A(\delta_{\text{кЛ}})_{\%}$  - внесок невизначеності вхідної величини  $u_A(E_{\text{кЛ}})_{\%}$  у сумарну стандартну невизначеність;

$c_2 * u_B(\delta_E)_{\%}$  - внесок невизначеності вхідної величини  $u_B(E_E)_{\%}$  у сумарну стандартну невизначеність;

$c_3 * u_B(\delta_{\text{окЛ}})_{\%}$  - внесок невизначеності вхідної величини  $u_B(E_{\text{кЛ}})_{\%}$ , у сумарну стандартну невизначеність;

6. Оцінювання розширеної невизначеності вимірювання калібрувальної величини.

$$6) U(E_x)_{\%} = k \cdot u_c(E_x)_{\%} = 2 \cdot 0,0316667 = 0,0633334$$

де  $k$  – коефіцієнт охоплення, який для ймовірності покриття 95% приймається рівним 2

7. Оцінювання ефективної кількості свободи ступенів

$$7) \nu_{\text{eff}} = \frac{u_c(E_x)_{\%}^4}{\frac{u_A^4(\delta_{\text{кЛ}})_{\%}}{n-1}} = \frac{0,0316667^4}{9} = \frac{1,00557 \cdot 10^{-6}}{7,04613 \cdot 10^{-8}} = 128,44114 \approx 128$$

8. Складання бюджету невизначеності.

Результат вимірювання і всі складові невизначеності вимірювання заносяться до бюджету невизначеності

Вхідні величини	Оцінка вхідної величини	Стандартна невизначеність вхідної величини	Розподіл	Коефіцієнт впливу	Внесок у невизначеність
$\delta_{\text{кль}}, \bar{\delta}_c$	0,12	0,0162925	Нормальний	1	0,0162925
$\Delta_k$	0	0,00288675135	Рівномірний	1	0,00288675135
I, U, $\varphi$	2   0,54	0,027	Нормальний	-1	0,027
Вихідна величина	Оцінка вихідної величини	Сумарна стандартна невизначеність	Ефективна кількість ступенів свободи	Коефіцієнт охоплення	Розширена невизначеність
$e_x$	0,12	0,0316667	$\nu_{\text{eff}} = 128$	k = 2	0,0633334



**ВІДГУК КЕРІВНИКА АТЕСТАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

## ЗОВНІШНЯ РЕЦЕНЗІЯ

На кваліфікаційну роботу студента групи 152м-22-1

Кавуненка Євгенія Романовича

на тему: «Розробка та впровадження методики калібрування лічильників електричної енергії»

Кваліфікаційна робота, яку подано на рецензію, виконано у відповідності до завдання, в повному обсязі у встановлений термін. Робота складається з таких основних розділів: Стан питання та постановка завдання, теоретичний розділ, розроблення МКЛ, розробка та верифікація програмного забезпечення для розрахунку невизначеностей, розробка віртуального стенду та експериментальний розділ, економічна частина, охорона праці.

Актуальність теми кваліфікаційної роботи полягає у можливості безпроблемного експорту та введення метрологічної простежуваності для лічильників електроенергії, що дає більше розуміння про точність приладу.

Було розглянуто питання експорту лічильників, та можливість визначення невизначеності вимірювань електrolічильників, для вирішення цього питання було запропоновано ввести методику калібрування лічильників електроенергії.

Була розроблена та верифікована програма для розрахунку невизначеностей, та за допомогою розробленої програми було розраховано бюджет невизначеності за експериментальними даними.

Розроблено методику калібрування однофазних лічильників електроенергії, та віртуальний пристрій, що імітує процес калібровки.

З метою забезпечення безпечної роботи з запропонованою системою було досліджено та виявлено небезпечні виробничі чинники, та розроблені інженерно-технічні засоби охорони праці, для цих чинників, що убезпечує роботу працівників.

Окрім цього в 6 розділі було розраховано витрати на впровадження та

експлуатацію устаткування для проведення калібровки.

До недоліків кваліфікаційної роботи можна віднести валідацію програмного забезпечення, в якій не виконано перевірку на ввід завідомо неправильних даних (наприклад, якщо у поле «Точність еталону» ввести значення, яке буде більшим за значення, зазначене у полі «Точність типу лічильника»).

Відзначений недолік не зменшує в цілому позитивне враження від роботи, яку виконано на високому рівні.

Вважаю, що робота задовольняє вимогам, які пред'являються до кваліфікаційних робіт і заслуговує на оцінку «задовільно», а Кавуненко Євгеній Романович – присвоєння кваліфікації магістр з метрології та інформаційно-виміральної техніки.