

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет інформаційної безпеки та електронних комунікацій  
(повне найменування факультету)

Кафедра інформаційної безпеки та наноелектроніки  
(повне найменування кафедри)

## Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему Розробка перспективної методики калібрування  
вольтамперметра М2038

(назва теми)

Виконав(ла): студент(ка) б курсу, групи

БК-412М

Спеціальності 152 Метрологія та

(код і найменування спеціальності)

інформаційно-вимірювальна техніка

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Якість, стандартизація та сертифікація

ЛІСОГУРСЬКИЙ Д.К.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник ПОГОСОВ В.В.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент БИСТРОВ Я.В.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет інформаційної безпеки та електронних комунікацій

Кафедра інформаційної безпеки та наноелектроніки

Ступінь вищої освіти магістр

Спеціальність 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

(код і найменування)

Освітня програма (спеціалізація) Якість, стандартизація та сертифікація

(назва освітньої програми (спеціалізації))

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**В.о. завідувача кафедри ІБтаН**

**Андрій КОРОТУН**

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 року

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)**

ЛІСОГУРСЬКОГО Дмитра Костянтиновича

(ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Розробка перспективної методики калібрування  
вольтамперметра М2038

Development of a promising method of calibrating the voltmeter M2038

керівник проекту (роботи) професор ПОГОСОВ Валентин Вітальйович,

(науковий ступінь, вчене звання, ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

затвержені наказом закладу вищої освіти від « 28 » листопада 2023 року № 471

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 11.12.2023

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Закон України №1314 "Про метрологію та метрологічну діяльність", ДСТУ ГОСТ 8.497-2008 "Державна система забезпечення єдності вимірювань. Амперметри, вольтметри, ватметри. Методика перевірки", ГОСТ 8711-93 "Прилади аналогові показуючі електровимірювальні прямої дії та допоміжні частини до них. Частина 2. Особі вимоги до амперметрів та вольтметрів", ДСТУ EN ISO /IEC 17025:2019 "Загальні вимоги до комплектності випробувальних та калібрувальних лабораторій", ЕА-4/02-2013 "Оцінка невизначеності вимірів при калібруванні", Паспорт на вольтамперметр М2038. Керівництво з експлуатації на калібратори постійного струму та напруги ПЗ20 та ПЗ21.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Розглянуті принцип дії та технічні характеристики вольтамперметра М2038,

Визначено засоби, обладнання та метод вимірювання при метрологічному калібруванні вольтамперметра М2038.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, кількість слайдів, плакатів)

Презентація доповіді (в MS PowerPoint), 30 слайдів.

## 6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	ПРИЗВИЩЕ, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1 – 5	ПОГОСОВ В.В., професор	04.09.2023	
Нормоконтроль	КОРОЛЬКОВ Р.Ю., доцент кафедри ІБтаН		

7. Дата видачі завдання «04» вересня 2023 року.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1.	Аналіз літературних джерел за тематикою дослідження	04.09.23 – 18.09.23	
2.	Електромеханічні вимірювальні прилади визначення та класифікації	19.09.23 – 25.09.23	
3.	Імплементация вимог міжнародних стандартів щодо невизначеності вимірювань в метрологічну діяльність підприємств.	30.09.23 – 10.10.23	
4.	Оцінювання невизначеності вимірювання при калібруванні вимірювальних приладів	12.10.23 – 20.10.23	
5.	Розробка методики калібрування вольтамперметра М2038	25.10.23 – 30.10.23	
6.	Проведення калібрування	05.11.23 – 15.11.23	
7.	Процес та визначення точок калібрування	20.11.23 – 25.11.23	
8.	Оформлення матеріалів магістерської роботи	25.11.23 – 30.11.23	

Студента \_\_\_\_\_ Дмитро ЛІСОГУРСЬКИЙ  
(підпис) (Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Керівник проекту (роботи) \_\_\_\_\_ Валентин ПОГОСОВ  
(підпис) (Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

## АНОТАЦІЯ

Пояснювальна записка до магістерської роботи 62 с., 24 табл., 10 рис., 2 дод., 15 джерел.

### БЮДЖЕТ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ, ВОЛЬТАМПЕРМЕТР М2038, ВПЛИВНІ ВЕЛИЧИНИ, ЗАСІБ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ, КАЛІБРУВАННЯ, ФОРМУЛЯР

В промисловому виробництві вимоги до допусків при випуску якісної продукції стають з плином часу більш суворим роль невизначеності вимірювань при оцінці якості продукції має суттєве значення. Невизначеність вимірювання дозволяє робити порівняння при оцінці відповідності.

Об'єкт та предмет дослідження — об'єктом дослідження виступає вимірювальний прилад вольтамперметр М2038 та дослідження його невизначеності у вказаних точках діапазону, ознайомлення з його технічною документацією для визначень його технічних характеристик необхідних для калібрування приладу, ознайомлення з параметрами калібраторів задіяних у процесі калібрування.

Мета роботи — розробка методики калібрування аналогового вольтамперметру М2038 для впровадження її на підприємстві ПрАТ "ЗЕРЗ", та визначення невизначеностей у конкретних точках діапазону вимірювання.

Задачі дослідження — отримати навички та практичні вміння при калібруванні вимірювального приладу вольтамперметру М2038 та в подальшому набрати статистику похибок невизначеностей на конкретних діапазонах.

Практична цінність — Розробка методики калібрування вольтамперметра М2038 що буде застосовувана на підприємстві ПрАТ "ЗЕРЗ".

## ABSTRACT

Explanatory note for master's work 62 p., 24 tables, 10 draw ., 2 appx., 15 sources.

### BUDGET UNCERTAINTY, VOLTAMMETER M2038, INFLUENCING QUANTITIES, MEASURING EQUIPMENT, CALIBRATION, FORM

In industrial production, the ability to obtain tolerances for the production of acid products becomes more and more important over time, and we assume the role of the insignificance of extinction. When assessing the quality of a product, it is essential. The insignificance of extinction. It does not allow the operation of the comparison when assessing the appearance.

The object and the subject of investigation — the object of investigation is the world class voltammeter M2038 and the investigation of its insignificance at the specified points in the range, familiarize yourself with its technical documentation for determination of the technical characteristics necessary for calibration of the device. Okay, be familiar with the parameters of calibrators involved in the calibration process.

Objective work — development of analog volt-ampere calibration technique meter M2038 for installation at the enterprise of PrJSC “ZERZ”, and recognition there are a lot of inconsistencies at specific points in the vibrating range.

The objectives of the research are to develop skills and practical steps when calibrating bathtub vimiryuvalnogo voltammeter M2038 and further dial. You can find statistics on the abductions of innocent people in specific ranges.

Practical value — understanding the method of calibrating a oltammeter M 2038 that will be sucked into the enterprise of PrJSC “ZERZ”.

## ЗМІСТ

	С
Скорочення та умовні позначки.....	8
Вступ.....	9
1 Загальний розділ.....	11
1.1 Підприємство ПрАТ "ЗЕРЗ" та види діяльності.....	11
1.2 Метрологічна служба підприємства ПрАТ "ЗЕРЗ".....	12
1.2.1 Структура відділу головного метролога.....	13
1.2.2 Основні завдання.....	14
1.2.3 Функції відділу.....	15
1.2.4 Права.....	15
1.2.5 Відповідальність.....	16
2 Магнітоелектричні вимірювальні прилади .....	17
2.1 Принцип дії магнітоелектричних приладів.....	17
2.2 Будова магнітоелектричних приладів.....	18
2.3 Метрологічні характеристики вольтамперметра М2038 та електрична схема приладу.....	20
3 Опис вимірювальних і випробувальних установок правила роботи з ними.....	23
3.1 Калібратор напруги ПЗ20.....	23
3.1.1 Призначення та технічні дані.....	23
3.1.2 Принцип дії калібратора ПЗ20.....	24
3.1.3 Порядок роботи з калібратором ПЗ20.....	25
3.2 Калібратор струму ПЗ21.....	26
3.2.1 Призначення та технічні дані.....	26
3.2.2 Принцип дії калібратора струму ПЗ21.....	27
3.2.3 Порядок роботи з калібратором струму ПЗ21.....	29

3.3 Установка пробивна універсальна УПУ-6.....	29
3.3.1 Призначення УПУ-6.....	29
3.3.2 Технічні характеристики.....	30
3.3.3 Работа пробивнонь установки.....	30
4 Розробка методики калібрування вольтамперметра М2038.....	32
4.1 Вимоги до кваліфікації персоналу.....	32
4.2 Обладнання та засоби калібрування.....	33
4.3 Умови калібрування.....	34
4.4 Підготовка до калібрування.....	35
4.5 Вимоги безпеки.....	36
4.6 Проведення калібрування.....	36
4.6.1 Зовнішній огляд.....	37
4.7 Прогрів аналогового ЗВТ.....	38
4.8 Опробування аналогового ЗВТ.....	38
4.9 Перевірка електричної міцності ізоляції та опору ізоляції.....	38
4.9.1 Перевірка електричної міцності ізоляції.....	39
4.9.2 Перевірка опору ізоляції.....	39
4.10 Визначемо точки калібрування для вольтамперметра М2038.....	39
4.11 Підключення та виконання вимірювань.....	40
4.12 Результати калібрування.....	42
4.12.1 Обчислення невизначеностей.....	42
4.13 Розрахунок похибки через невизначенн.....	43
4.13.1 Вихідні дані.....	43
4.13.2 Розрахунок похибки приладу для точки 50В.....	44
4.13.3 Розрахунок похибки приладу для точки 100В.....	46
4.13.4 Розрахунок похибки приладу для точки 150В.....	48
4.13.5 Розрахунок похибки приладу для точки 300В.....	50
4.13.6 Розрахунок похибки приладу для точки 5А.....	52
4.14 Регистрація у протоколі результатів калібрування.....	52
Висновки.....	54
Перелік джерел посилань.....	57
Додаток А.....	57
Додаток В.....	62

## СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

А – амперметри;

БАММ-1 – барометр-анероїд метрологічний;

В – вольти;

ВІТ-2 – гігрометр психрометричний;

ВЛ80 – серія магістральних локомотивів;

ВЛ – вимірювальний ланцюг;

ВМ – вимірювальний механізм;

ВП – відліковий пристрій;

Гц – герци;

ЗВТ – засоби вимірювальної техніки;

ЕРС – електро-рушійна сила;

ЕД – електротехнічна документація;

ЕМ – електрика та магнетизм;

КЛ – калібрувальна лабораторія;

мА – міліампери;

мВ – мілівольти;

МЗ – метрологічне забезпечення;

Моб – обертовий момент;

МС – метрологічна служба;

ОП – оператор;

ПЗ20 – калібратор програмуємий;

ПЗ21 – калібратор програмуємий;

УПУ-6 – установка пробойнаа універсальна;

$u_A$  – експериментальне стандартне відхилення;

ЧС – чехословацькі локомотиви;

Ф4102/1-1М – мегаомметр ;

У – вимірювальна величина.



## ВСТУП

Велике значення для сучасного розвитку в промисловості, техніці, науці, відіграє така наука як метрологія. Без метрологічних вимірювань неможливо уявити собі різні галузі промисловості та їх функціонування.

До цих галузей можна віднести авіаційну, будівельну, залізничну, машинобудівну та медичну.

Залізнична галузь є стратегічною та невідомою складовою економіки нашої держави. Усі виробники рухомого складу у світі при випуску своєї продукції використовують передові методи які підвищують точність та якість їхньої продукції. Якість вони досягають використанням у своєму виробництві точних вимірювальних приладів, станків з лазерною обробкою металу та станків ЧПУ з високою точністю обробки деталей.

Кожне підприємство яке входить до складу АТ «Укрзалізниця» у своєму складі має метрологічну службу яка здійснює контроль вимірювання та випробування обладнання. Метрологічний контроль здійснюється у таких напрямках як лінійно кутові виміри, електрика та магнетизм, хімічно-аналітичні вимірювання. Присутній також процес оброблення інформації .

Велику роль в забезпеченні достовірних вимірювань відіграють державні стандарти, методики вимірювання де йде опис методу вимірювання, технічні регламенти які вказують вимоги к приладам їх технічний стан та якість вироблення продукції згідно критеріїв відповідності та типу модулю який зазначений у технічному регламенті.

Щоб забезпечити єдність вимірювання та покращити якість виробляємої продукції треба дуже якісне метрологічне забезпечення в перелік цього забезпечення увійдуть:

- метрологічні норми та правила (стандарти номативні документи);
- розробка та застосування нових засобів вимірювання які покращують точність та якість виробляємої продукції;

- використання обладнання для перевірки з високою точністю;
- забезпеченням еталонами та приладами необхідними щоб полібщити якість виробляємої продукції;
- вдосконалення та розробка нових методів при випуску нової продукції.

Нормативною основою метрологічного забезпечення є державні стандарти та інші документи державної системи єдності вимірювання

Технічну основу МЗ становлять технічні засоби (еталони, робочі засоби вимірювань), призначені для відтворення, зберігання, передавання одиниць фізичних величин та виконання процедур порівняння з ними вимірюваних величин з метою отримання об'єктивної інформації про їхнє значення.

Організаційною основою МЗ є мережа організацій, на які покладено функції адміністративного забезпечення єдності вимірювань.

Всі ці галузі пов'язані складними інформаційно технічними зв'язками, метою яких є забезпечення єдності та достовірності вимірювальної інформації, яка створюється в суспільній діяльності.

Сьогодні процедури оцінювання якості вимагають все більше і більше об'єктивної інформації, про показники якості оцінюваної продукції. Основним джерелом об'єктивної інформації, яка використовується у всіх галузях МЗ, є технічна галузь. Тому очевидним є бажання до постійного вдосконалення технічних засобів вимірювальної техніки як основного стимулу розвитку інших галузей метрологічного забезпечення.

## 1 ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

### 1.1 Підприємство ПрАТ "ЗЕРЗ" та види діяльності

Приватне акціонерне товариство "Запорізький електровозоремонтний завод" є господарським товариством, за законодавством України, що діє відповідно до положень Цивільного кодексу України, Господарського кодексу України, Законів України "Про акціонерні товариства". [2, с.2]

Товариство утворене (засноване) відповідно до наказу Міністерства транспорту України від 23.04.2001 №237 шляхом перетворення державного підприємства "Запорізький електровозоремонтний завод" відповідно до Указу Президента України від 15.06.1993 №210/93 "Про корпоратизацію підприємств" та перейменоване на приватне акціонерне товариство "Запорізький електровозоремонтний завод" відповідно до Закону України "Про акціонерні товариства". [2, с.2]

Товариство є єдиним в Україні підприємством яке ремонтує, обслуговує, та проводить планові, капітальні ремонти локомотивів продляючи їх строк експлуатації.

Головним напрямком діяльності товариства є ремонт та обслуговування рухомого складу локомотивів серій:

- ЧС-7 – працюючих на постійному струмі;
- ЧС-4, ЧС-8, ВЛ-80К, ВЛ-80Т, ВЛ-80С – працюючих на змінному струмі;
- ВЛ-82М – працюючих на постійному та змінному струмі.

А також:

- заміну пластмасового кузова на металічний;
- заміну пластмасових кабін на металічні;
- заміну криш на нові.

## 1.2 Метрологічна служба підприємства ПрАТ "ЗЕРЗ"

Відділ головного метролога є самостійним структурним підрозділом ПрАТ "ЗЕРЗ", відноситься до основних технічних служб і підпорядковується безпосередньо директору з якості.

Відділ головного метролога реалізовує на рівні ПрАТ "ЗЕРЗ", функцію управління "метрологічне забезпечення". Роботи по забезпеченню єдності вимірювань відносяться до основних видів робіт.

Діяльність відділу головного метролога направлена на забезпечення єдності вимірювань і необхідної точності вимірювань, організацію обліку ЗВТ, визначення потреби виробничих підрозділів стандартами ЗВТ відповідно до заявочних форм і каталогів, забезпечення своєчасного ремонту і перевірки ЗВТ, виконання графіків державною і відомчою перевірки ЗВТ, метрологічне забезпечення проведення робіт в ПрАТ "ЗЕРЗ" по сертифікації продукції і системи якості. Відділ головного метролога здійснює свою діяльність на основі нормативних документів про відомчу Метрологічну службу (МС).

Державний нагляд за діяльністю відділу головного метролога здійснюють контролюючі органи ДП "Запоріжжястандартметрологія". Відділ головного метролога очолює головний метролог ПрАТ "ЗЕРЗ". Головний метролог призначається на посаду і звільняється від посади у встановленому законодавством порядку.

Головний метролог повинен мати вищу технічну освіту та стаж роботи за спеціальністю інженерно-технічних та керівних посад з метрологічного забезпечення не менше 5 років.

Головний метролог повинен знати: законодавчі та нормативно-правові акти; методичні матеріали підлог методичному забезпеченню виробництва: профіль, спеціалізацію та особливості організаційно-технологічної структури підприємства, перспективи його розвитку, порядок та методи планування роботи з метрологічного контролю та забезпечення виробництва, виробничі

потужності, технічні характеристики, конструктивні особливості та режими роботи обладнання, правила експлуатації, основи технології виробництва продукції підприємства; положення, інструкції та інші керівні матеріали щодо розробки та оформлення технічної документації, улаштування та правила експлуатації засобів вимірювань, організації їх ремонту; основи економіки, організації виробництва; праці та управління, вимоги нормативної документації системи менеджменту якості.

За тимчасової відсутності головного метролога (відрадження, відпустка, хвороба) виконання його обов'язків покладається відповідним розпорядчим документом на особу, яка його замінює. Згідно розпорядження за забезпеченням єдності вимірювань призначають відповідального який має право:

Вносити пропозиції про припинення робіт, які виконуються з порушенням метрологічних вимог, а також про необхідність вжиття заходів до осіб, що допустили ці порушення. Вилучати з експлуатації засоби вимірювальної техніки, засоби допускового контролю та виробниче обладнання що не відповідають метрологічним вимогам.

Залучати інших працівників підрозділу щодо забезпечення єдності вимірювань.

### 1.2.1 Структура відділу головного метролога.

До відділу головного метролога належать:

- лабораторія організації метрологічного забезпечення електро-теплотехнічних вимірювань;
- лабораторія лінійно-кутових вимірів;
- лабораторія з ремонту КВП;
- група організаційно метрологічного забезпечення;

– група організації електро-теплотехнічних та механічних вимірів.

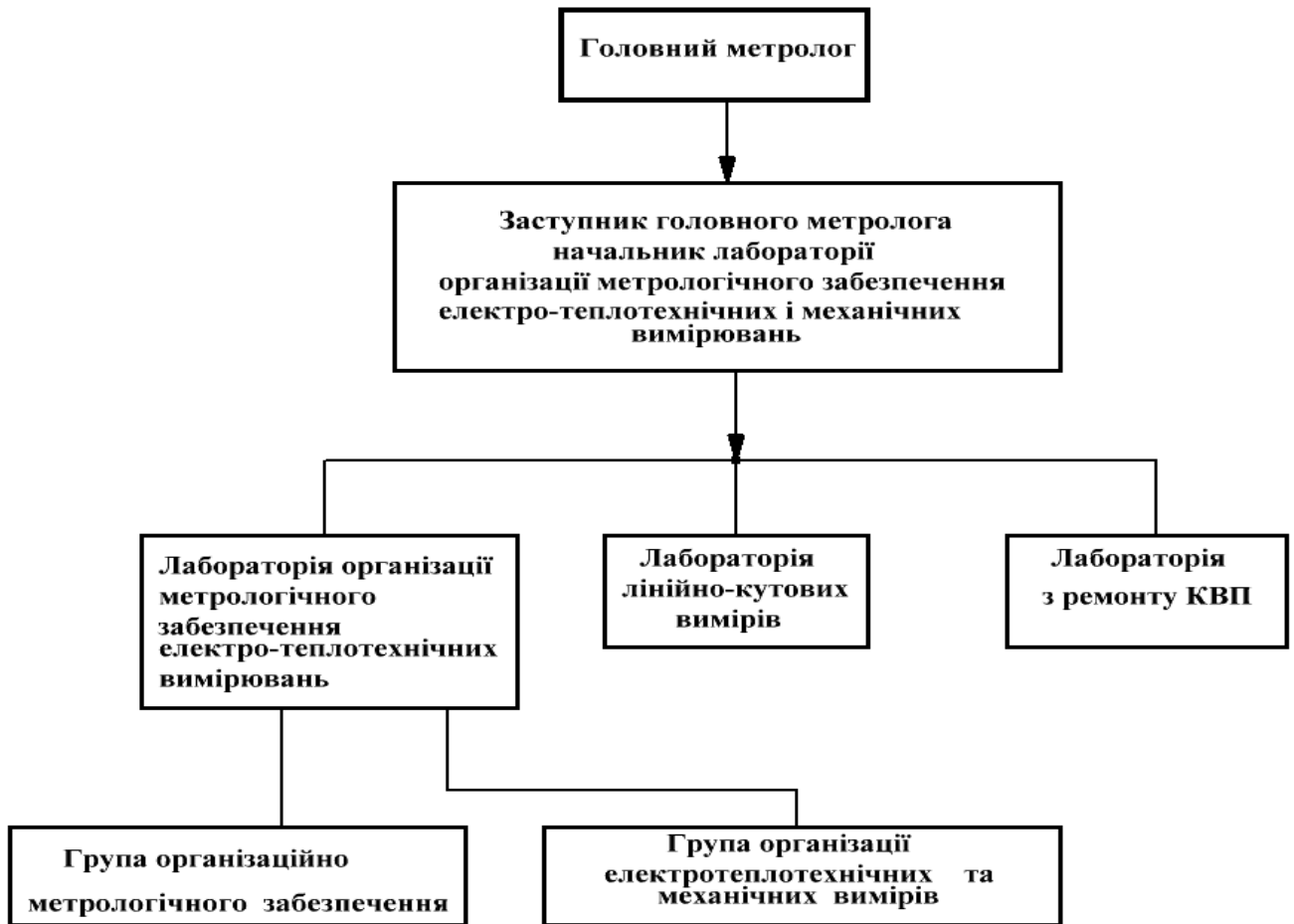


Рисунок 1.1 - Структура відділу головного метролога.

### 1.2.2 Основні завдання

1. Керівництво процесом «Метрологічного забезпечення виробництва».
2. Забезпечення єдності та необхідної точності вимірювань, підвищення рівня метрологічного забезпечення виробництва.
3. Організація та проведення калібрування та ремонту засобів вимірювання, що знаходяться в експлуатації, організація своєчасного подання засобів вимірювань на перевірку.
4. Участь у проведенні метрологічної атестації методик виконання вимірювань, в атестації засобів випробувань та контролю.

5. Участь у проведенні робіт з метрологічного забезпечення випробувань та сертифікації продукції.

6. Здійснення організаційно - технічних заходів, що сприяють підвищенню якості продукції, підвищенню ефективності виробництва шляхом впровадження сучасних та прогресивних методів та засобів вимірювань, забезпечення постійної готовності технічних засобів для виробництва вимірювань.

### 1.2.3 Функції відділу

Головний метролог забезпечує:

1. Проведення систематичного аналізу стану вимірювань, контролю та випробувань на всіх стадіях розробки, виробництва та експлуатації.
2. Участь у розробці засобів та методів вимірювань та їх впровадження;
3. Участь в атестації засобів випробування та контролю.
4. Зберігання та підтримка на належному рівні еталонів для відтворення одиниць величин.

### 1.2.4 Права

Головний метролог має право:

1. Видавати структурним підрозділам ПрАТ "ЗЕРЗ" обов'язкові розпорядження, спрямовані на запобігання, припинення або усунення порушень метрологічних правил та норм.
2. Вносити пропозиції керівництву ПрАТ "ЗЕРЗ" про відміну нормативних документів, наказів, розпоряджень та вказівок у галузі метрологічного

забезпечення, що суперечать чинному законодавству, метрологічних правил і норм.

3. Вносити пропозиції керівництву ПрАТ "ЗЕРЗ" щодо укладення договорів про оренду унікальних засобів вимірювань та випробувального обладнання для калібрування та інших метрологічних робіт, а також договорів про залучення фахівців до проведення метрологічної експертизи документації та метрологічної атестації методик виконання вимірювань.

4. Отримувати від структурних підрозділів ПрАТ "ЗЕРЗ, що піддаються контролю, матеріали, необхідні для проведення перевірок у порядку здійснення метрологічного контролю та нагляду.

#### 1.2.5 Відповідальність

Головний метролог несе відповідальність за:

– якість та своєчасність виконання завдань та функції, покладених на відділ цим Положенням;

– незадовільну організацію системи метрологічного забезпечення виробництва;

– несвоєчасне розроблення та узгодження графіків перевірки та калібрування ЗВТ.



## 2 МАГНІТОЕЛЕКТРИЧНІ ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ

### 2.1 Принцип дії магнітоелектричних приладів

Магнітоелектричні прилади є найбільш застосованими аналоговими електровимірювальними приладами на підприємстві ПрАТ «ЗЕРЗ». Приладам такого виконання властива висока чутливість, великий діапазон вимірювання, відносно малі габарити. Перевагою цих приладів є те що вони можуть застосовуватися як самостійно так і вбудовано в більш складні системи з розширеними параметрами вимірювань. Прилади з такою системою застосовуються в ланцюгах постійного струму для вимірювання таких параметрів як стум та напруга.

Принцип дії магнітоелектричного приладу заснований на взаємодії провідника зі струмом і магнітним полем. На шкалі приладу рисунок 2.1 є позначення типу заглавна буква якого вказує до якої системи він відноситься, також на шкалі зазначається метрологічні параметри напруга чи струм, вказується під яким кутом встановлюється прилад наводиться, похибка вимірювання та випробувальна напруга на яку випробовували прилад.

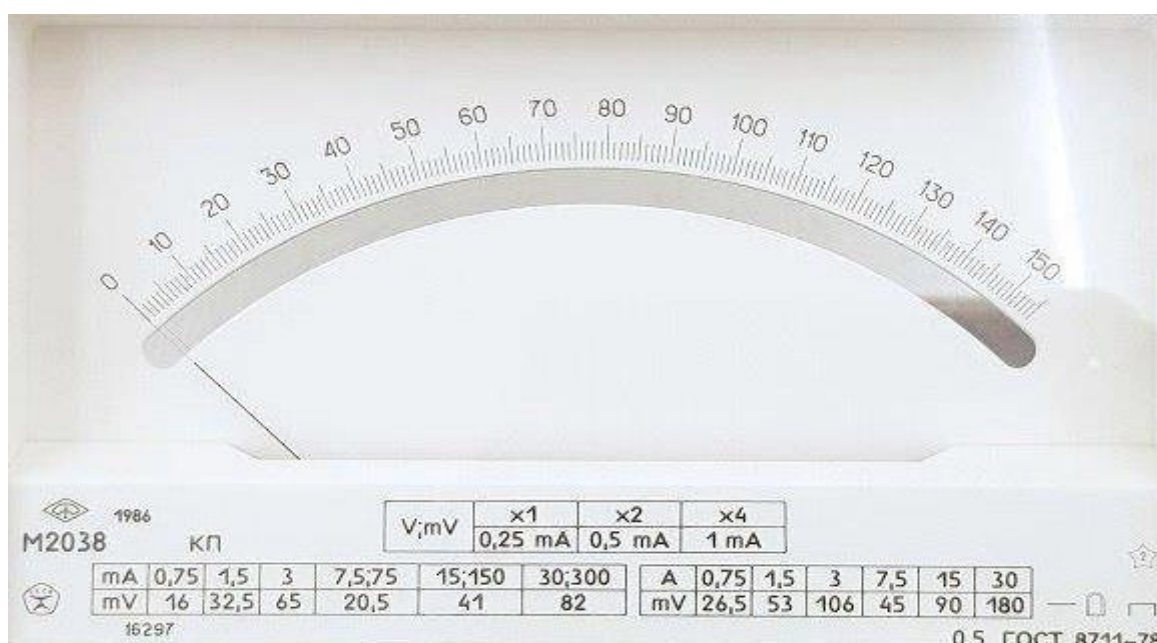


Рисунок 2.1 – Шкала приладу вольтамперметра М2038

## 2.2 Будова магнітоелектричних приладів

Будову магнітоелектричного вимірювального механізму ілюструє рис.2. Рухомою частиною є котушка 2, яка складається із легкого прямокутного алюмінієвого каркасу, на якому намотано обмотку з мідного або алюмінієвого ізоляованого дроту ( $d = 0,02-0,2$  мм). Котушка закріплена на кернях і розташована у вузькому проміжку 5 між магнітопроводом 3 з полюсними наконечниками і осердям 4. Магнітне поле створюється постійним магнітом 1: силові лінії магнітного поля, замикаючись через полюсні наконечники і осердя, проходять у повітряному проміжку 5 у радіальному напрямку, створюючи у проміжку радіально напрямлене поле. Постійний магніт виготовляють з високоякісних нікель-алюмінійкобальтових сталей з великою питомою магнітною енергією, що дозволяє отримати у проміжку магнітну індукцію  $0,2-0,3$  Тл. Інші частини магнітопроводу виготовляються з магнітом'яких сталей. [16, с.28]

Вимірюваний струм підводиться до рамки 2 через дві пружинки, виготовлені із фосфористої бронзи (немагнітний матеріал), які водночас служать для створення протидіючого моменту  $M_{np}$  і які повертають стрілку 7 у нульове положення за відсутності струму в рамці. На осі 8 рамки жорстко закріплена стрілка, яка переміщується над шкалою. Для зрівноваження рухомої частини служать тягарці 6. Цифрою 9 позначений коректор. [16, с.28]

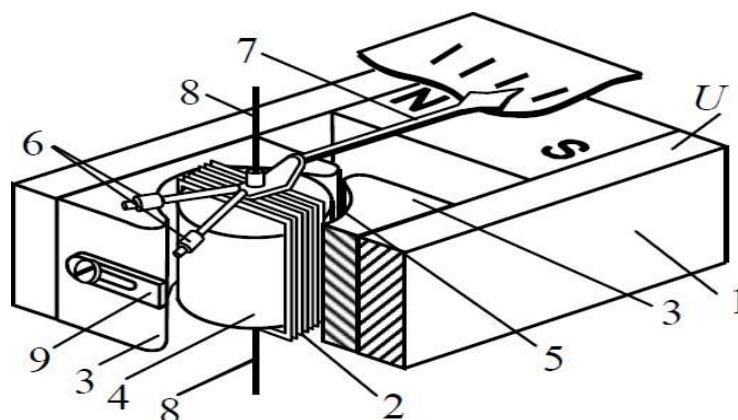


Рисунок 2.2 – Система магніто-вимірювального приладу

Обертальний момент, що діє на рамку з струмом у магнітному полі

$$M_{об} = B \cdot S \cdot n \cdot I, \quad (2.1)$$

де  $B$  – індукція магнітного поля,  $S$  – площа,  $n$  – кількість витків котушки,  $I$  – струм у колі. Оскільки протидіючий момент створюється пружинками, то можна скористатися формулою (2.2) і для режиму встановленого відхилення написати:

$$B \cdot S \cdot n \cdot I = w \cdot a, \quad (2.2)$$

Звідси

$$\alpha = B \cdot I \cdot S_n / w \cdot a, \quad (2.3)$$

Останній вираз є рівнянням шкали приладів магнітоелектричної системи, тобто залежністю кута повороту рухомої частини приладу від вимірюваної величини струму  $I$ .

Із виразу видно, що відхилення рухомої частини зростає лінійно із збільшенням струму у рамці. Отже, шкала приладів магнітоелектричної системи лінійна (рівномірна). У магнітоелектричному вимірювальному механізмі використовується заспокоювач магнітоіндукційного типу. Спеціального пристрою для цього не потрібно, оскільки при русі рухомої частини змінюється магнітний потік, який пронизує каркас (рис. 8), і у ньому наводиться ЕРС. Ця ЕРС викликає появу в каркасі струм  $I_c$ , взаємодія якого з полем магніту створює гальмівну силу, яка забезпечує швидке заспокоєння.

Перевагами магнітоелектричних вимірювальних механізмів є: висока чутливість (ВМ має значне власне магнітне поле, тому навіть при малих струмах створюється достатній обертальний момент); велика точність (найвищий клас точності 0,05); мала власна споживана потужність; малий вплив зовнішніх магнітних полів завдяки сильному власному магнітному полю; пряма пропорційність між струмом в обмотці рамки і кутом відхилення.

## 2.3 Метрологічні характеристики вольтамперметра М2038 та електрична схема приладу

Вольтамперметр лабораторний М2038 призначений для виміру струму і напруги в ланцюгах постійного струму. Межа допустимої основної похибки на всіх діапазонах вимірів дорівнює  $\pm 0,5\%$ . [5, с.2]

Лабораторний вольтамперметр М2038 призначений для вимірювання струму та напругу в ланцюгах постійного струму. Вольтамперметри М2038 призначені для роботи при температурі оточуючого середовища від  $+10$  до  $+35$  °С та відносній вологості до 80% при температурі  $+25$ °

### Технічні данні вольтамперметра М2038:

- межа допустимої загальної похибки на всіх діапазонах вимірів дорівнює  $\pm 0,5\%$ ;
- граничне значення діапазонів вимірів, падіння напруги, струм повного відхилення наведені, в таблиці;
- граничне значення діапазонів вимірів, падіння напруги, струм повного відхилення наведені, в таблиці;
- час встановлення показів — не більше 4 с;
- випробувальна напруга ізоляції — 2 кВ.



Рисунок 2.3 – Вольтамперметр М2038

Таблиця 2.1 – Граничні значення діапазонів вимірювання

Граничне значення діапазона вимірів				Вимірювання діапазонів вимірів			Падіння напруги	Струм повного відхилення, мА
				Розташування перемикача кратності	Положення перемикача діапазонів вимірів	зажим	мВ, не більше	
мА	А	мВ	В					
0,75мА	-	-	-	X1			20	-
1,5мА	-	-	-	X2	0,75 мА	-	40	-
3мА	-	-	-	X4			80	-
7,5мА	-	-	-	X1			25	-
15мА	-	-	-	X2	7,5 мА	-	50	-
30мА	-	-	-	X4			100	-
75мА	-	-	-	X1			25	-
150мА	-	-	-	X2	75 мА	-	50	-
300мА	-	-	-	X4			100	-
750мА	-	-	-	X1			30	-
1500мА	-	-	-	X2	750 мА	-	60	-
3000мА	-	-	-	X4			120	-
-	7,5 А	-	-	X1			75	-
-	15А	-	-	X2	-	7,5 А	150	-
-	30А	-	-	X4			300	-
-	-	15мВ	-	X1			-	0,25
-	-	30мВ	-	X2	-	15 мВ	-	0,5
-	-	60мВ	-	X4			-	1
-	-	300мВ	-	X4			-	1
-	-	-	0,75В	X1			-	0,25
-	-	-	1,5В	X2	0,75 В	-	-	0,5
-	-	-	3В	X4			-	1
-	-	-	7,5В	X1			-	0,25
-	-	-	15В	X2	7,5 В	-	-	0,5
-	-	-	30В	X4			-	1
-	-	-	75В	X1			-	0,25
-	-	-	150В	X2	75 В	-	-	0,5
-	-	-	300В	X4			-	1
-	-	-	150В	X1			-	0,25
-	-	-	300В	X2	150 В	-	-	0,5
-	-	-	600В	X4			-	1

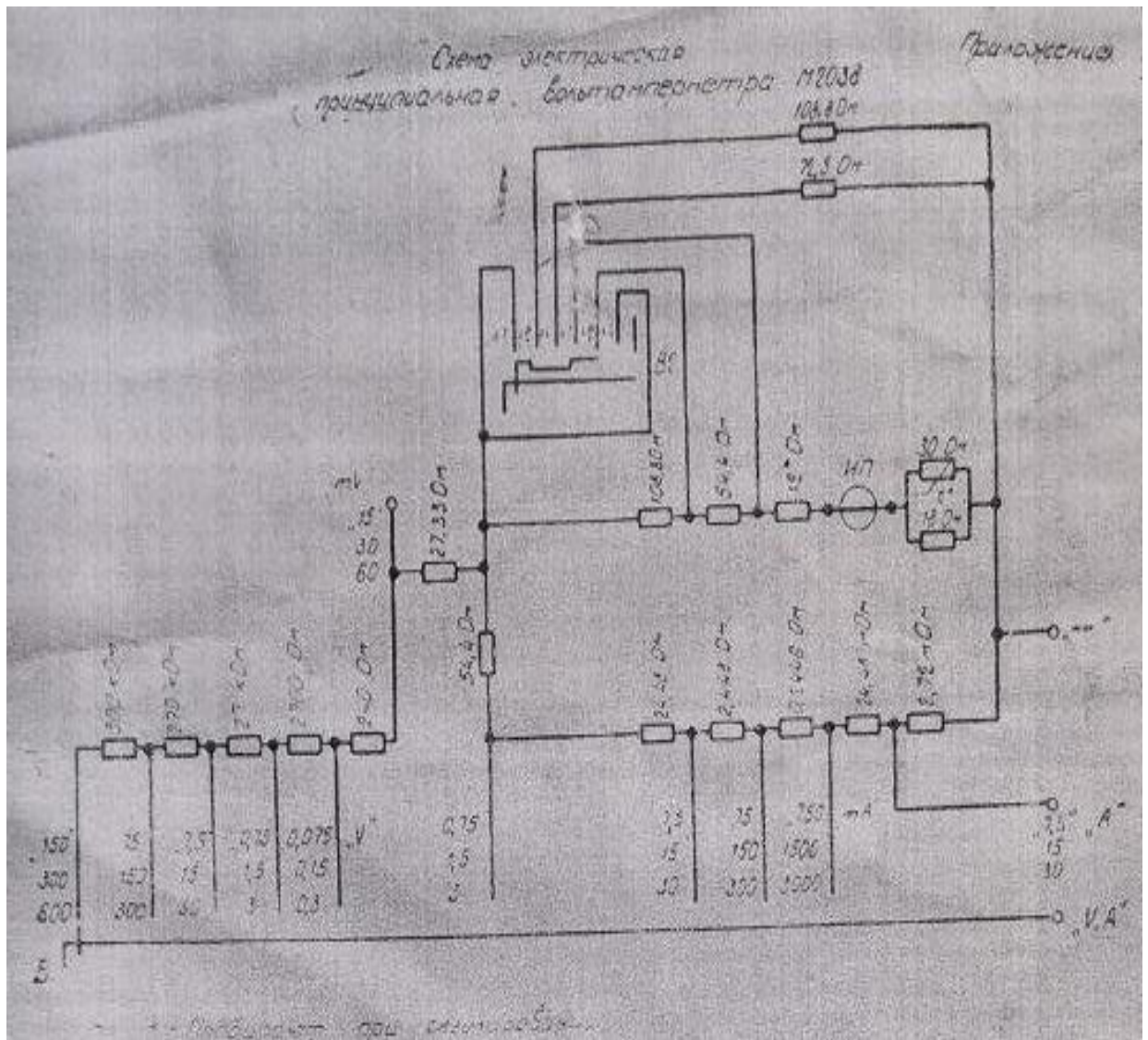


Рисунок 2.4 – Схема электрична принципова вольтамперметра М2038.

## 3 ОПИС ВИМІРЮВАЛЬНИХ ТА ВИПРОБУВАЛЬНИХ УСТАНОВОК, ПРАВИЛА ТА ПОРЯДОК РОБОТИ З НИМИ

### 3.1 Калібратор напруги ПЗ20

#### 3.1.1 Призначення та технічні дані

Калібратор програмуємий типу ПЗ20 являє собою прецезійне джерело калібрувальних напруг та струмів з ручним та програмованим керуванням та призначений для застосування в автоматичних повірочних установках, а також як самостійний прилад для повірки та калібрування аналогових та цифрових приладів на постійному струмі

Можливість дистанційного – ручного та програмного – керування дозволяє використовувати калібратор в автоматизованих вимірювальних системах та та повірочних пристроях.

Живлення калібратора здійснюється від мережізмінного струму напругою 220В з частотою 50Гц.

Калібратор забезпечує при місцевому та програмному забезпеченні:

– видачу каліброваних напруг в діапазоні від  $10^{-5}$  до  $10^3$  В (режим калібрування напруг, КН);

– видачу каліброваних струмів у діапазоні від  $10^{-9}$  до  $10^{-1}$  (режим калібрування струмів, КТ);

Відключення виходу калібратору забезпечується по команді “сброс”, а його запуск по команді “пуск” у відповідності з таблицею 3.1.

Таблиця 3.1 – Команди сигналу калібратора

Найменування команди сигналу	Контакт роз'єму
ПУСК – установка калібратору в робоче положення	А
СБРОС – сброс напруги з вихідних клем калібратора	П

Межі допустимих загальних похибок каліброваних напруг та струмів, а також межі допустимих похибок відносного значення каліброваних напруг та струмів після встановлення нуля та калібрування відповідають наведеним у таблиці 3.2

Таблиця 3.2 – Межі допустимих загальних похибок каліброваних напруг та струмів

Межі каліброваних напруг(струмів)	Межі похибок відносного значення каліброваних напруг(струмів)	Межі допустимої загальної похибки каліброваних напруг
100 mV	$\pm(0,04 \cdot U_k + 10) \mu V$	$\pm(0,05 \cdot U_k + 10) \mu V$
1V	$\pm(20 \cdot U_k + 10) \mu V$	$\pm(30 \cdot U_k + 10) \mu V$
10V	$\pm(10 \cdot U_k + 40) \mu V$	$\pm(20 \cdot U_k + 40) \mu V$
100V	$\pm(30 \cdot U_k + 500) \mu V$	$\pm(40 \cdot U_k + 500) \mu V$
1000V	—	—
До 600V	$\pm(0,03 \cdot U_k + 5) mV$	$\pm(0,04 \cdot U_k + 5) \mu V$
Вище 600V	$\pm(0,04 \cdot U_k + 5) mV$	$\pm(0,05 \cdot U_k + 5) mV$
1mA	$\pm(0,02 \cdot I_k + 0,01) \mu A$	$\pm(0,06 \cdot I_k + 0,01) \mu A$
10mA	$\pm(0,05 \cdot I_k + 0,1) \mu A$	$\pm(0,1 \cdot I_k + 0,1) \mu A$
100mA	$\pm(0,05 \cdot I_k + 1) \mu A$	$\pm(0,1 \cdot I_k + 1) \mu A$

### 3.1.2 Принцип дії калібратора ПЗ20

Спрощена структурна схема калібратора наведена на рисунку 3.1. Джерело каліброваних напруг виконано за схемою компенсаційного стабілізатора з неперервним регулюванням.

Вихідна стабілізована напруга  $U_k$  надходить на вихідні зажими калібратора. Ця ж напруга подається на вход підсилювача (УПТ), де він зрівнюється з опорною напругою  $U_{on}$ .

Різниця вихідної та опорної напруги підсилюється підсилювачем та пода-





– декадним перимикачем РІВЕНЬ ОБМЕЖЕННЯ (“0”– “9”) виконується обмеження рівня вихідної напруги в залежності від встановленого значення першої декади перемикача ВСТАНОВЛЕННЯ U або відповідно набору значень другої та слідуєчих декад перемикачів ВСТАНОВЛЕННЯ.

– допускається спільна робота декадних та діапазоних перемикачів  
РІВЕНЬ ОБМЕЖЕННЯ

– нажимаємо кнопку ПУСК.

– встановлюємо декадним перимикачем вимагаємо значення напруги чи струму;

– після закінчення роботи виконаймо такі операції: встановимо дека-перемикачі в нульове положення, нажмемо кнопку СБРОС, вимкнемо тумблер МЕРЕЖА або при необхідності переведемо перемикач меж в нужне положення

## 3.2 Калібратор струму ПЗ21

### 3.2.1 Призначення та технічні дані

Калібратор струму програмуємий типу ПЗ21 являє собою прецезійне джерело калібрувальних струмів та напруг з ручним та програмованим керуванням та призначений для застосування в автоматичних повірочних установках, а також як самостійний прилад для повірки та калібрування аналогових та цифрових приладів на постійному струмі.

Калібратор живиться від мережізмінного струму напругою 220В з частотою 50Гц.

Калібратор забезпечує калібрування струмів в діапазоні від  $10^{-9}$  до 10А з кінцевим значеннями 10,100А. В режимі КТ перевірка здійснюється на діапазонах 1,10,100mA .На великих діапазонах перевірка здійснюється на 1А та 10А.

В режимі КН калібровану напругу можна вимірювати в діапазоні від  $10^{-5}$  до  $10V$  з кінцевими значеннями 1 та  $10V$ .

Межі допустимих загальних похибок каліброваних струмів та напруг, а також межі допустимих похибок відносного значення каліброваних струмів та напруг після встановлення нуля та калібрування відповідають наведеним у таблиці 3.3

Таблиця 3.3– Межі допустимих загальних похибок каліброваних напруг та струмів

Межі каліброваних напруг(струмів)	Межі похибок відносного значення каліброваних напруг(струмів)	Межі допустимої загальної похибки каліброваних напруг
10 $\mu A$	$\pm(0,1 \cdot I_{kaa} + 1) nA$	$\pm[10 \cdot I_k (0,01 + \gamma_{ne} + \gamma_{RN}) + 2] nA$
100 $\mu A$	$\pm(0,05 \cdot I_{kaa} + 1) nA$	$\pm[10 \cdot I_k (0,005 + \gamma_{ne} + \gamma_{RN}) + 1] nA$
1mA	$\pm(0,05 \cdot I_{kaa} + 0,01) \mu A$	$\pm[10 \cdot I_k (0,005 + \gamma_{ne} + \gamma_{RN}) + 0,01] \mu A$
10mA	$\pm(0,05 \cdot I_{kaa} + 0,1) \mu A$	$\pm[10 \cdot I_k (0,005 + \gamma_{ne} + \gamma_{RN}) + 0,01] \mu A$
100mA	$\pm(0,05 \cdot I_{kaa} + 1) \mu A$	$\pm[10 \cdot I_k (0,005 + \gamma_{ne} + \gamma_{RN}) + 1] \mu A$
1A	$\pm(0,1 \cdot U_k + 0,05) mA$	$\pm[10 \cdot I_k (0,01 + \gamma_{ne} + \gamma_{RN}) + 0,05] mA$
10A	$\pm(0,1 \cdot U_k + 0,5) mA$	$\pm[10 \cdot I_k (0,01 + \gamma_{ne} + \gamma_{RN}) + 0,5] mA$
1V	$\pm(30 \cdot U_k + 10) \mu V$	$\pm[30 \cdot U_k (0,01 + \gamma_{ne} \cdot U_k \cdot 10^4 + 10) \mu V$
10V	$\pm(20 \cdot U_k + 50) \mu V$	$\pm[20 \cdot U_k (0,01 + \gamma_{ne} \cdot U_k \cdot 10^4 + 50) \mu V$

### 3.2.2 Принцип дії калібратора струму ПЗ21

Калібратор уявляє собою прецизійне джерело живлення каліброваних струмів та напруг. Схема калібратора наведена на рисунку 3.2

Джерело калібрувальних струмів виконано за схемою компенсаційного стабілізатора з неперервним регулюванням.

Стабілізований струм  $I_k$  проходить через навантаження  $R_H$  та вимірювальний резистор  $R_{ш}$ . Підсилювач УПТ зрівнює напруги на резисторі  $R_{ш}$  та опорне навантаження  $U_{оп}$  та, впливаючи на регулюючий резистор  $VT1$ , забезпечує регулювання вихідного струму.

Для забезпечення потужності в діапазоні струмів від 1 до 10А необхідний блок живлення (БП), схема якого утворює додатковий контур регулювання струму, керований сигналом, знімаємим з датчика загальної схеми регулювання.

схема калібратора розділена на 2 загальні функціональні частини: джерело КТ (КН) та схему керування.

Загальними функціональними частинами схеми джерела КТ та КН є: керований ІОН з вихідним  $R_C$  – фільтром (БЕ), УПТ, БУ, ПР, джерело живлення, прецезійне резистори – деталі напруги та шунти.

Схема керування включає в себе: 2 плати ДИ, ПУ, БИК, БПЦ.

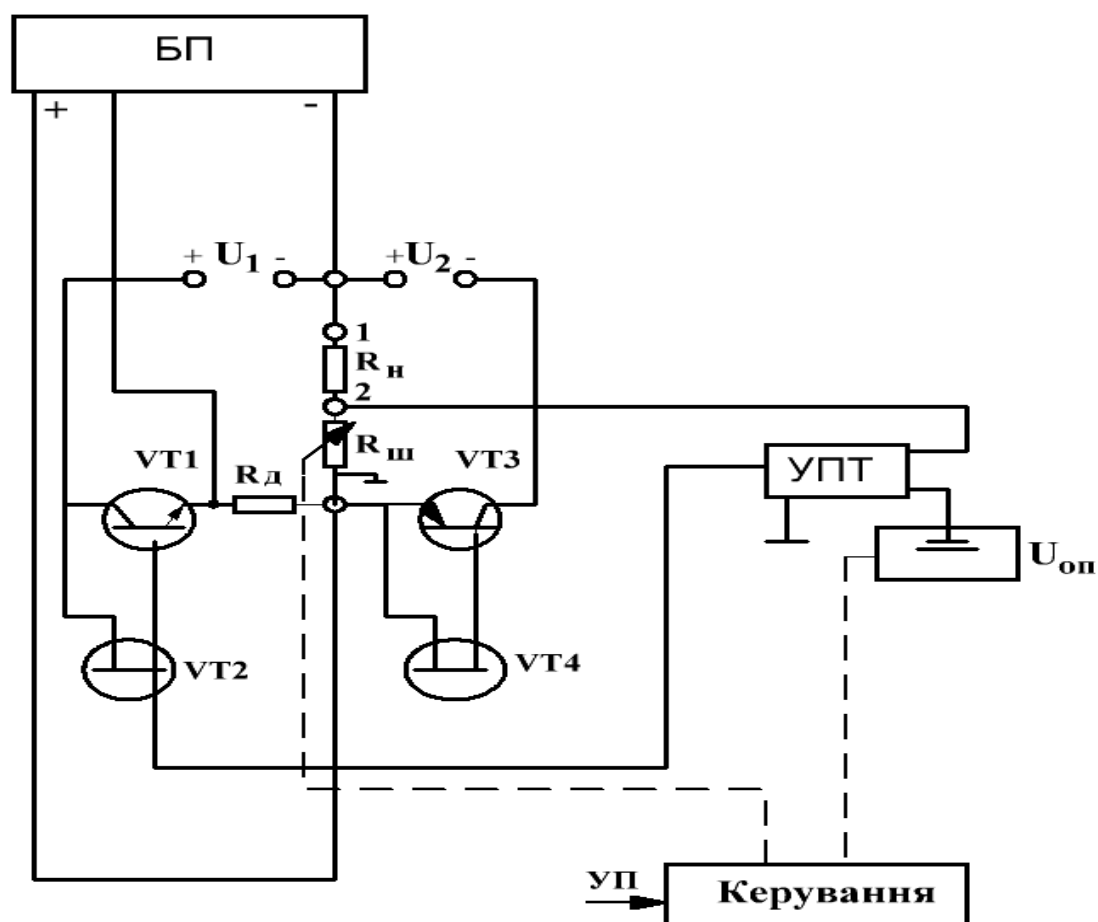


Рисунок 3.2 – Структурна схема калібратора струму П321

### 3.2.3 Порядок роботи з калібратором струму ПЗ21

Перш ніж працювати з калібратором вивчаємо технічний опис на нього.

– заземлюємо калібратор для чого з'єднуємо зажим заземлення установки з контуром заземлення

– встановлюємо декадні перемикачі в нульове положення;

– декадними перемикачами встановлюємо вимагаєме значення струму чи напруги;

– нажимаємо кнопку ПУСК.

– після закінчення роботи виконаймо такі операції: встановимо дека-перемикачі в нульове положення, нажмемо кнопку СБРОС, вимкнемо тумблер МЕРЕЖА або при необхідності переведимо перемикач меж в нужне положення;

– встановлюємо декадні перемикачі в нульове положення

## 3.3 Установа пробивна універсальна УПУ-6

### 3.3.1 Призначення УПУ-6

Установа пробивна універсальна УПУ-6 призначена для випробування ізоляції обладнання електротехнічного переміною синусоїдальною напругою частотою 50 Гц та випрямленою напругою негативною полярністю, регулюємим в межах 0 - 6кВ.

З успіхом може застосовуватися для випробування корпусної ізоляції вимірювальних приладів на зазначену напругу вказану згідно технічних умов на прилад да паспорту заводу виробника.

### 3.3.2 Технічні характеристики

- межі встановлення вихідної напруги – 1; 3; 6 кВ;
- приведена відносна похибка установки при вимірах вихідної напруги становить не більше – 3%;
- максимальний вихідний струм – 100мА;
- наведена відносна похибка виміру струму становить не більше – 3%;
- поріг спрацьовування струмового захисту становить –  $120 \pm 5$ мА;
- споживча потужність – 650 В,А .

### 3.3.3 Работа пробивної установки

Живлення напруги від мережі підводиться до мережевого кабелю. Далі через автомати QS1 напруга подається на схему установки.

Вмикання випробувальної напруги виконується натисканням кнопки S2 ПУСК, при умові, що щітка регулятора напруги TV2 знаходиться в нульовому положенні. Пускач K1 спрацьовує та живлення подається на схему приладу. При цьому загоряється сигнальна лампа HL1, розташована над кнопкою S2 ПУСК. Натисканням кнопки «ВМИК» (S6-S8) відповідного сектора (1кВ, 3кВ, 6кВ) обирається необхідна межа випробувальної напруги.

Величина випробувальної напруги встановлюється за допомогою ручки «Регулятор напруги», а контролюється за цифровим вимірювачем «Вимірювання напруги, кВ» PV1. Ток нагрзуки вимірюється вимірювачем «Вимірювання струму, мА» PA1.

На рисунку 3.3 Зображена ліцева панель універсальної пробивної установки УПУ-6, з розташуванням елементів на ньому. На передній панелі розташовані вимірювальні прилади кіловольтметр та міліамперметр, регулятор нава-

таження, режим перимикання напруги (постійна змінна), кнопка «ПУСКУ», кнопка «СТОП».

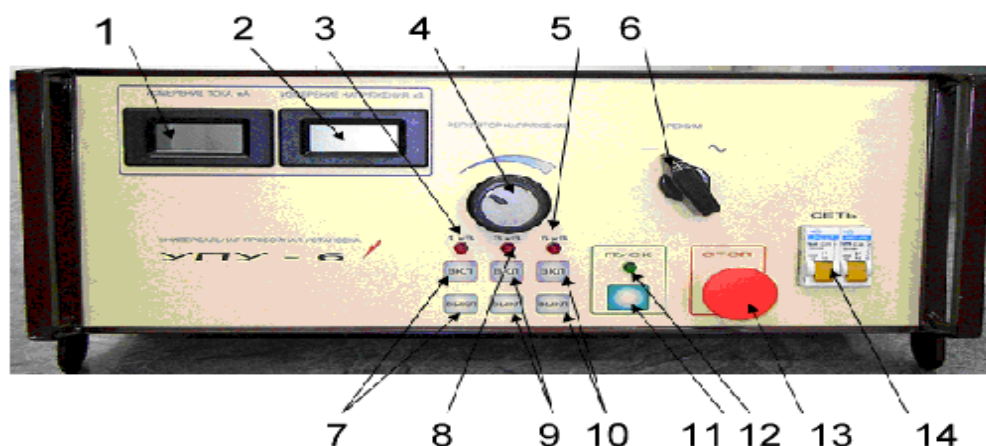
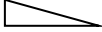


Рисунок 3.3 – Зображена ліцева панель універсальної пробивної установки УПУ-6.

Таблиця 3.4 – Переліку елементів ліцевої панелі.

№	Перелік елементів на ліцевої панелі	Маркування
1	Вимірювальний прилад «Вимірювання струму, мА»	—
2	Вимірювальний прилад «Вимірювання напруги, кВ»	—
3	Сигнальна лампочка HL2 сектора «1кВ»	—
4	Ручка регулятора напруги	
5	Сигнальна лампочка HL4 сектора «6кВ»	«кВ», «6»
6	Перемикач режиму роботи «~» / «-»	«РЕЖИМ», «=», «~»
7	Кнопки вмикання та вимикання сектора «1кВ»	«кВ», «1»,
8	Сигнальна лампочка HL3 сектора «3кВ»	
9	Кнопки вмикання та вимикання сектора «3кВ»	«кВ», «3»
10	Кнопки вмикання та вимикання сектора «6кВ»	«кВ», «6»
11	Кнопка «ПУСК»	—
12	Сигнальна лампочка HL1 «ПУСК»	«МЕРЕЖА»
13	Кнопка «СТОП»	—
14	Мережеві автомати	«ВМК» – «ВИМК»

## 4 РОЗРОБКА МЕТОДИКИ КАЛІБРУВАННЯ ВОЛЬТАМПЕРМЕТРА M2038

Данна методика поширюється на процедуру калібрування аналогових вольтамперметрів M2038 постійного струму частотою 50Гц з використанням багатофункціональних калібраторів, у таких діапазонах вимірювання величин:

- напруга постійного струму – від 15 мВ до 600В;
- постійний струм – від 0,75 мА до 30 А.

Метод (принцип) вимірювання: прямі виміри.

Найкращі вимірювальні можливості калібрувальної лабораторії (КЛ) при проведенні калібрування засобів вимірювальної техніки за цією методикою відповідно до сфери акредитації КЛ наведені в таблиці 5.1:

Таблиця 4.1– Калібрувальні характеристики лабораторії

Устаткування (об'єкт калібрування)	Назва вимірюваної величини	Діапазон вимірювання	Розширена невизначеність вимірювань $U$ ( $k=2$ )
Амперметри	Сила струму постійного	$(1 \cdot 10^{-9} - 30)A$	$(1,4 \cdot 10^{-10} - 4,4 \cdot 10^{-3})A$
Вольтметри	Напруга постійного струму	$(1 \cdot 10^{-5} - 1 \cdot 10^3)V$	$(6 \cdot 10^{-7} - 3,5 \cdot 10^{-3})V$

### 4.1 Вимоги до кваліфікації персоналу

Персонал, який проводить калібрування за цією методикою, відповідно до вимог ДСТУ ISO/IEC 17025 повинен бути компетентний, атестований на право виконання калібрування за видом вимірювань ЕМ (електрика та магнетизм) та уповноважений керівником КЛ на проведення калібрування, складання



протоколів та сертифікатів калібрування, готування думок та тлумачень, надання звітів щодо відповідності обладнання встановленим вимогам та керування устаткуванням конкретних типів згідно з цією методикою.

Увесь персонал лабораторії, як внутрішній, так і зовнішній, який може впливати на лабораторну діяльність, має діяти неупереджено, бути компетентним та працювати відповідно до системи менеджменту лабораторії. [13, с.4]

#### 4.2 Обладнання та засоби калібрування

При проведенні калібрування необхідно використовувати еталони з метрологічними характеристиками, наведеними у таблиці 5.2, або аналогічні.

Таблиці 4.2 – Метрологічні характеристики калібраторів П320 та П321

Назва еталону	Межі калібрувальних напруг (струмів)	Межі допустимої основної похибки каліброваних напруг (струмів)
Багатофункціональний калібратор напруги П320	100 мВ	$\pm(0,05 \cdot U_k + 10) \mu V$
	1 В	$\pm(30 \cdot U_k + 10) \mu V$
	10 В	$\pm(20 \cdot U_k + 40) \mu V$
	100 В	$\pm(40 \cdot U_k + 500) \mu V$
	до 600 В	$\pm(0,04 \cdot U_k + 5) \mu V$
	от 600 В до 1000 В	$\pm(0,05 \cdot U_k + 5) mV$
	1 мА	$\pm(0,06 \cdot I_k + 0,01) \mu A$
	10 мА	$\pm(0,1 \cdot I_k + 0,1) \mu A$
	100 мА	$\pm(0,1 \cdot I_k + 1) \mu A$
Багатофункціональний калібратор струму П321	10 мкА	$\pm[10 \cdot I_k (0,01 + \gamma_{не} + \gamma_{RN}) + 2] nA$
	100 мкА	$\pm[10 \cdot I_k (0,005 + \gamma_{не} + \gamma_{RN}) + 1] nA$
	1 мА	$\pm[10 \cdot I_k (0,005 + \gamma_{не} + \gamma_{RN}) + 0,01] \mu A$
	10 мА	$\pm[10 \cdot I_k (0,005 + \gamma_{не} + \gamma_{RN}) + 0,01] \mu A$
	100 мА	$\pm[10 \cdot I_k (0,005 + \gamma_{не} + \gamma_{RN}) + 1] \mu A$
	1 А	$\pm[10 \cdot I_k (0,01 + \gamma_{не} + \gamma_{RN}) + 0,05] mA$
	10 А	$\pm[10 \cdot I_k (0,01 + \gamma_{не} + \gamma_{RN}) + 0,5] mA$
1 В	$\pm[30 \cdot U_k (0,01 + \gamma_{не} \cdot U_k \cdot 10^4 + 10) \mu V$	

Метрологічні характеристики допоміжних ЗВТ, які використовуються при калібруванні наведені у таблиці 4.3:

Таблиці 4.3 – Метрологічні характеристики допоміжних ЗВТ

Назва еталону	Діапазон виміру	Метрологічні характеристики
Гігрометр ВІТ-2	(+15-40)°С	T= 0,2°С
Барометр-анероїд метеорологічний БАММ-1	80 – 106 кПа	$\Delta = +0,2 \text{ кПа}$
Випробувальна установка УПУ-6	(0-6)кВ	max I = 100 mA P= 650 ВА $\delta = 3\%$
Мегаомметр Ф4102/1-1М	(0-50000)МОм	$500 \pm 25\text{В}$

#### 4.3 Умови калібрування

Під час калібрування у лабораторії повинні бути забезпечені умови, наведені у таблиці 4.3

Таблиці 4.4 – Умови для проведення калібрування

Параметр	Значення параметру
Температура повітря (довкілля), °С	$20 \pm 2$
Відносна вологість повітря, %	30 – 80
Напруга живлення мережі, В	$220 \pm 20$
Частота, Гц	$50 \pm 5$
Атмосферний тиск, кПа.	$100 \pm 4$

Температура та вологість повітря у лабораторії підтримується сплітсистемою «Daikin». Середня температура, відносна вологість та атмосферний тиск повинні бути проконтрольовані та занесені до протоколу калібрування.

#### 4.4 Підготовка до калібрування

1. Вольтамперметр М2038 перевіряється калібрувальником на відповідність його технічним характеристикам за допомогою паспорту на прилад.

2. Проходить ознайомлення та вивчення нормативнотехнічної документації на прилад вивчаються його технічні характеристики, схеми підключення, калібрувальник на основі викладеної інформації робить висновок які засоби вимірювальної техніки можна застосувати до вимірювального приладу.

3. Визначившись з ЗВТ необхідними для калібрування калібрувальник вивчає документацію на засоби калібрування які задіяні у процесі калібрувані.

4. При надходженні до калібрувальної лабораторії прилад записується до журналу реєстрації в якому зазначається його тип, номер та метрологічні характеристики. Також зазначається організація та особа яка надала прилад на калібрування.

5. Організація якій належить ЗВТ заздалегіть узгоджує свій запит з Головним метрологом підприємства ПрАТ ЗЕРЗ робить заявку на калібрування приладу на ім'я заступника директора з технології та якості де вказує: назву своєї організації, вписує прилад наданий на калібрування попередньо зазначивши технічні та метрологічні характеристики. Також до цієї заявки надається комплект нормативнотехнічної документації необхідний для проведення калібрувального процесу.

6. Приміщення в якому відбувається калібрування повинно кліматично відповідати критеріям забезпечуючим процес калібрування.

7. При виконанні вимірювань з малими значеннями струмів та напруг використовуються спеціальні калібрувальні дроти які зазвичай поставляються у комплекті з приладом.

8. Свідотства та атестати на вимірювальні та випробувальні установки а також на прилади які задіяні в калібруванні не повинні буди з сплившим терміном повірки.

#### 4.5 Вимоги безпеки

При калібруванні аналогових ЗВТ повинні бути дотримані вимоги електричної безпеки згідно з «Правилами улаштування електроустановок», «Правилами технічної експлуатації електроустановок споживачів» та «Правилами техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів», а також вимоги безпеки, встановлені у відповідних розділах ЕД на ЗВТ.

#### 4.6 Перелік пунктів при калібруванні вольтамперметра М2038

Таблиця 4.5 – Операції калібрування вольтамперметра М2038

№	Найменування операцій калібрування	Номер пункту калібрування	Засоби калібрування та їх нормотехнічні характеристики
1	Зовнішній огляд	4.6.1	ГОСТ 8711 – 96
2	Прогрів калібраторів струму та напруги	4.7	ПЗ20 $10^{-3}$ –10 В похибка вимірів 0,01—0,05 % ; та ПЗ21 $10^{-3}$ –10 А похибка вимірів 0,01—0,05 %
3	Опробування аналогового ЗВТ	4.8	—
4	Перевірка електричної міцності та опору ізоляції	4.9	—
	опору ізоляції		Мегаомметр Ф4102/1-1М (0-50000) МОм кл.1.5 діапазон напруг 100, 500, 1000 В

Продовження таблиці 4.5:

1	2	3	4
	перевірка електричної міцності ізоляції	4.9.1	Пробивна установка – УПУ-6 (0-6) кВ;
6	Визначено точки калібрування для вольтамперметра М2038.	4.10	Згідно оформленої заявки замовника та вказаних у ній замовником точок калібрування
7	Підключення та виконання вимірювань.	4.11	Калібратори ПЗ20 та ПЗ21
8	Результати калібрування	4.12	Розрахунок невизначеностей
9	Обчислення невизначеностей	4.12.1	Розрахунок невизначеностей
	Знаходження складових невизначеності	4.12.2	Впливні величини які впливають на достовірність показів
10	Розрахунок невизначеностей коли не спостерігається варіація показів вольтамперметра М2038, що калібрується.	4.13	Метод розрахунку
11	Регистрація у протоколі результатів калібрування	4.14	—

#### 4.6.1 Зовнішній огляд.

При проведенні зовнішнього огляду повинно бути встановлено відповідність приладу наступним вимогам:

– відсутність зовнішніх пошкоджень;

- пошкоджень покриття шкали;
- чітке маркування [4, с.1-2]

#### 4.7 Прогрів калібраторів П320 та П321

Для забезпечення норальних умов визначення похибок калібратори знаходяться у відкненому стані без проведення на них вимірів не менше 1 години як зазначено у технічній інструкції з експлуатації. [7, с.1-3]

#### 4.8 Опробування аналогового ЗВТ

При опробуванні повинно бути встановлено надійне закріплення зажимів приладів, плавний хід та чітка фіксація перемикачів.

Перемикачі повинні перемикатися плавно та без заїдання плавність ходу перемикача повинна перевірятися калібрувальником перед калібруванням.

#### 4.9 Перевірка електричної міцності ізоляції та опору ізоляції

Електричну міцність та опір ізоляції перевіряємо по ГОСТ 8711—93. На шкалі вольтамперметра М2038 вказана випробувальна напруга конкретно для цього приладу. Перевірку електричної міцності ізоляції проводимо на установці УПУ-6. [11, с.8]

Цю перевірку ми робимо у двох випадках: коли прилад вводиться у експлуатацію та коли прилад пройшов ремонт.

#### 4.9.1 Перевірка електричної міцності ізоляції

Випробування проводиться між заземленням та корпусом вольтамперметра М2038. При цьому ланцюги приладу повинні бути закорочені щоб випробувальна напруга не поступала в схему приладу. Щоб унеможливити вихід його з ладу.

Регулювання напруги здійснюється плавно або ступенями, які не перевищують 5% від випробувального значення, на стороні первинної обмотки випробувального трансформатора. Випробування починають з напруги не вищої від 1/3 випробувальної. Час підвищення напруги від половинного значення до випробувального має бути не менше 10 с; випробувальна напруга витримується протягом 1 хв. [6] та [14, Додаток1, табл.27]

#### 4.9.2 Перевірка опору ізоляції

Перевірку опору ізоляції ланцюгів вольтамперметра М2038 проводимо мегаомметром Ф4102/1-1М з напругою 500В, на протязі однієї хвилини.

Напруга прикладується між заземленням та корпусом при цьому токоведучі та вимірювальні ланцюги повинні бути закорочені, так щоб напруга не надходила на вимірювальну схему приладу. [11, с.8] та [14, Додаток 2, табл.48]

#### 4.10 Визначемо точки калібрування для вольтамперметра М2038.

Щоб визначити точки калібрування вольтамперметра М2038, нам Потрібно знати діапазони вимірювання на яких ми будемо проводити своє калібрування.

Діапазони вимірювання визначаються замовником який приніс прилад на калібрування. Замовник складає заявку на калібрування затверджує її і надає прилад на калібрування.

В даному випадку замовник зазначив у заявці наступні граничні діапазони вимірювань:

- $U = 150 \text{ В}$  ( весь діапазон кількість точок калібрування 3);
- $U = 300 \text{ В}$  ( весь діапазон кількість точок калібрування 1);
- $I = 5 \text{ А}$  ( весь діапазон кількість точок калібрування 1).

Будуємо таблицю куди занесемо точки калібрування для вольтамперметра М2038.

Таблиця 4.6 – Точки калібрування вольтамперметра М2038

Діапазони на яких виконується вимірювання	Кількість точок калібрування	Процентне співвідношення
Постійна напруга		
В діапазоні до 150 В	3	34, 67, 100
В діапазоні до 300 В	1	100
Постійний струм		
В діапазоні до 7,5 А	1	67

4.11 Опис та схематичне виконання підєднання калібрувального приладу до калібратору струмів та напруги

При ознайомленні калібрувальника з технічним описом документів з експлуатації на калібратори напруги П320 та струму П321 в яких зазначені схеми з'єднання калібратору з приладом який проходить калібруванняю.

Особа яка уповноважена на проведення калібрування виконує підєднання приладу до калібратору суворо з настановою з експлуатації на рис. 5.1 та 5.2.

На малих діапазонах вимірювання напруги та струму калібрувальник користується каліброваними дротами омичний опір яких зазначено у паспорті



на прилад вольтамперметр М2038 зазначине значення згідно паспортних даних складає  $0,035\text{Ом}$

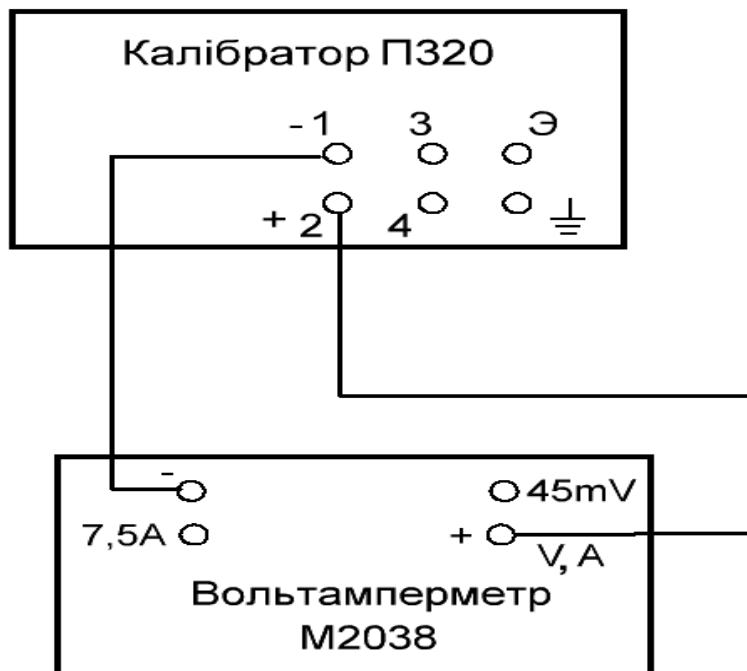


Рисунок 4.1 – Блок схема підєднання приладу до калібратора

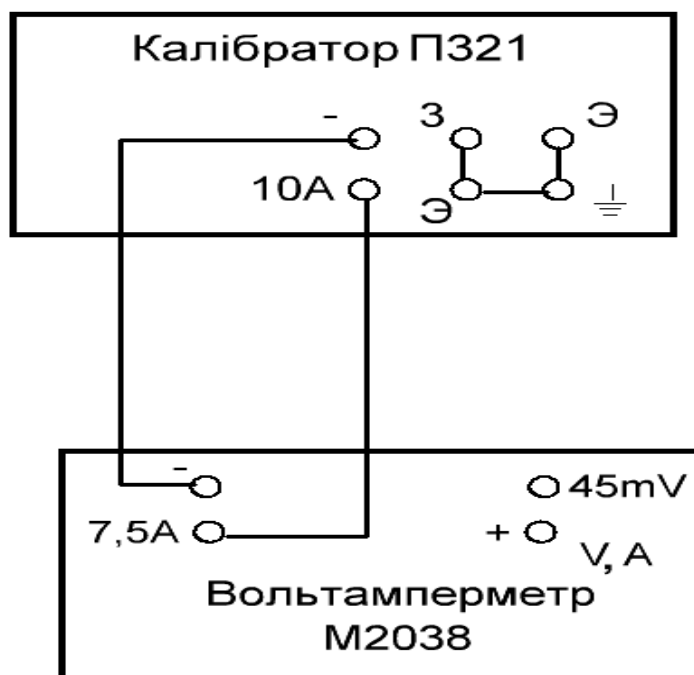


Рисунок 4.2 – Блок схема підєднання приладу до калібратора

## 4.12 Результати калібрування

### 4.12.1 Обчислення невизначеностей

Виконуючи калібрування аналогового вольтамперметра М2038 ми будемо посилатися в частині формул розрахунків на ЕА-4/02. [12 с/52]

Ми починаємо з складання рівняння для величини яка вимірюється беручи до уваги той факт що замовник у заявці зазначив конкретний діапазон вимірювання та точки в діапазоні на яких буде калібруватися прилад.

Складаємо рівняння описуючи поправки які входять до його складу

$$E_x = V_{ix} - V_S - \delta V_S \quad (4.1)$$

де  $V_{ix}$  – напруга, показів вольтамперметра (індекс  $i$  зазначає покази приладу);

$V_S$  – напруга, вироблена калібратором;

$\delta V_S$  – поправка напруги калібратора через:

– дрейф з часу останнього калібрування;

– відхилення через комбінований ефект зміщення, нелінійності та

різниці коефіцієнтів підсилення;

– відхилення в температурі оточуючого середовища;

– відхилення в напрузі мережі;

– ефект недостатньо ретельного настроювання через кінцевий

вхідний опір калібрувального приладу вольтамперметра.

$$\delta V_S = \delta V_{SD} + \delta V_{SC} + \delta V_{ST} + \delta V_{SP} + \delta V_{SL} + \delta V_{STc} + \delta V_{SE} \quad (4.2)$$

## 4.13 Розрахунок похибки через невизначення

### 4.13.1. Вихідні дані.

Виконуємо калібрування приладу вольтамперметру М2038 на постійній напрузі частотою мережі 50Гц наруга мережі живлення становить  $220\text{В} \pm 10\%$ .

Калібрування здійснеться на підприємстві ПрАТ “ЗЕРЗ” в метрологічній лабораторії за результатами калібрування видається сертифікат калібрування або довідка про непридатність приладу.

На початку калібрування прилад ставимо на ровну поверхню перевіряємо його балансування та коректором виставляємо прилад на механічний нуль. Електричний нуль ми дивимось тоді коли подана напруга на прилад через калібратор але декадні ручки калібратора стоять в нульовому положені якщо стрілка приладу при цьому не стоїть в нулі на калібраторі ми регулюємо електричний нуль.

Переконавшись що електричний та механічний нулі встановлені передаємо одиницю фізичної величини через калібратор приладу набравши декадами перемикачами величину на якій ми хочимо виконати свої вимірювання.

Свідотство про калібрування видане центром метрології на момент калібрування не було просрочене. Тому калібратор напруги допущено до калібрувального процесу.

Невизначеність вимірювання з'язану з ріноменітними джерелами отримуємо з специфікацій виробника калібратора. Специфікації встановлюють що сгенерована калібратором напруга співпадає з встановленим на калібраторі в межах  $\pm 0,0001\text{Vs} + 1\text{мВ}$  при дотриманні умов вимірів.

Після визначення всіх показників розраховується сумарна невизначеність вимірювання.

#### 4.13.2 Розрахунок похибки приладу для точки 50В

Перемикачем діапазонів КН калібратору ПЗ20 встановлюємо в режим 100В та декадними перемикачами набираємо значення яке дорівнює 50В. В нашому процесі використовуємо калібровані дроти які були в наданому приладі.

Отримане нами значення становить – 50,15В

У свідоцтві на калібратор ПЗ20 зазначено, що поправка до показів калібратора у цій точці складає  $\pm 0,005\text{В}$ , що призводить до невизначеності калібрування у точці 50 В, що дорівнює 0,002 В (з коефіцієнтом охоплення  $k=2$ ).

1. Похибка  $E_x$  показів вольтамперметра М2038 дорівнює:

$$E_x = V_{ix} - V_s - \delta V_s \quad (4.3)$$

$$E_x = 50,15 - 50 - 0,005 = 0,145 \quad (4.4)$$

де  $V_{ix}$  – напруга, показів вольтамперметру дорівнює – 50,15В;

$V_s$  – напруга, вироблена калібратором – 50В;

$\delta V_s$  – поправка напруги калібратора – 0,005В

2. Поправка напруги  $V_s$  показів вольтамперметра М2038 дорівнює:

$$\delta V_s = \delta V_{SD} + \delta V_{SC} + \delta V_{ST} + \delta V_{SP} + \delta V_{SL} + \delta V_{STc} + \delta V_{SE} \quad (4.5)$$

З причини неможливості точного визначення кожної з складових невизначеності значення можуть бути оцінені на основі характеристик, що встановлені виробником.

Виробник гарантує, що коли калібратор працює у встановлених межах температури (наприклад, від 18°C до 28°C), при встановленій напрузі живлення (наприклад, 230 В  $\pm 10\%$ ), гранично допустиме значення складає  $\pm 0,01\%$ .

Поправка, пов'язана із похибкою калібрування самого калібратора ( $\delta V_{S50}$ ). У кожній точці такі значення поправки, що вказані у свідоцтві про калібрування, але із протилежним знаком щоб не збільшувати значення невизначеності. Саме ця процедура застосована при складанні таблиці підрозділу.

Таблиця 4.7 – Бюджет складових невизначеностей

Величина, $X_i$	Оцінка величини, $x_i$	Невизначеність ( $k=1$ ), $u(x_i)$	Закон розподілу	Коефіцієнт впливу, $c_i$	Внесок, $u_i(y)$
$V_{iX}-V_{iX0}$	50,15 В	-	-	-	
$V_{S50}$	50 В	0,005/2В	нормальний	$c_2 = -1,0$	0,0025 В
$\delta V_S$	0,005 В	0,002/ $\sqrt{3}$ В	рівномірний	$c_5 = -1,0$	0,0011В
$e_x$	+0,145 В	-	-	-	0,0036 В

3. Записуємо рівняння розширеної невизначеності:

$$U = ku(e_x) = k\sqrt{u_1^2(y) + u_2^2(y) + u_3^2(y)} \quad (4.6)$$

$$U = ku(e_x) = 2 \cdot 0,0036 = 0,0072В \quad (4.7)$$

4. Запис результату калібрування.

Похибка показів вольтамперметра, що калібрується, для значення постійної напруги 50,15 В має вигляд:

$$e_x = (0,145 \pm 0,0072) В (k=2) \quad (4.8)$$

Вказана невизначеність калібрування відповідає сумарній невизначеності, помноженій на коефіцієнт охоплення  $k=2$ , при нормальному законі розподілу з рівнем довіри приблизно 95%.

### 4.13.3 Розрахунок похибки приладу для точки 100В

Перемикачем діапазонів КН калібратору ПЗ20 встановлюємо в режим 100В та декадними перемикачами набираємо значення яке дорівнює 100,1В. В нашому процесі використовуємо калібровані дроти які були в наданому приладі.

Отримане нами значення становить – 100,1В

У свідоцтві на калібратор ПЗ20 зазначено, що поправка до показів калібратора у цій точці складає  $\pm 0,01$ В, що призводить до невизначеності калібрування у точці 100 В, що дорівнює 0,002 В (з коефіцієнтом охоплення  $k=2$ ).

Похибка  $E_x$  показів вольтамперметра М2038 дорівнює:

$$E_x = V_{ix} - V_s - \delta V_s \quad (4.9)$$

$$E_x = 100,1 - 100 - 0,01 = 0,09 \quad (4.10)$$

де  $V_{ix}$  – напруга, показів вольтамперметру дорівнює – 100,1В;

$V_s$  – напруга, вироблена калібратором – 100В;

$\delta V_s$  – поправка напруги калібратора – 0,01В

Поправка напруги  $V_s$  показів вольтамперметра М2038 дорівнює:

$$\delta V_s = \delta V_{SD} + \delta V_{SC} + \delta V_{ST} + \delta V_{SP} + \delta V_{SL} + \delta V_{STc} + \delta V_{SE} \quad (4.11)$$

Поправки до вихідного сигналу калібратору ( $\delta V_{SD}$ ,  $\delta V_{SC}$ ,  $\delta V_{ST}$ ,  $\delta V_{SP}$ ,  $\delta V_{SL}$ ,  $\delta V_{STc}$ ).

З причини неможливості точного визначення кожної з складових невизначеності значення можуть бути оцінені на основі характеристик, що встановлені виробником.

Виробник гарантує, що коли калібратор працює у встановлених межах температури (наприклад, від 18°C до 28°C), при встановленій напрузі живлення (наприклад, 230 В ±10%), граничне значення складає 0,01%.

Поправка, пов'язана із похибкою калібрування самого калібратора ( $\delta V_{S51}$ ). У кожній точці такі значення поправки, що вказані у свідоцтві про калібрування, але із протилежним знаком щоб не збільшувати значення невизначеності. Саме ця процедура застосована при складанні таблиці підрозділу.

Таблиця 4.8 – Бюджет складових невизначеностей

Величина, $X_i$	Оцінка величини, $x_i$	Невизначеність (k=1), $u(x_i)$	Закон розподілу	Коефіцієнт впливу, $c_i$	Внесок, $u_i(y)$
$V_{iX}-V_{iX0}$	100,1 В	-	-	-	
$V_{S100}$	100 В	0,001 В	нормальний	$c_2 = -1,0$	0,001 В
$\delta V_S$	0,01 В	0,0064 В	рівномірний	$c_5 = -1,0$	0,0064 В
$e_x$	+0,09 В	-	-	-	0,030 В

3. Записуємо рівняння розширеної невизначеності:

$$U = ku(e_x) = k\sqrt{u_1^2(y) + u_2^2(y) + u_3^2(y)} \quad (4.12)$$

$$U = ku(e_x) = 2 \cdot 0,0064 = 0,030 \text{ В} \quad (4.13)$$

4. Запис результату калібрування.

Похибка показів вольтамперметра, що калібрується, для значення постійної напруги 100,1 В має вигляд:

$$e_x = (0,09 \pm 0,03) \text{ В (k=2)} \quad (4.14)$$

Вказана невизначеність калібрування відповідає сумарній невизначеності, помноженій на коефіцієнт охоплення  $k=2$ , при нормальному законі розподілу з рівнем довіри приблизно 95%.

#### 4.13.4 Розрахунок похибки приладу для точки 150В

Перемикачем діапазонів КН калібратору П320 встановлюємо в режим 150В та декадними перемикачами набираєм значення яке дорівнює 150В. В нашому процесі використовуємо калібровані дроти які були в наданому приладі.

Отримане нами значення становить – 150,5В

У свідоцтві на калібратор П320 зазначено, що поправка до показів калібратора у цій точці складає  $\pm 0,015В$ , що призводить до невизначеності калібрування у точці 150В, що дорівнює 0,002 В (з коефіцієнтом охоплення  $k=2$ ).

Похибка  $E_x$  показів вольтамперметра М2038 дорівнює:

Похибка  $E_x$  показів вольтамперметра М2038 дорівнює:

$$E_x = V_{iX} - V_s - \delta V_s \quad (4.15)$$

$$E_x = 150,5 - 150 - 0,015 = 0,485 \quad (4.16)$$

де  $V_{iX}$  – напруга, показів вольтамперметру дорівнює – 150,5В;

$V_s$  – напруга, вироблена калібратором – 150В;

$\delta V_s$  – поправка напруги калібратора – 0,015В

Поправка напруги  $V_s$  показів вольтамперметра М2038 дорівнює:

$$\delta V_s = \delta V_{SD} + \delta V_{SC} + \delta V_{ST} + \delta V_{SP} + \delta V_{SL} + \delta V_{STc} + \delta V_{SE} \quad (4.17)$$

Поправки до вихідного сигналу калібратору ( $\delta V_{SD}$ ,  $\delta V_{SC}$ ,  $\delta V_{ST}$ ,  $\delta V_{SP}$ ,  $\delta V_{SL}$ ,  $\delta V_{STc}$ ).



З причини неможливості точного визначення кожної з складових невизначеності значення можуть бути оцінені на основі характеристик, що встановлені виробником.

Таблиця 4.9 – Бюджет складових невизначеностей

Величина, $X_i$	Оцінка величини, $x_i$	Невизначеність ( $k=1$ ), $u(x_i)$	Закон розподілу	Коефіцієнт впливу, $c_i$	Внесок, $u_i(y)$
$V_{iX}-V_{iX0}$	150,5 В	-	-	-	
$V_{S150}$	150 В	0,015/2В	нормальний	$c_2 = -1,0$	0,0075 В
$\delta V_S$	0,015 В	0,002/ $\sqrt{3}$ В	рівномірний	$c_3 = -1,0$	0,0011 В
$e_x$	+0,485 В	-	-	-	0,0172 В

3. Записуємо рівняння розширеної невизначеності:

$$U = ku(e_x) = k\sqrt{u_1^2(y) + u_2^2(y) + u_3^2(y)} \quad (4.18)$$

$$U = ku(e_x) = 2 \cdot 0,0086 = 0,0172 \text{ В} \quad (4.19)$$

4. Запис результату калібрування.

Похибка показів вольтамперметра, що калібрується, для значення постійної напруги 150,5 В має вигляд:

$$e_x = (0,485 \pm 0,0172) \text{ В } (k=2) \quad (4.20)$$

Вказана невизначеність калібрування відповідає сумарній невизначеності, помноженій на коефіцієнт охоплення  $k=2$ , при нормальному законі розподілу з рівнем довіри приблизно 95%.

#### 4.13.5 Розрахунок похибки приладу для точки 300В

Перемикачем діапазонів КН калібратору ПЗ20 встановлюємо в режим 150В та декадними перемикачами набираєм значення яке дорівнює 300В. В нашому процесі використовуємо калібровані.

Отримане нами значення становить – 300,4В

У свідоцтві на калібратор ПЗ20 зазначено, що поправка до показів калібратора у цій точці складає  $\pm 0,03$ В, що призводить до невизначеності калібрування у точці 300В, що дорівнює 0,002 В (з коефіцієнтом охоплення  $k=2$ ).

Похибка  $E_x$  показів вольтамперметра М2038 дорівнює:

Похибка  $E_x$  показів вольтамперметра М2038 дорівнює:

$$E_x = V_{iX} - V_s - \delta V_s \quad (4.21)$$

$$E_x = 300,4 - 300 - 0,03 = 0,37 \quad (4.22)$$

де  $V_{iX}$  – напруга, показів вольтамперметру дорівнює – 300,4В;

$V_s$  – напруга, вироблена калібратором – 300В;

$\delta V_s$  – поправка напруги калібратора – 0,03В

Поправка напруги  $V_s$  показів вольтамперметра М2038 дорівнює:

$$\delta V_s = \delta V_{SD} + \delta V_{SC} + \delta V_{ST} + \delta V_{SP} + \delta V_{SL} + \delta V_{STc} + \delta V_{SE} \quad (4.23)$$

З причини неможливості точного визначення кожної з складових невизначеності значення можуть бути оцінені на основі характеристик, що встановлені виробником.

Таблиця 4.10 – Бюджет складових невизначеностей

Величина, $X_i$	Оцінка величини, $x_i$	Невизначе- ність ( $k=1$ ), $u(x_i)$	Закон розподілу	Коефіцієнт впливу, $c_i$	Внесок, $u_i(y)$
$V_{iX}-V_{iX0}$	300,4 В	-	-	-	
$V_{S300}$	300 В	0,01/2В	нормальний	$c_2= -1,0$	0,005 В
$\delta V_S$	0,03 В	0,02/ $\sqrt{3}$ В	рівномірний	$c_3= 1,0$	0,011 В
$e_x$	+0,37 В	-	-	-	0,016 В

3. Записуємо рівняння розширеної невизначеності:

$$U = ku(e_x) = k\sqrt{u_1^2(y) + u_2^2(y) + u_3^2(y)} \quad (4.24)$$

$$U = ku(e_x) = 2 \cdot 0,016 = 0,032\text{В} \quad (4.25)$$

4. Запис результату калібрування.

Похибка показів вольтамперметра, що калібрується, для значення постійної напруги 300 В має вигляд:

$$e_x = (0,37 \pm 0,032) \text{ В } (k=2) \quad (4.26)$$

Вказана невизначеність калібрування відповідає сумарній невизначеності, помноженій на коефіцієнт охоплення  $k=2$ , при нормальному законі розподілу з рівнем довіри приблизно 95%.

#### 4.13.6 Розрахунок похибки приладу для точки 5А

Перемикачем діапазонів КН калібратору ПЗ20 встановлюємо в режим 1000В та декадними перемикачами набираємо значення яке дорівнює 5А. В нашому процесі використовуємо калібровані.

Отримане нами значення становить – 5,01А

У свідоцтві на калібратор ПЗ20 зазначено, що поправка до показів калібратора у цій точці складає  $\pm 0,007$  А, що призводить до невизначеності калібрування у точці 5 А, що дорівнює 0,0013 А (з коефіцієнтом охоплення  $k=2$ ).

Похибка  $E_x$  показів вольтамперметра М2038 дорівнює:

Похибка  $E_x$  показів вольтамперметра М2038 дорівнює:

$$E_x = I_{iX} - I_s - \delta I_s \quad (4.27)$$

$$E_x = 5,01 - 5 - 0,007 = 0,0087 \quad (4.28)$$

де  $I_{iX}$  – напруга, показів вольтамперметра дорівнює – 5,01А;

$I_s$  – напруга, вироблена калібратором – 5 А;

$\delta I_s$  – поправка напруги калібратора – 0,007 А

Поправка напруги  $V_s$  показів вольтамперметра М2038 дорівнює:

$$\delta I_s = \delta I_{SD} + \delta I_{SC} + \delta I_{ST} + \delta I_{SP} + \delta I_{SL} + \delta I_{STc} + \delta I_{SE} \quad (4.29)$$

З причини неможливості точного визначення кожної з складових невизначеності значення можуть бути оцінені на основі характеристик, що встановлені виробником.

Таблиця 4.11 – Бюджет складових невизначеностей

Величина, $X_i$	Оцінка величини, $x_i$	Невизначеність ( $k=1$ ), $u(x_i)$	Закон розподілу	Коефіцієнт впливу, $c_i$	Внесок, $u_i(y)$
$I_X - I_{X0}$	5,01 А	-	-	-	
$I_{S5}$	5 А	0,007/2 А	нормальний	$c_2 = -1,0$	0,0035 А
$\delta I_S$	0,03 А	0,05/ $\sqrt{3}$ А	рівномірний	$c_3 = 1,0$	0,029 А
$e_x$	+0,0087 А	-	-	-	0,0325 А

3. Записуємо рівняння розширеної невизначеності:

$$I = ki(e_x) = k\sqrt{i_1^2(y) + i_2^2(y) + i_3^2(y)} \quad (4.30)$$

$$I = ki(e_x) = 2 \cdot 0,0325 = 0,065 \text{ А} \quad (4.31)$$

4. Запис результату калібрування.

Похибка показів вольтамперметра, що калібрується, для значення постійної напруги 5,01 А має вигляд:

$$e_x = (0,0087 \pm 0,065) \text{ А } (k=2) \quad (4.32)$$

Вказана невизначеність калібрування відповідає сумарній невизначеності, помноженій на коефіцієнт охоплення  $k=2$ , при нормальному законі розподілу з рівнем довіри приблизно 95%.

#### 4.14 Регистрація у протоколі результатів калібрування

Для кожної калібрувальної точки записуються наступні дані:

- величина, що відтворюється калібратором;
- покази вольтамперметра М2038, що калібрується;
- похибка вольтамперметра М2038, що калібрується.

## ВИСНОВКИ

Впровадження визначення поняття «калібрування ЗВТ» у вітчизняну метрологічну практику потребує розроблення нових нормативних документів, які регламентують правила, норми та вимоги до проведення експериментальних досліджень та їх оброблення під час проведення цієї метрологічної роботи.

Засоби для калібрування ЗВТ необхідно вибирати на підставі відповідної державної повірочної схеми.

Таким чином для проведення калібрування повинно бути:

- вибрано еталонний засіб;
- визначена кількість досліджених точок за діапазоном вимірювання;
- досліджені контрольовані точки;
- встановлено значення абсолютної похибки ЗВТ у контрольованих точках.

В документах, які свідчать про результати калібрування ЗВТ, обов'язково повинна бути встановлена саме похибка, значення якої можна звірити з максимально допустимою похибкою, яка встановлена виробником цього засобу.

В міжнародній практиці під час проведення калібрування враховується її ієрархія. В Україні функцію основоположної ієрархії калібрування для конкретного ЗВТ виконує відповідна державна повірочна схема.

Для оцінки невизначеності вимірювань під час калібрування необхідно, але не достатньо знати загальну теорію невизначеності вимірювань. Практично у всіх випадках для кожної складової рівняння вимірювань необхідно буде оцінювати невизначеність за типом А або за типом В. Метод оцінки цих складових невизначеності буде залежати від застосованого під час калібрування метода передавання розміру одиниці вимірювання.

Так, у відповідності з ISO/IEC Guide 98-3 при оцінці невизначеності можна урахувати метрологічні характеристики ЗВТ, які встановлені виробником та проконтрольовані під час повірки, а саме:

- варіацію показів ЗВТ;
- нормовану похибку ЗВТ, яка проконтрольована під час повірки.

Таким чином, можна зробити висновок, що проведення калібрування ЗВТ із зазначенням невизначеності вимірювань потребує достатньої науковотехнічної підготовки, яка повинна забезпечити:

- обґрунтоване визначення необхідності для підприємства проводити калібрування ЗВТ з оцінкою невизначеності вимірювання або продовжувати оцінювати придатність ЗВТ на підставі контролю його метрологічних характеристик;

- розроблення методик калібрування для конкретних груп ЗВТ;

- розроблення методичних документів, які обґрунтовують оцінку невизначеності вимірювання, у тому числі визначення рівняння вимірювань, бюджету невизначеності за складовими рівняння вимірювання, які повинні стати основою для розроблення калібрувальними лабораторіями методик калібрування.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Статут приватного акціонерного товариства “Запорізький електровозо-ремонтний завод”: Рішення ПрАТ “ЗЕРЗ” від 02.12.2020р. №49/2020-3/10
2. Положення про метрологічну службу підприємства “ПрАТ ЗЕРЗ”
3. ДСТУ ГОСТ 8.497–2008 Державна система забезпечення єдності вимірювань. Амперметри, вольтметри, ватметри, варметри. Методика повірки. Чинний від 2008-06-25. Вид. офіц. Київ: УкрНДНЦ, 2008. 16 с.
4. Вольтамперметр М2038. Технічний опис та інструкція з експлуатації М2038.ЗПБ.378.023 ТО
5. Технічний опис та інструкція з експлуатації. калібратор напруги постійного струму П320. ДШВК.401.161.001ТО
6. Технічний опис та інструкція з експлуатації калібратор постійного струму П321. ДШВК.2.389.001 ТО
7. Установка пробивна універсальна УПУ-6. Руководство з експлуатації. УПУ-6/07.00.00.00РЭ
8. Мегаометр Ф4102/1-1М. Паспорт Ба.2.722.051 ПС
9. Інструкція 184-62. Інструкція з повірки амперметрів, вольтметрів, ватметрів та варметрів. Затверджен: Госстандарт СРСР
10. ЕА - 4/02. Вираз невизначеності вимірів при калібруванні.
11. ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019 Загальні вимоги до комплектності випробувальних та калібрувальних лабораторій (EN ISO/IEC 17025:2017, IDT; ISO/IEC 17025:2017, IDT). Вид. офіц. Київ: УкрНДНЦ, 2020. 23 с.
12. ПТЕЕС.: Наказ МПЕУ №1143/13017 від 25.07.2006р.
13. Інструкція по перевірці через невизначеність приладів. Іспанія 2009р.
14. Горват А.А., Грабар О.О. ФІЗИЧНИЙ ПРАКТИКУМ. Частина 3. Електрика і магнетизм. Навчальний посібник. – Ужгород: ДВНЗ «Ужгородський національний університет» – 152с.
15. Бушок Г. Ф., Венгер Є. Ф. Курс фізики: У 3 кн. Кн. 2. Електрика і магнетизм: Навч. посіб. – К.: Вища школа, 2003. – 278 с.



## ДОДАТОК А

Формуляр протоколу калібровки

МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ ЕКОНОМІКИ, ТОРГІВЛІ ТА  
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА



ПРИВАТНЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО  
” ЗАПОРІЗЬКИЙ ЕЛЕКТРОВОЗОРЕМОНТНИЙ ЗАВОД”

Калібрувальна лабораторія

місто Запоріжжя; вулиця Семафорна 2

Атестат про акредитацію №56007 дійсний до 09.06.2025р.

### ПРОТОКОЛ КАЛІБРУВАННЯ

№1

від ”12” вересня 2023 р.

#### Вольтамперметр

(назва засобу вимірювальної техніки, позначення)

Тип M2038

заводський номер №8371

Виробник: ТОВ "Росток-прилад лтд"

Замовник

(назва та адреса): Дистанція шляху (ПЧ-3) м. Київ вул. Лебідська 2а

Методика калібрування: Методика калібрування аналогових вольтамперметрів

Місце калібрування: ПрАТ ”ЗЕРЗ”

Дата калібрування : 12.09.2023 року

Таблиця А1 – Умови для проведення калібрування

Дата калібрування	Температура, °С		Відносна вологість %	Атмосферний тиск кПа	Напруга мережі живлення В	Частота мережі Гц
	На початку калібрування	В кінці калібрування				
12.09.23	21	21	73	101	230 В ±10%	50

Таблиця А2 – Розрахунку середнього значення та невизначеності вимірювання (бюджет невизначеності) №1

Діапазон вим.: 150В					
Точка калібр.: 50В					
Частота: 50Hz					
№ вим.	V <sub>xi</sub>	Одиниця вим.			
1	50,15	В			
Станд. відхил.= +0,277 В					
Величина	Оцінка	Стандартна невизначеність	Тип розподілу	Коефіцієнт чутливості	Складова сумарної невизначеності
X <sub>i</sub>	x <sub>i</sub>	u(x <sub>i</sub> )		c <sub>i</sub>	u <sub>i</sub> (y)
V <sub>S51</sub> =	50	0,005/2В	нормальний	1	u <sub>2</sub> (y) = 0,0025 В
δV <sub>iX</sub> =	0,0 В	0,127/√3 В	рівномірний	1	u <sub>3</sub> (y)= 0,073 В
δV <sub>S</sub> =	-0,003В	0,002/√3 В	рівномірний	1	u <sub>4</sub> (y)= 0,0011 В
e <sub>x</sub> =	+0,145В			u(e <sub>x</sub> )=	0,0036В
				k=2,U=ku(e <sub>x</sub> )	0,0072В
Результат	e <sub>x</sub> = (0,145±0,0072) В (k=2)				

Таблиця А3 – Розрахунку середнього значення та невизначеності вимірювання (бюджет невизначеності) №2

Діапазон вим.: 150В					
Точка калібр.: 100В					
Частота: 50Hz					
№ вим.	V <sub>xi</sub>	Одиниця вим			
1	100,1	В			
Станд. відхил.= +0,497 В					
Величина	Оцінка	Стандартна невизначеність	Тип розподілу	Коефіцієнт чутливості	Складова сумарної невизначеності
X <sub>i</sub>	x <sub>i</sub>	u(x <sub>i</sub> )		c <sub>i</sub>	u <sub>i</sub> (y)
V <sub>S90</sub> =	100	0,002/2В	нормальний	1	u <sub>1</sub> (y) = 0,001 В
δV <sub>iX</sub> =	0,0 В	0,225/√3 В	рівномірний	1	u <sub>2</sub> (y)= 0,13 В
δV <sub>S</sub> =	-0,003 В	0,01/√3 В	рівномірний	1	u <sub>3</sub> (y)= 0,0064 В
e <sub>x</sub> =	+0,09 В			u(e <sub>x</sub> )=	0,0030 В
				k=2, U=ku(e <sub>x</sub> )	0,006 В
Результат	e <sub>x</sub> = (0,09±0,006) В (k=2)				

Таблиця А4 – Розрахунку середнього значення та невизначеності вимірювання (бюджет невизначеності) №3

Діапазон вим.: 150В					
Точка калібр.: 150В					
Частота: 50Hz					
№ вим.	V <sub>xi</sub>	Одиниця вим.			
1	150,4	В			
Станд. відхил.= +0,485 В					
Величина	Оцінка	Стандартна невизначеність	Тип розподілу	Коефіцієнт чутливості	Складова сумарної невизначеності
X <sub>i</sub>	x <sub>i</sub>	u(x <sub>i</sub> )		c <sub>i</sub>	u <sub>i</sub> (y)
V <sub>S90</sub> =	150	0,015/2В	нормальний	1	u <sub>2</sub> (y) = 0,0075 В
δV <sub>S</sub> =	-0,003 В	0,002/√3 В	рівномірний	1	u <sub>5</sub> (y)= 0,0011 В
e <sub>x</sub> =	+0,485 В			u(e <sub>x</sub> )=	0,0086 В
				k=2, U=ku(e <sub>x</sub> )	0,00172 В
Результат	e <sub>x</sub> = (0,485±0,00172) В (k=2)				

Таблиця А5 – розрахунку середнього значення та невизначеностівимірювання (бюджет невизначеності) №4

Діапазон вим.: 300В					
Точка калібр.: 300В					
Частота: 50Hz					
№ вим.	V <sub>xi</sub>	Одиниця вим			
1	300,4	В			
Станд. відхил.= +0,37 В					
Величина	Оцінка	Стандартна невизначеність	Тип розподілу	Коефіцієнт чутливості	Складова сумарної невизначеності
X <sub>i</sub>	x <sub>i</sub>	u(x <sub>i</sub> )		c <sub>i</sub>	u <sub>i</sub> (y)
I <sub>S51</sub> =	300 В	0,01/2В	нормальний	1	i <sub>1</sub> (y) = 0,005 В
δI <sub>S</sub> =	0,03В	0,02/√3 В	рівномірний	1	i <sub>3</sub> (y)= 0,011 В
e <sub>x</sub> =	+0,37 В			i(e <sub>x</sub> )=	0,0016 В
				k=2,U=k <sub>1</sub> (e <sub>x</sub> )	0,0032 В
Результат	e <sub>x</sub> = (0,37±0,0032) В (k=2)				

Таблиця А6 – розрахунку середнього значення та невизначеностівимірювання (бюджет невизначеності) №4

Діапазон вим.: 7,5А					
Точка калібр.: 5А					
Частота: 50Hz					
№ вим.	V <sub>xi</sub>	Одиниця вим			
1	5,01	А			
Станд. відхил.= +0,0087 А					
Величина	Оцінка	Стандартна невизначеність	Тип розподілу	Коефіцієнт чутливості	Складова сумарної невизначеності
X <sub>i</sub>	x <sub>i</sub>	u(x <sub>i</sub> )		c <sub>i</sub>	u <sub>i</sub> (y)
I <sub>S5</sub> =	5А	0,002/2 А	нормальний	1	i <sub>1</sub> (y) = 0,0035 А
δI <sub>ix</sub> =	0,0 А	0,0125/√3 А	рівномірний	1	i <sub>2</sub> (y)= 0,029 А
δI <sub>S</sub> =	-0,003 А	0,01/√3 А	рівномірний	1	i <sub>3</sub> (y)= 0,029 А
e <sub>x</sub> =	+0,0087 А			i(e <sub>x</sub> )=	0,000138 А
				k=2,U=k <sub>1</sub> (e <sub>x</sub> )	0,0325 А
Результат	e <sub>x</sub> = (0,0087±0,065) А (k=2)				

Вказана невизначеність калібрування відповідає сумарній невизначеності, помноженій на коефіцієнт охоплення  $k=2$ , при нормальному законі розподілу з рівнем довіри приблизно 95%.

Калібрування виконав: слюсар КВПта А Лісогурський Д.К.  
Посада Призвище та ініціали

Технічний керівник : інженер з метрології Князєва З.В.  
Посада Призвище та ініціали

## ДОДАТОК В

Формуляр протоколу калібровки

## ПРОТОКОЛ КАЛІБРУВАННЯ №1

Таблиця В1 – Вихідні данні

Система приладу	Тип приладу	Заводський номер	Клас точності	Межа виміру
ME	M2038	8371	0,5	0,075mV- 600V 750µA-30A

Умови калібрування: 20±2°CЗасоби калібрування: калібратори ПЗ20 та ПЗ21Прогрів калібратора: 1 година

Таблиця В2 – Значення отриманні при калібруванні

Значення показників		Поправка, ( В,А)	Похибка приладу, %	Варіація приладу, дел.	Примітка
Еталон (В,А)	Повіряемого приладу				
50 В	50,15 В	0,15	0,29	0	—
100 В	100,1 В	0,1	0,09	0	—
150 В	150,4 В	0,4	0,26	0	—
300 В	300,4 В	0,4	0,13	0	—
5 А	5,01 А	0,5	0,0019	0	—

Калібрування виконав: слюсар КВПта А

Посада

Лісогурський Д.К.

Прізвище та ініціали

Технічний керівник : інженер з метрології

Посада

Князева З.В.

Прізвище та ініціали