

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**Український державний університет  
науки і технологій**

---

Кафедра «Систем якості,  
стандартизації та метрології»

*В авторській редакції*

**МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ  
ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ**

Навчально-методичні рекомендації  
до проведення практичних та лабораторних занять

*Електронне видання*

ДНПРО  
2024

Упорядник:  
*К. О. Черноіваненко*

Електронне видання

Рекомендовано ГЗЯОП «ЯМЕ» спеціальності  
175 – Інформаційно-вимірювальні технології  
Протокол № 7 від 07.06.2024

М 54      Метрологічне забезпечення інформаційно-вимірювальних технологій : навчально-методичні рекомендації до проведення практичних і лабораторних занять / упоряд. К. О. Черноіваненко ; Укр. держ. ун-т науки і технологій. – Електрон. вид. – Дніпро : УДУНТ, 2024. – 125 с.

Навчально-методичні рекомендації призначені для використання студентами безвідривної форми навчання спеціальності 175 «Інформаційно-вимірювальні технології» під час виконання практичних та лабораторних занять з дисципліни «Метрологічне забезпечення інформаційно-вимірювальних технологій».

Навчально-методичні рекомендації містять інформацію, необхідну для засвоєння матеріалу, інструкції до виконання практичних і лабораторних робіт, вимоги до аналізу результатів та оформлення робіт.

Лл. 51. Табл. 13. Бібліогр.: 10 назв.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	5
1 ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ .....	9
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА .....	9
2.1 Методичні вказівки до практичних занять.....	9
Практична робота № 1 «Переведення одиниць простору, часу, механіки та енергії із позасистемних одиниць до одиниць системи СІ».....	9
Практична робота № 2 «Визначення тематики потенційних лабораторних і практичних робіт з використанням вимірювального оснащення кафедри СЯСМ».....	10
Практична робота № 3 «Застосування метрологічних характеристик засобів вимірювальної техніки».....	11
Практична робота № 4 «Характеристики мір довжини та кутових розмірів».....	13
Практична робота № 5 «Ознайомлення з конструкцією та прийомами використання кутоміра» .....	14
Практична робота № 6 «Види та сфери застосування віскозиметрів».....	16
Практична робота № 7 «Види та сфери застосування оснащення з визначення механічних властивостей матеріалів».....	17
Практична робота № 8 «Конструктивні особливості приладів для оптичних вимірювань».....	18
Практична робота № 9 «Оснащення для вимірювання параметрів теплової енергії».....	19
Практична робота № 10 «Прилади обліку витрат газу і води».....	20
Практична робота № 11 «Оснащення для вимірювання електричних величин».....	21
Практична робота № 12 «Витратоміри електричної енергії».....	22
Практична робота № 13 «Зіставлення параметрів іонізуючого випромінювання».....	23
Практична робота № 14 «Прилади для вимірювань магнітних величин».....	28
2.2 Методичні вказівки до лабораторних занять.....	29
Лабораторна робота № 1 «Групування за видами засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) з оснащення лабораторії метрології».....	29
Лабораторна робота № 2 «Експериментальне визначення похибок вимірювань».....	37

Лабораторна робота № 3 «Зіставлення розрахованої похибки вимірювань з нормованими характеристиками вимірювальних приладів».....	42
Лабораторна робота № 4 «Вимірювання щупами та шаблонами».....	50
Лабораторна робота № 5 «Вимірювання кронциркулем, штангенциркулем, мікрометром і кутоміром».....	54
Лабораторна робота № 6 «Вимірювання маси тіл».....	60
Лабораторна робота № 7 «Вимірювання сил, напружень та тиску».....	65
Лабораторна робота № 8 «Вимірювання шорсткості поверхні».....	73
Лабораторна робота № 9 «Застосування мікроскопу для оцінювання якості поверхонь виробів».....	77
Лабораторна робота № 10 «Вимірювання освітленості, зумовленою джерелом світла».....	80
Лабораторна робота № 11 «Визначення рівня шуму в приміщеннях».....	85
Лабораторна робота № 12 «Вимірювання електричних величин».....	89
Лабораторна робота № 13 «Вимірювання рівня електромагнітного випромінювання».....	101
Лабораторна робота № 14 «Вимірювання іонізуючого випромінювання».....	104
2.3 Методичні вказівки до індивідуальних завдань.....	115
Індивідуальне завдання №1 «Випробування ЗВТ на основі методу контрольного листа» .....	115
Індивідуальне завдання № 2 «Вибір і характеристика застосовних засобів вимірювання» .....	118
2.4 Методичні вказівки до курсової роботи «Вибір та застосування засобу вимірювальної техніки».....	120
3 ЗАСОБИ САМОКОНТРОЛЮ .....	121
ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНИХ ПОСИЛАНЬ .....	124

## ВСТУП

Навчальна дисципліна «Метрологічне забезпечення інформаційно-вимірювальних технологій» входить до циклу обов'язкових дисциплін професійної підготовки студентів, що навчаються за Освітньо-професійною програмою «Якість, метрологія та експертиза» спеціальності 175 – Інформаційно-вимірювальні технології першого (бакалаврського) рівня вищої освіти.

*Метою наявного видання у контексті вивчення дисципліни «Метрологічне забезпечення інформаційно-вимірювальних технологій» є засвоєння знань та придбання умінь й навичок, необхідних для використання різних видів вимірювальної техніки, зокрема, при проектуванні систем і схем вимірювання певних об'єктів за сферою діяльності із застосуванням засобів інформаційно-вимірювальної техніки.*

Видання сприяє набуттю таких *фахових компетентностей, передбачених освітньою програмою:*

К1. Здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та вирішувати практичні проблеми інформаційно-вимірювальних технологій, які характеризуються комплексністю та невизначеністю умов, що передбачає застосування теорій та методів метрології, способів побудови систем вимірювань і технічного контролю у будь-якій предметній області економічної діяльності з використанням нормативних документів з побудови та функціонування складових систем якості та технічного регулювання, необхідних для професійної діяльності та/або продовження освіти.

К01. Здатність застосовувати професійні знання й уміння у практичних ситуаціях.

К05. Здатність до пошуку, опрацювання та аналізу інформації з різних джерел.

К13. Здатність проводити аналіз складових похибки за їх суттєвими ознаками, оперувати складовими похибки/невизначеності у відповідності з моделями вимірювання на основі базових знань фундаментальних розділів математики.

К14. Здатність проєктувати склад інформаційно-вимірювальної системи у певній сфері діяльності та описувати принципи її роботи.

К15. Здатність, виходячи з вимірювальної задачі, пояснювати та описувати принципи побудови обчислювальних компонент засобів вимірювальної техніки.

К18. Здатність виконувати технічні операції при випробуванні, повірці, калібруванні та інших операціях метрологічної діяльності, зокрема, при плануванні та проведенні експериментальних досліджень, обробці та оприлюдненні їх результатів.

К21. Здатність до здійснення налагодження і дослідної перевірки окремих видів приладів в лабораторних умовах і на об'єктах.

Відповідно до освітньої програми видання спільно з іншими освітніми компонентами має забезпечити досягнення таких **програмних результатів навчання**:

ПР 01. Вміти знаходити обґрунтовані рішення при складанні структурної, функціональної та принципової схем засобів інформаційно-вимірювальної техніки для конкретних умов їх використання.

ПР 02. Знати і розуміти основні поняття метрології, теорії вимірювань, математичного та комп'ютерного моделювання, сучасні методи обробки та оцінювання точності вимірювального експерименту при забезпеченні якості продукції, процесів та систем.

ПР 03. Розуміти широкий міждисциплінарний контекст спеціальності, її місце в теорії пізнання і оцінювання об'єктів і явищ.

ПР 04. Вміти вибирати, виходячи з технічної задачі, стандартизований метод оцінювання та вимірювального контролю характерних властивостей продукції та параметрів технологічних процесів.

ПР 08. Вміти організовувати та проводити вимірювання, технічний контроль і випробування у визначених умовах.

ПР 09. Розуміти застосовувані методики та методи аналізу, проектування і дослідження, а також обмеження їх використання у конкретних умовах.

ПР 10. Вміти встановлювати раціональну номенклатуру метрологічних характеристик засобів вимірювання для отримання результатів вимірювання із заданою точністю для конкретних умов забезпечення якості продукції і процесів.

ПР 11. Знати стандарти з метрології, засобів вимірювальної техніки, метрологічного та організаційного забезпечення якості продукції, процесів і систем.

ПР 12. Знати та розуміти сучасні теоретичні та експериментальні методи досліджень з оцінюванням точності отриманих результатів.

ПР 14. Вміти організувати процедуру вимірювання, калібрування, випробувань при роботі в групі або окремо.

ПР 15. Знати та розуміти предметну область, її історію та місце в сталому розвитку техніки і технологій, у загальній системі знань про природу і суспільство.

ПР 18. Вільно володіти термінологічною базою спеціальності, розуміти науково-технічну документацію державної метрологічної системи України, міжнародні та міждержавні рекомендації та настанови за спеціальністю.

ПР 20. Знати та застосовувати базові засади інноваційної діяльності у фаховій сфері.

**Очікувані результати виконання завдань за наявним виданням** (згідно зі змістом навчальної дисципліни) представлені у таблицях 1 та 2.

**В узгодженості із завданнями наявного видання та в результаті вивчення дисципліни студент повинен:**

- **знати:** основні засади метрологічного забезпечення; принципи побудови та функціонування аналогових та цифрових засобів вимірювальної техніки; способи обробки і відображення інформації в засобах вимірювальної техніки; основні фізичні та математичні методи, що використовуються для одержання та обробки вимірювальної інформації із заданими точністю та достовірністю;

- **вміти:** класифікувати засоби вимірювальної техніки; визначати та забезпечувати їх адекватне використання; аналізувати структуру аналогових та цифрових вимірювальних приладів, обґрунтовувати вимоги до їх вузлів; пояснювати та описувати принципи побудови обчислювальних компонент засобів вимірювальної техніки; здійснювати технічні заходи із забезпечення метрологічної простежуваності, правильності, повторюваності та відтворюваності результатів вимірювань.

Таблиця 1 – Очікувані фахові результати навчання та виконання практичних і лабораторних робіт, індивідуальних завдань та курсової роботи

Код	Очікуваний результат навчання	Рівень
ОРН1	Знати основні одиниці фізичних величин, їх класифікацію та основи забезпечення єдності вимірювань	I
ОРН2	Розуміти будову і принципи роботи засобів вимірювальної техніки	II
ОРН3	Знати види та методи вимірювань, основи планування та організації вимірювань	I
ОРН4	Оцінювати метрологічні характеристики засобів вимірювань щодо їх відповідності вимогам норм точності	III
ОРН5	Застосовувати підходи до метрологічного забезпечення роботи технічних пристроїв	III
ОРН6	Описувати основні процеси вимірювань та випробувань, що ґрунтуються на хімічних реакціях	II
ОРН7	Досліджувати метрологічні характеристики інформаційно-вимірювальних комплексів та окремих засобів вимірювання	IV
ОРН8	Здійснювати вимірювання, зчитувати, обробляти, документувати та передавати вимірювальну інформацію	IV

ОРН9	Вибирати застосовні засоби вимірювань згідно поставленої технічної задачі	VI
ОРН10	Визначати та забезпечувати адекватне використання інформаційно-вимірювальних комплексів та окремих засобів вимірювання	V
ОРН11	Збирати та експериментально досліджувати в умовах лабораторії електричні кола, проводити вимірювання параметрів елементів та пристроїв електротехнічних кіл	IV
ОРН12	Оцінювати отримані результати, ухвалювати заходи із забезпечення єдності та потрібної точності вимірювань	VI

Таблиця 2 – Соціальні навички фахівця (за Б. Блумом), розвитку яких сприяє навчальна дисципліна та виконання практичних і лабораторних робіт, індивідуальних завдань та курсової роботи (ОН – «особистісні навички»; КН – «комунікаційні навички»)

Код	Соціальна навичка ( <i>soft skill</i> )
ОН1	Здатність управляти власним часом.
ОН2	Здатність самостійно приймати рішення.
ОН3	Здатність формулювати цілі.
ОН4	Розуміння важливості предмету вивчення як філософії забезпечення загальної якості.
КН1	Здатність зрозуміло формулювати думки.
КН3	Здатність дискутувати та надавати аргументовані відповіді.

Передумовами для вивчення дисципліни є попереднє опанування дисциплінами Циклу загальної підготовки («Історія та культура України» та ін.), загально-наукових та загально-технічних дисциплін Циклу професійної підготовки («Вища математика», «Фізика», «Хімія», «Електротехніка», «Електроніка»), фахових дисциплін цього циклу («Технічна творчість», «Товарознавство, якість та експертиза продукції і послуг» та ін.).

# 1 ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

Структуру вивчення дисципліни «Метрологічне забезпечення інформаційно-вимірювальних технологій» наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Структура вивчення дисципліни

Курс/ семестр	Загалом, годин	Лекцій, годин	Лабор. годин/ кількість	Практ., годин/ кількість	Самост., годин	Вид контролю
3/5	90	4	4/3	4/3	78	Індивідуальне завдання. Диф. залік
3/6	150	8	8/7	4/5	130	Індивідуальне завдання. Диф. залік
4/7	120	4	4/4	4/6	108	Курсова робота. Диф. залік

Робоча програма навчальної дисципліни передбачає самостійну роботу, контрольовану викладачем, що включає:

- вивчення лекційного матеріалу та підготовку до практичних та лабораторних занять;
- самостійне вивчення розділів дисципліни, що не викладаються на лекціях;
- виконання практичних і лабораторних робіт та індивідуальних завдань;
- виконання курсової роботи;
- підготовку до контрольних заходів (диф. заліки).

## 2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

### 2.1 Методичні вказівки до практичних занять

#### Практична робота № 1

**«Переведення одиниць простору, часу, механіки та енергії із позасистемних одиниць до одиниць системи СІ»**

**Мета:** набуття студентами умінь та навиків роботи з різноманітними одиницями вимірювання фізичних величин.

**Суть розробки:** переведення одиниць механіки і енергії, простору і часу з позасистемних одиниць в одиниці системи СІ.

**Термін виконання** – 1 година.

**Предметна сфера розробки** - документи відділу метрології на підприємстві.

**Порядок виконання роботи студентом**

1. Отримує від викладача завдання у вигляді набору позасистемних одиниць вимірювання механіки і енергії (міліграм, тонна, грам на кубічний сантиметр, текс, дина, кілограм-сила, бар, міліджоуль, кінська сила, кубічний сантиметр за секунду), простору і часу (дюйм, ярд, кубічний фут, лінія велика, лінія мала, тиждень, пікосекунда, декада).

2. Користуючись даними джерел [2...7], переводить позасистемні одиниці в одиниці системи СІ.

3. Оформлює результати у пояснювальній записці.

**Оформлення роботи:** згідно з відповідними методичними вказівками, що діють в УДУНТ [10]. Пояснювальна записка, як правило, містить: титульний аркуш; реферат; зміст; короткий опис розробки; висновки та рекомендації; перелік посилань.

Обсяг пояснювальної записки – 3...5 стор.; ф. А4; шрифт 14; 1 інтервал.

**Захист роботи** здійснюється у ході співбесіди студента з керівником. Наявність заліку враховується при формуванні заключної оцінки з навчальної дисципліни.

## Практична робота № 2

### **«Визначення тематики потенційних лабораторних і практичних робіт з використанням вимірювального оснащення кафедри СЯСМ»**

**Мета:** набуття студентами умінь та навиків з визначення тематики потенційних лабораторних і практичних робіт з використанням вимірювального оснащення кафедри Систем якості, стандартизації та метрології (СЯСМ).

**Суть розробки:** визначення тематики потенційних лабораторних і практичних робіт з використанням вимірювального оснащення кафедри СЯСМ.

**Термін виконання** – 1 година.

**Предметна сфера розробки** – навчальний процес на кафедрі СЯСМ.

**Порядок виконання роботи студентом**

1. Отримує наочну інформацію щодо оснащення кафедри СЯСМ вимірювальними приладами для здійснення навчального процесу за фахом.
2. Визначає різницю між суттю практичних та лабораторних робіт.
3. Користуючись отриманою інформацією в рамках ділової гри, пропонує тематику потенційних практичних і лабораторних робіт.
4. Складає план практичної і лабораторної роботи з визначенням переліку відповідного обладнання.
5. Оформлює результати у пояснювальній записці.

**Оформлення роботи:** згідно з відповідними методичними вказівками, що діють в УДУНТ [10]. Пояснювальна записка, як правило, містить: титульний аркуш; реферат; зміст; короткий опис розробки; висновки та рекомендації; перелік посилань.

Обсяг пояснювальної записки – 5...7 стор.; ф. А4; шрифт 14; 1 інтервал.

**Захист роботи** здійснюється у ході співбесіди студента з керівником. Наявність заліку враховується при формуванні заключної оцінки з навчальної дисципліни.

### Практична робота № 3

#### **«Застосування метрологічних характеристик засобів вимірювальної техніки для визначення очікуваних похибок вимірювань»**

**Мета:** практичне застосування метрологічних характеристик засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) для визначення очікуваних похибок вимірювань.

**Суть розробки:** вивчення номенклатури метрологічних характеристик ЗВТ, ознайомлення зі способами їх нормування і формами подання для визначення очікуваних похибок вимірювань (на прикладі вимірювання довжини).

**Термін виконання** – 2 години.

**Предметна сфера розробки:** адекватне використання ЗВТ метрологом підприємства.

**Теоретичні положення**

Метрологічні характеристики ЗВТ служать для:

- визначення результату вимірювання;
- розрахункової оцінки складової похибки чи невизначеності вимірювання, яка обумовлена властивостями засобу вимірювання;
  - розрахунку метрологічних характеристик вимірювальних каналів вимірювальних систем, які складаються із компонентів з нормованими метрологічними характеристиками;
  - оцінки технічного рівня та оптимального вибору засобів вимірювань;
  - використання контрольованих характеристик під час випробувань засобів вимірювань щодо придатності [3].

До основних метрологічних характеристик відносяться:

- градувальна характеристика;
- похибка засобу вимірювань;
- чутливість;
- ціна поділки шкали;
- поріг чутливості;
- діапазон вимірювань;
- варіація показів;
- розмах показів;
- варіація вихідного сигналу;
- динамічні характеристики (перехідна та імпульсна перехідна функції, амплітудні і фазові характеристики, передавальна функція) та ін.

До нормованих метрологічних характеристик включають ті, що відображають реальні властивості засобу вимірювання, і перелік цих характеристик повинен бути достатнім для оцінки інструментальної складової похибки вимірювань в умовах застосування засобу вимірювань [8].

Загальний перелік нормованих метрологічних характеристик засобу вимірювань, форми їх подання та методи нормування визначаються стандартами. В перелік можуть входити:

- межі вимірювань, межі шкали;
  - ціна поділки аналогових засобів;
  - вихідний код, число розрядів коду, номінальна ціна найменшого розряду для цифрових засобів;
  - градувальна характеристика;
  - похибка;
  - варіація показів приладу або вихідного сигналу перетворювача;
  - повний вхідний опір вимірювального пристрою, вимірювального перетворювача;
- та ін.

### **Порядок виконання роботи студентом**

1. Отримує від викладача ЗВТ з відповідним технічним описом.

2. Використовуючи технічний опис та інструкцію з експлуатації вказаного ЗВТ, формує відповідний перелік метрологічних характеристик у відповідності з інформацією, що надана вище.

3. З використанням отриманих даних, користуючись даними джерел [3...6], визначає основну відносну похибку ЗВТ.

4. Оформлює результати роботи у звіті.

**Оформлення роботи:** згідно з відповідними методичними вказівками, що діють в УДУНТ [10]. Пояснювальна записка, як правило, містить: титульний аркуш; реферат; зміст; опис розробки; висновки та рекомендації; перелік посилань.

**Обсяг пояснювальної записки** – 3...5 стор.; ф. А4; шрифт 14; 1 інтервал.

**Захист роботи:** здійснюється у ході співбесіди студента з керівником. Наявність заліку враховується при формуванні заключної оцінки з навчальної дисципліни.

#### Практична робота № 4

#### «Характеристики мір довжини та кутових розмірів»

**Мета:** набуття студентами умінь та навиків роботи із засобами вимірювальної техніки (ЗВТ) для вимірювань довжини та кутових розмірів.

**Суть розробки:** аналіз конструктивних характеристик приладів для вимірювань довжини та кутових розмірів.

**Термін виконання** – 1 година.

**Предметна сфера розробки:** метрологічне забезпечення діяльності підприємства.

#### **Порядок виконання роботи**

1. Студент отримує від викладача завдання у вигляді декількох ЗВТ для вимірювань довжини (наприклад, штангенциркуль, мікрометр, нутромір тощо) та кутових розмірів (наприклад, кутник, кутомір тощо). Обирає необхідне обладнання та об'єкти для відповідних вимірювань.

2. Користуючись джерелами [2, 3, 7], студент визначає, які конструктивні особливості обраних ЗВТ є важливими при вимірюванні. При цьому, необхідно обов'язково обґрунтувати використання кожної частини приладу для певних вимірювань.

3. Студент оформлює результати у пояснювальній записці.

**Оформлення роботи:** згідно з відповідними методичними вказівками, що діють в УДУНТ [10]. Пояснювальна записка, як правило, містить: титульний аркуш; резюме; зміст; опис розробки; висновки та рекомендації; перелік посилань.

**Обсяг пояснювальної записки** – 5...8 стор.; ф. А4; шрифт 14; 1 інтервал.

**Захист роботи:** здійснюється у ході співбесіди студента з керівником. Наявність заліку враховується при формуванні заключної оцінки з навчальної дисципліни.

## Практична робота № 5

### «Ознайомлення з конструкцією та прийомами використання кутоміра»

**Мета:** вивчення конструкції та прийомів використання кутоміра; опанування прийомів вимірювання кутоміром.

**Суть розробки:** вивчити конструкцію, наладку та прийоми вимірювання кутоміром.

**Термін виконання** – 0,5 години.

**Предметна сфера розробки:** метрологічне забезпечення діяльності підприємства.

#### **Теоретичні положення**

##### *1. Типи кутомірів:*

*УН* – для вимірювання зовнішніх кутів від  $0$  до  $180^\circ$  і внутрішніх кутів від  $40$  до  $180^\circ$ ; з величиною відліку за ноніусом  $2'$  (рисунок 1);

*УМ* – для вимірювання зовнішніх кутів від  $0$  до  $180^\circ$  з величиною відліку за ноніусом  $2'$  (хвилини).



Рисунок 1 - Вигляд універсального кутоміра [3]

##### *2. Застосування кутоміру*

2.1. Схема кутоміра УН представлена на рисунку 2.

Застосування механічного кутоміру (рисунок 2) має певні особливості.

Представлений на рис. 2 кутомір призначений для прямих вимірювань зовнішніх та внутрішніх кутів у діапазоні від 0 до 320°. Ціна поділки основної шкали - 1°, а ноніусної шкали - 2'.

*При вимірюванні зовнішніх кутів:*

- від 0 до 50° використовують повністю укомплектований кутомір. В такій комплектації одна грань кута – лінійка 7, а інша грань - лінійка 2; відлік ведуть по *правій* частині шкали; при вимірюванні зовнішніх кутів від 50° до 90° покази читають по *лівій* частині шкали;

- від 90° до 140° спочатку вилучають кутник 3 і на його місце прикріплюють лінійку 2, орієнтуючи її гострою частиною донизу. Відстань між вимірювальними гранями збільшується на 90°. Тому при вимірюванні кутів від 50° до 90° використовують *ліву* частину шкали, а при вимірюванні кутів від 90° до 140° - *праву* частину шкали, додаючи до показань 90°;

- від 140° до 180° від'єднують від кутника 3 лінійку 2 разом з хомутиком 1. В результаті, відстань між вимірювальними гранями збільшується ще на 90°. Відлік ведуть по *лівій* частині шкали, додаючи 90°.

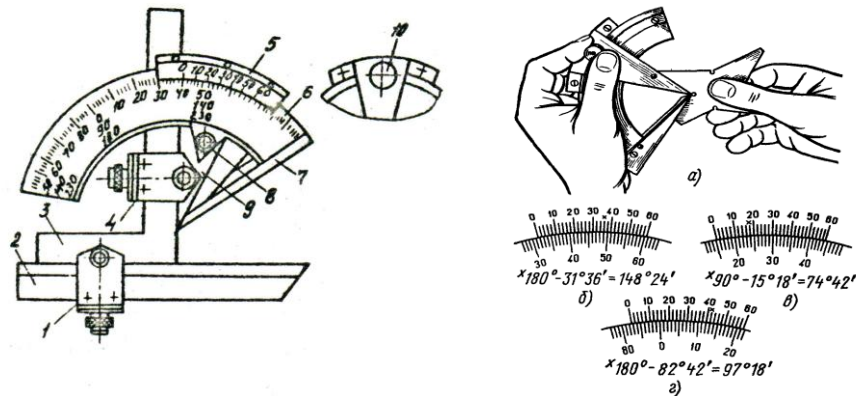


Рисунок 2 - Схема кутоміра типу УН (зліва): 1 – хомутик лінійки; 2 – лінійка основи; 3 – кутник; 4 – хомутик кутника; 5 – ноніусна шкала; 6 – основний сектор зі шкалою; 7 – лінійка сектора; 8 – затискач; 9 – ноніусний сектор; 10 – мікрометричний гвинт; приклад вимірювання внутрішніх кутів: елементи конструкції приладу (справа): а – прийом перевірки; читання показань: б – від 180<sup>0</sup> до 130<sup>0</sup>, в – від 130<sup>0</sup> до 40<sup>0</sup>, г – від 180<sup>0</sup> до 90<sup>0</sup> [2]

*При вимірюванні внутрішніх кутів:*

- від 180° до 130° використовують таке ж з'єднання деталей кутоміра, що і при вимірюванні зовнішніх кутів від 140° до 180°, але при цьому показання за *правою* частиною шкали кутоміра віднімають від 180 градусів (див. рис. 2, б);

- від 130° до 90° з кутоміра знімають кутник 3, лінійку 2 та з'єднують їх хомутики 4 та 2. В цьому разі вимірювальними гранями є грані лінійки 7 і пластинки ноніусного сектору 9. Зовнішній кут, замкнутий між ними, збільшується на 90°, а показання *правої* частини шкали віднімають від 90<sup>0</sup> (див. рис. 2, в);

- від  $90^0$  до 40 градусів показання *лівої* частини шкали віднімають від 180 градусів (див. рис. 2, з).

### **Порядок виконання роботи студентом**

1. Отримує від викладача кутомір та деталь, розміри кутів якої необхідно виміряти.
2. Ідентифікує складові конструкції кутоміра та їх призначення, користуючись наведеними вище теоретичними положеннями.
3. Пояснює прийоми вимірювання внутрішніх і зовнішніх кутів у застосовних діапазонах вимірювання.
4. У режимі взаємоперевірки оцінює відповідні знання та уміння інших студентів.
5. Оформлює результати у пояснювальній записці.

**Оформлення роботи:** згідно з відповідними методичними вказівками, що діють в УДУНТ [10]. Пояснювальна записка, як правило, містить: титульний аркуш; реферат; зміст; опис розробки; висновки та рекомендації; перелік посилань.

**Обсяг пояснювальної записки** – 3...5 стор.; ф. А4; шрифт 14; 1 інтервал.

**Захист роботи:** здійснюється у ході співбесіди студента з керівником. Наявність заліку враховується при формуванні заключної оцінки з навчальної дисципліни.

## Практична робота № 6

### **«Види та сфери застосування віскозиметрів»**

**Мета:** ознайомлення з конструкціями віскозиметрів у сферах їх застосування.

**Суть розробки:** вивчення номенклатури метрологічних характеристик віскозиметрів, їх видів та сфер застосування.

**Термін виконання** – 0,5 години.

**Предметна сфера розробки:** метрологічне забезпечення діяльності відділу технічного контролю підприємства.

### **Порядок виконання роботи студентом**

1. Отримує від викладача необхідні дані щодо конструкції різних видів віскозиметрів (наприклад, ротаційний, кульковий, капілярний тощо) з їх технічним описом.

2. Користуючись інформацією джерел [2, 3], визначає, які конструктивні особливості є важливими при використанні віскозиметрів для певної рідини. При цьому, необхідно обов'язково обґрунтувати принцип дії та призначення складових кожного виду конструкції.

3. Оформлює результати у пояснювальній записці з наданням схем віскозиметрів та коротким описом принципу дії (дозволяється у звіті використовувати схеми віскозиметрів у вигляді копій з джерел інформації з обов'язковим визначенням позицій, які узгоджені з текстом).

**Оформлення роботи:** згідно з відповідними методичними вказівками, що діють в УДУНТ [10]. Пояснювальна записка, як правило, містить: титульний аркуш; реферат; зміст; опис розробки; висновки та рекомендації; перелік посилань.

**Обсяг пояснювальної записки** – 5...8 стор.; ф. А4; шрифт 14; 1 інтервал.

**Захист роботи:** здійснюється у ході співбесіди студента з керівником. Наявність заліку враховується при формуванні заключної оцінки з навчальної дисципліни.

## Практична робота № 7

### **«Види та сфери застосування оснащення з визначення механічних властивостей матеріалів»**

**Мета:** ознайомлення з конструкціями оснащення, призначеного для визначення механічних властивостей матеріалів.

**Суть розробки:** вивчення номенклатури метрологічних характеристик оснащення, призначеного для визначення механічних властивостей матеріалів, їх видів та сфер застосування.

**Термін виконання** – 0,5 години.

**Предметна сфера розробки:** метрологічне забезпечення діяльності відділу технічного контролю підприємства.

#### **Порядок виконання роботи студентом**

1. Отримує від викладача завдання з конкретизацією видів та сфер застосування оснащення з визначення механічних властивостей певних матеріалів (розривні машини, твердоміри, види продукції).

2. Користуючись даними джерел [2...6], визначає необхідні параметри та види застосовного обладнання (оснащення) з визначення механічних властивостей матеріалів.

3. Обґрунтовує використання кожного з видів необхідного оснащення.

4. Оформлює результати у пояснювальній записці (дозволяється у звіті використовувати схеми обладнання та оснащення у вигляді копій з джерел інформації з обов'язковим визначенням позицій, які узгоджені з текстом).

**Оформлення роботи:** згідно з відповідними методичними вказівками, що діють в УДУНТ [10]. Пояснювальна записка, як правило, містить: титульний аркуш; реферат; зміст; опис розробки; висновки та рекомендації; перелік посилань.

**Обсяг пояснювальної записки** – 5...8 стор.; ф. А4; шрифт 14; 1 інтервал.

**Захист роботи:** здійснюється у ході співбесіди студента з керівником. Наявність заліку враховується при формуванні заключної оцінки з навчальної дисципліни.

## Практична робота № 8

### «Конструктивні особливості приладів для оптичних вимірювань»

**Мета:** опанування студентами інформацією щодо засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) для оптичних вимірювань.

**Суть розробки:** аналіз конструктивних характеристик приладів для оптичних вимірювань.

**Термін виконання** – 1 година.

**Предметна сфера розробки:** метрологічне забезпечення діяльності підприємства.

#### **Порядок виконання роботи студентом**

1. Отримує від викладача завдання у вигляді конкретизації переліку ЗВТ для оптичних вимірювань певних характеристик продукції (лупа, гоніометр, оптичний мікроскоп тощо, види продукції).

2. Користуючись даними джерел [2, 4, 5], визначає необхідні параметри та види застосовного обладнання (оснащення) з визначення оптичних характеристик продукції (матеріалів).

3. Обґрунтовує використання кожного з видів необхідного оснащення.

4. Оформлює результати у пояснювальній записці (дозволяється у звіті використовувати схеми обладнання та оснащення у вигляді копій з джерел інформації з обов'язковим визначенням позицій, які узгоджені з текстом).

**Оформлення роботи:** згідно з відповідними методичними вказівками, що діють в УДУНТ [10]. Пояснювальна записка, як правило, містить: титульний аркуш; реферат; зміст; опис розробки; висновки та рекомендації; перелік посилань.

**Обсяг пояснювальної записки** – 5...8 стор.; ф. А4; шрифт 14; 1 інтервал.

**Захист роботи:** здійснюється у ході співбесіди студента з керівником. Наявність заліку враховується при формуванні заключної оцінки з навчальної дисципліни.

## Практична робота № 9

### «Оснащення для вимірювання параметрів теплової енергії»

**Мета:** ознайомлення студентів із засобами вимірювальної техніки (ЗВТ) для вимірювань параметрів теплової енергії.

**Суть розробки:** визначення та аналіз конструктивних характеристик приладів для вимірювань теплової енергії.

**Термін виконання** – 0,5 години.

**Предметна сфера розробки:** метрологічне забезпечення діяльності підприємства.

#### **Порядок виконання роботи студентом**

1. Отримує від викладача завдання у вигляді конкретизації переліку ЗВТ щодо вимірювань параметрів теплової енергії у певних умовах (термометри різних видів, термопари тощо) та ситуацій, які моделюють необхідність відповідних вимірювань.

2. Користуючись даними джерел [2, 3, 7], визначає необхідний діапазон вимірювань, застосовне обладнання та його конструктивні особливості, що є важливими при вимірюванні у визначених ситуаціях. При цьому, необхідно обов'язково обґрунтувати використання кожної частини оснащення.

3. Оформлює результати у пояснювальній записці (дозволяється у звіті використовувати схеми обладнання та оснащення у вигляді копій з джерел інформації з обов'язковим визначенням позицій, які узгоджені з текстом).

**Оформлення роботи:** згідно з відповідними методичними вказівками, що діють в УДУНТ [10]. Пояснювальна записка, як правило, містить: титульний аркуш; реферат; зміст; опис розробки; висновки та рекомендації; перелік посилань.

**Обсяг пояснювальної записки** – 4...7 стор.; ф. А4; шрифт 14; 1 інтервал.

**Захист роботи:** здійснюється у ході співбесіди студента з керівником. Наявність заліку враховується при формуванні заключної оцінки з навчальної дисципліни.

## Практична робота № 10 «Прилади обліку витрат газу і води»

**Мета:** ознайомлення студентів із засобами вимірювальної техніки (ЗВТ) для вимірювань витрат газу і води.

**Суть розробки:** аналіз конструктивних характеристик приладів для вимірювань витрат газу і води.

**Термін виконання** – 0,5 години.

**Предметна сфера розробки:** метрологічне забезпечення діяльності підприємства.

### **Порядок виконання роботи студентом**

1. Отримує від викладача завдання у вигляді конкретизації переліку ЗВТ для вимірювань витрат газу та води, відповідні моделі ЗВТ (лічильників) та схеми їх конструкції, а також ситуацій, які моделюють необхідність відповідних вимірювань.

2. Користуючись даними джерел [4...7], а також моделями ЗВТ визначає, які їх конструктивні особливості є важливими при визначенні витрат газу і води. При цьому, необхідно обов'язково обґрунтувати використання кожної частини приладу.

3. Зіставляє складові конструкцій приладів для визначення витрат вказаних речовин.

4. Оформлює результати у пояснювальній записці (дозволяється у звіті використовувати схеми обладнання та оснащення у вигляді копій з джерел інформації з обов'язковим визначенням позицій, які узгоджені з текстом).

**Оформлення роботи:** згідно з відповідними методичними вказівками, що діють в УДУНТ [10]. Пояснювальна записка, як правило, містить: титульний

аркуш; реферат; зміст; опис розробки; висновки та рекомендації; перелік посилань.

**Обсяг пояснювальної записки** – 4...7 стор.; ф. А4; шрифт 14; 1 інтервал.

**Захист роботи:** здійснюється у ході співбесіди студента з керівником. Наявність заліку враховується при формуванні заключної оцінки з навчальної дисципліни.

## Практична робота № 11

### «Оснащення для вимірювання електричних величин»

**Мета:** набуття студентами умінь та навиків роботи із засобами вимірювальної техніки (ЗВТ) для вимірювань електричних величин.

**Суть розробки:** аналіз конструктивних характеристик приладів для вимірювань електричних величин.

**Термін виконання** – 0,5 години.

**Предметна сфера розробки:** метрологічне забезпечення діяльності підприємства.

#### **Порядок виконання роботи студентом**

1. Отримує від викладача завдання у вигляді схем конструкції ЗВТ для вимірювань конкретних електричних величин (сили та напруги електричного струму (електрорушійної сили), активного опору, електричної ємності тощо), а також самі прилади.

2. Користуючись даними джерел [2, 3, 5, 6], а також наданими приладами, визначає, які конструктивні особливості мають стрілочні (різних систем вимірювання) та електронні вимірювачі, аналізує інформацію, що наведена на шкалі та/або самому приладі.

3. Оформлює результати у пояснювальній записці (дозволяється у звіті використовувати схеми обладнання та оснащення у вигляді копій з джерел інформації з обов'язковим визначенням позицій, які узгоджені з текстом).

**Оформлення роботи:** згідно з відповідними методичними вказівками, що діють в УДУНТ [10]. Пояснювальна записка, як правило, містить: титульний аркуш; реферат; зміст; опис розробки; висновки та рекомендації; перелік посилань.

**Обсяг пояснювальної записки** – 5...8 стор.; ф. А4; шрифт 14; 1 інтервал.

**Захист роботи:** здійснюється у ході співбесіди студента з керівником. Наявність заліку враховується при формуванні заключної оцінки з навчальної дисципліни.

## Практична робота № 12 «Витратоміри електричної енергії»

**Мета:** ознайомлення студентів із засобами вимірювальної техніки (ЗВТ) для вимірювань витрат електричної енергії.

**Суть розробки:** аналіз конструктивних характеристик приладів для вимірювань витрат електричної енергії.

**Термін виконання** – 0,5 години.

**Предметна сфера розробки:** метрологічне забезпечення діяльності підприємства.

### **Порядок виконання роботи студентом**

1. Отримує від викладача завдання у вигляді схеми конструкції ЗВТ (лічильника) для вимірювань витрат електричної енергії, а також макети самих приладів.

2. Користуючись даними джерел [3...5], а також наданими макетами приладів, визначає, які конструктивні особливості є важливими при вимірюванні. При цьому, необхідно обов'язково обґрунтувати використання кожної частини приладу.

3. Оформлює результати у пояснювальній записці (дозволяється у звіті використовувати схеми обладнання та оснащення у вигляді копій з джерел інформації з обов'язковим визначенням позицій, які узгоджені з текстом).

**Оформлення роботи:** згідно з відповідними методичними вказівками, що діють в УДУНТ [10]. Пояснювальна записка, як правило, містить: титульний аркуш; реферат; зміст; опис розробки; висновки та рекомендації; перелік посилань.

**Обсяг пояснювальної записки** – 3...5 стор.; ф. А4; шрифт 14; 1 інтервал.

**Захист роботи:** здійснюється у ході співбесіди студента з керівником. Наявність заліку враховується при формуванні заключної оцінки з навчальної дисципліни.

Практична робота № 13  
«Зіставлення параметрів іонізуючого випромінювання»

**Мета:** набуття студентами умінь та навиків щодо зіставлення параметрів іонізуючого випромінювання.

**Суть розробки:** ідентифікація й аналіз характеристик та зіставлення складових іонізуючого випромінювання.

**Термін виконання** – 1 година.

**Предметна сфера розробки:** метрологічне забезпечення життєдіяльності персоналу підприємства.

**Теоретичні положення**

Для вимірювання іонізуючих випромінювань застосовують *радіометри* (рисунок 1).

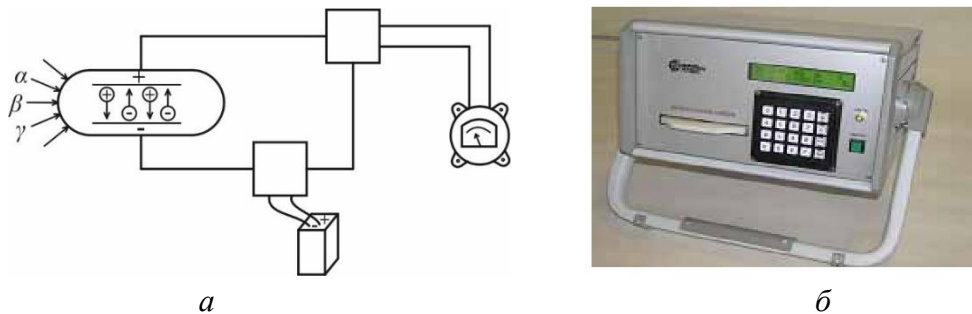


Рисунок 1 – Схема реєстрації радіоактивного випромінювання у радіометрі та зовнішній вигляд його товарної моделі [2]

У широкому сенсі «радіометр» – це загальна назва приладів, що призначені для вимірювання енергетичних характеристик деякого випромінювання.

Серед них виділяють:

- оптичний радіометр (*болометр, радіометр Крукса*) – прилад для вимірювання потоку світлової енергії, заснований на тепловій дії світла;
- акустичний радіометр – прилад для вимірювання звукового тиску;
- радіометр радіотехнічний для вимірювання потужності випромінювання радіохвиль, зокрема, приймач радіотелескопа;
- прилади для вимірювання активності радіоактивних об'єктів (характеристик іонізуючого випромінювання: потоку, його щільності, активності та ін.) – це так звані *дозиметри*.

У вузькому сенсі – радіометри (в тому числі – радіометричні блоки) – це прилади, що вимірюють щільність потоку часток. Їх зазвичай застосовують для контролю поверхневих забруднень альфа- та бета-випромінюючими нуклідами. Ці прилади вимірюють число часток («част.»), які перетинають одиничну площу блока детектування за одиницю часу в  $\text{част./}(\text{см}^2 \cdot \text{хв.})$ , або рідше - в  $\text{част./}(\text{см}^2 \cdot \text{с})$ .

За загальною схемою (див. рис. 1, а) в якості первинного вимірювального перетворювача в дозиметрах застосовуються газорозрядні індикатори випромінювання, засновані на ефекті лавинного пробію іонізованого простору при напруженості поля, близькій до критичної величини, але без її перевищення. У цьому стані в просторі датчика від джерела живлення підтримується напруженість поля, гранична для даної відстані між електродами, але недостатня для виникнення між ними самостійного пробію.

Під впливом складових іонізуючого випромінювання, які потрапляють до простору датчика, виникає вимушена іонізація (з'являються вільні носії заряду), яка супроводжується лавинним електричним пробієм, орієнтованим в напрямку «катод-анод». Оскільки власна ємність датчика мінімальна, виникає повний розряд його електростатичного потенціала. Після цього пробій затухає, а потенціал зменшується до мінімального рівня. На час пробію датчик переходить у замкнений стан, що формує імпульс, який пропускається конденсатором. Останній теж розряджається, завдяки чому імпульс, який відповідає частинці або кванту радіаційного випромінювання надходить на вхід *атенюатора*, а у датчика при цьому настає мертвий час вимірювання (час перезарядження просторового конденсатора до нижнього рівня, протягом якого він не здатний реєструвати випромінювання). Атенюатор формує прямокутний імпульс з визначеною амплітудою і передає його на лічильник імпульсів. Останній сприймає ці імпульси протягом певного часу, що дає уявлення про дозу фонового зовнішнього випромінювання.

Час вимірювання задається кварцовим таймером як калібрована постійна величина, безпосередньо пов'язана із сумарним робочим об'ємом датчика (датчиків). Після закінчення часу вимірювання високовольтний генератор живлення датчиків вимикається, і видається сигнал про закінчення вимірювального циклу. Це вимагає додержуватись часу циклу вимірювань 1...5 хвилин (у залежності від кількості датчиків у всенаправленій системі) або наявності джерела випромінювання, яке стаціонарно орієнтовано щодо приладу під час експозиції. Тому таку схему неможливо використовувати для пошукових цілей.

*Радіоактивність* – це явище перетворення (радіоактивний розпад) нестійкого ізотопу хімічного елемента в інший ізотоп (зазвичай іншого елемента) шляхом випромінювання гамма-квантів, елементарних частинок або ядерних фрагментів. Ці сильно проникаючі потоки частинок іноді називають *ядерним випромінюванням*.

Ядерне випромінювання може проявлятися по-різному, що фіксується поведінкою типів променів в магнітному полі (рисунок 2):

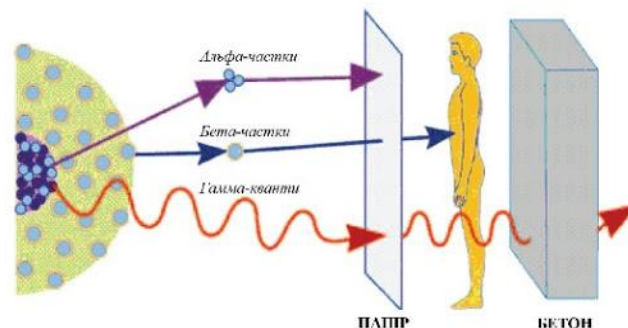


Рисунок 2 – Схема впливу на людину складових радіаційного випромінювання [5]

- промені першого типу відхиляються так само, як потік позитивно заряджених частинок. Їх назвали *альфа-променями* ( $\alpha$ -промені);
- промені другого типу відхиляються в магнітному полі так само, як потік негативно заряджених частинок (в протилежну сторону), їх назвали *бета-променями* ( $\beta$ -промені);
- промені третього типу, які не відхиляються магнітним полем, назвали *гамма-променями* ( $\gamma$ -промені).

$\alpha$ -промені зумовлені  $\alpha$ -розпадом – самовільним розпадом атомного ядра хімічного елементу з масовим числом  $A \geq 200$ . Всередині таких ядер за рахунок властивості насичення ядерних сил утворюються відособлення  $\alpha$ -частинок, кожна з яких складається з двох протонів і двох нейтронів. Утворена таким чином  $\alpha$ -частинка сильніше відчуває кулонівське відштовхування від інших протонів ядра, ніж окремі протони.

$\beta$ -промені є потоком електронів, який зумовлений їх слабкою взаємодією з ядром важкого елементу. Після  $\beta$ -розпаду атомний номер елемента змінюється, і він зміщується на одну клітинку в таблиці Менделєєва.

$\gamma$ -промені – це електромагнітні хвилі із довжиною хвилі, меншою за розміри атома. Вони утворюються зазвичай при переході ядра атома із збудженого стану в основний стан. При цьому, кількість нейтронів чи протонів у ядрі не змінюється, а отже ядро залишається тим самим елементом. Однак випромінювання гамма-променів може супроводжувати й інші ядерні реакції.

Для кожного типу розпаду є характерний час, за який розпадається половина всіх радіоактивних ядер. Цей час називається періодом напіврозпаду, який для різних радіоактивних ізотопів може лежати в дуже широких межах – від наносекунд до мільйонів років. Ізотопи з малим періодом напіврозпаду дуже радіоактивні, але швидко зникають. Ізотопи з великим періодом напіврозпаду слабо радіоактивні, але ця радіоактивність зберігається дуже довгий час.

Детектування радіоактивного випромінювання ґрунтується на його дії на речовину, зокрема, її іонізацію. Наприклад, у фотоемульсії під дією радіації відбуваються хімічні реакції, і це є одним із методів детектування.

Інший принцип детектування використовується в лічильниках Гейгера завдяки виникненню вимушеного електричного розряду в опромінену газі внаслідок зміни його провідності. Рівень радіоактивності залежить від кількості нестабільних ізотопів і часу їхнього життя. Наявність радіоактивних речовин у середовищі (ступінь забруднення ними) часто буває дуже малою, що практично не дає можливості застосувати прийоми зважування. Саме тому мірою радіоактивних речовин є не вага, а *активність* радіоізотопів.

Активність радіоактивного елемента визначається числом розпадів за одиницю часу. Вона характеризує абсолютну швидкість радіоактивного розпаду радіонукліда. Активність радіоактивної речовини пропорційна її кількості й обернено пропорційна періоду напіврозпаду.

У Системі СІ одиницею вимірювання *активності речовини* (активність нукліда в радіоактивному джерелі) визначено *бекерель* (Бк). 1 Бк – це така кількість радіоактивної речовини, в якій за секунду відбувається один акт розпаду. Практично ця величина дуже мала

і незручна, тому частіше використовують позасистемну одиницю *кюри* ( $Ku$ ) – кількість радіоактивної речовини в якій проходить 37 мільярдів актів розпаду за 1 с.

Відповідним чином, за одиницю *радіоактивності площі* (питому забрудненість площі) у системі СІ прийнято *бекерель на квадратний кілометр* ( $Bk/km^2$ ). За одиницю питомої вагової активності – *бекерель на кілограм* ( $Bk/kg$ ); для рідкого і газоподібного середовища – питомою об'ємною активністю є *бекерель на літр* ( $Bk/l$ ).

Аналогічно, при використанні посистемної одиниці  $Ku$  застосовують *кюри на квадратний кілометр* ( $Ku/km^2$ ), *кюри на кілограм* ( $Ku/kg$ ) та *кюри на літр* ( $Ku/l$ ).

При взаємодії з матеріалом ядерне (іонізуюче) випромінювання здатне суттєво змінювати його фізичні властивості. Важкі ядерні частинки, а також потоки швидких електронів з енергією більше 1 Мев, проходячи через тверде тіло, вибивають атоми з вузлів кристалічної ґратки, переміщаючи їх у міжвузля. Так утворюються дефекти кристалів типу «вакансія+атом» у міжвузлі. При досить великій дозі опромінення кристалічне тіло може навіть перейти в аморфний стан. При енергіях менших за 1 Мев потоки електронів зумовлюють збудження та іонізацією атомів і молекул тіла.

$\beta$ -частинки менш ефективно взаємодіють з речовинами (2...3 м на повітрі, 1...10 мм у рідинах).

$\gamma$ -кванти мають найбільшу проникну здатність. При їх проході крізь речовину кванти перетворюються на пару «електрон-позитрон» за умови, що енергія  $\gamma$ -кванту перевищує енергію цих двох частинок ( $>1$  MeV).

Розрізняють *експозиційну, поглинуту й еквівалентну* дози випромінювання.

*Експозиційною* називають дозу випромінювання, що характеризує іонізаційний ефект рентгенівського і гамма-випромінювань у повітрі від радіоактивного джерела і поле, створене ним. Експозиційну дозу випромінювання гамма-променів у системі СІ вимірюють у *кулонах на кілограм* ( $Kl/kg$ ). Цій одиниці експозиційної дози випромінювання відповідає утворення в кожному кілограмі повітря іонів із загальним зарядом, що дорівнює одному *кулону*. Також експозиційну дозу вимірюють несистемною одиницею – *рентген* (R). Один *рентген* – це така доза рентгенівського або гамма-випромінювання, яка в 1  $cm^3$  сухого повітря при температурі 0 °C і тиску 760 мм рт. ст. створює приблизно 2 млрд. пар іонів. Один  $Kl/kg$  дорівнює 3876 R. На практиці застосовують менші часткові одиниці: *мілірентген* (1 R=1000 мR; 1 мR=10<sup>-3</sup> R) і *мікрорентген* (1 R=1000000 мкR; 1 мкR=10<sup>-6</sup> R).

Слід мати на увазі, що одиниця *рентген* є мірою не виділеної деяким радіоактивним джерелом енергії, а іонізації речовини при її радіоактивному опроміненні.

*Потужність експозиційної дози (рівень радіації)* – це інтенсивність випромінювання, що утворюється за одиницю часу і характеризує швидкість накопичення дози у повітрі. Одиницею *потужності експозиційної дози* в системі СІ є *ампер на кілограм* ( $A/kg$ ), а відповідною несистемною одиницею є *рентген за годину* (R/год), *рентген за секунду* (R/с), або часткові одиниці: *мілірентген за годину* (мR/год), *мікрорентген за годину* (мкR/год).

Мірою дії іонізуючих випромінювань на речовину є *поглинута доза випромінювання* – це кількість енергії радіоактивних випромінювань, поглинутих одиницею об'єму середовища, яке опромінюється. Одиниця випромінювання поглинутої дози тканинами організму в

системі СІ – джоуль на кілограм (Дж/кг), або *грей*. Також застосовують несистемну одиницю – *рад*. Одному *раду* відповідає кількість енергії 100 *ерг*, поглинутої 1 г речовини, що опромінюється, тобто  $1 \text{ рад} = 0,01 \text{ Дж/кг}$ .

Одиницею *потужності поглинутої дози* в системі СІ є *грей за секунду* (Гр/с), або *джоуль на кілограм за секунду* (Дж/(кг·с)), а несистемною – *рад за секунду* (рад/с); співвідношення між ними:  $1 \text{ Гр/с} = 1 \text{ Дж (кг·с)}$ ;  $1 \text{ Гр/с} = 100 \text{ рад}$ ,  $1 \text{ рад} = 0,01 \text{ Гр/с}$ .

Але *поглинута доза* не враховує те, що вплив на об'єкти (організми) однакової дози різних випромінювань неоднаковий. Наприклад,  $\alpha$ -випромінювання у 20 разів, а  $\beta$ -випромінювання у 10 разів небезпечніше для людини від  $\gamma$ -випромінювання. Це пов'язано з неоднаковою питомою щільністю іонізації, викликані різними видами випромінювань.

Через це уводять категорію «*еквівалентна доза*», яка характеризує різний біологічний ефект різних видів іонізуючого випромінювання під час опромінювання організму однаковими дозами. Еквівалентна доза опромінення використовується для оцінки дії випромінювання на живі організми, в першу чергу людей і тварин.

Так, кількість іонів, які утворюються під дією випромінювання на одиниці шляху в тканинах, тобто щільність іонізації  $\alpha$ -частинками у сотні разів вища, від  $\gamma$ -променів. Тому введено поняття «*відносна біологічна активність*», яка показує співвідношення поглинутих доз різних видів випромінювання, що викликають однаковий біологічний ефект.

Щоб урахувати нерівномірність ураження від різних видів випромінювань уводять «*коефіцієнт якості*», на який необхідно помножити величину поглинутої дози від певного виду випромінювання, щоб одержати еквівалентну дозу. Всі міжнародні і національні норми встановлені в еквівалентній дозі опромінення.

Одиницею еквівалентної дози в системі СІ є *зіверт* (Зв). Один зіверт дорівнює поглинутій дозі в 1 Дж/кг (для рентгенівського, гамма- та бета-випромінювань).

Для урахування біологічної ефективності випромінювань уведена несистемна одиниця поглинутої дози - біологічний еквівалент рентгена – *бер*. Один бер – це доза будь-якого виду випромінювання, яка створює в організмі такий же біологічний ефект, як і рентгенівське або  $\gamma$ -випромінювання. Співвідношення між одиницею еквівалентної дози в системі СІ і несистемною одиницею:  $1 \text{ Зв} = 100 \text{ бер}$ ,  $1 \text{ бер} = 0,01 \text{ Зв}$ .

Вираження дози в *берах* проводиться тоді, коли необхідно оцінити загальний біологічний ефект, незалежно від типу діючих випромінювань.

Одиницею *потужності еквівалентної дози* в системі СІ є *зіверт за секунду* (Зв/с), а несистемною одиницею є *бер за секунду* (бер/с); співвідношення між ними:  $1 \text{ Зв/с} = 100 \text{ бер/с}$ ,  $1 \text{ бер/с} = 0,01 \text{ Зв/с}$ .

### **Порядок виконання роботи студентом**

1. Ознайомлюється зі складовими іонізуючого випромінювання та характеристиками їх оцінювання.
2. З використанням даних джерел інформації [2...5] і наведених даних, визначає розмірності параметрів іонізуючого випромінювання та проводить їх взаємне зіставлення.

3. Визначає, який чутливий елемент має бути у складі приладів з вимірювань складових іонізуючого вимірювання.

4. Оформлює результати у пояснювальній записці (дозволяється у звіті використовувати схеми обладнання та оснащення у вигляді копій з джерел інформації з обов'язковим визначенням позицій, які узгоджені з текстом).

**Оформлення роботи:** згідно з відповідними методичними вказівками, що діють в УДУНТ [10]. Пояснювальна записка, як правило, містить: титульний аркуш; реферат; зміст; опис розробки; висновки та рекомендації; перелік посилань.

**Обсяг пояснювальної записки** – 5...8 стор.; ф. А4; шрифт 14; 1 інтервал.

**Захист роботи:** здійснюється у ході співбесіди студента з керівником. Наявність заліку враховується при формуванні заключної оцінки з навчальної дисципліни.

## Практична робота № 14

### «Прилади для вимірювань магнітних величин»

**Мета:** ознайомлення студентів із засобами вимірювальної техніки (ЗВТ) для вимірювань магнітних величин.

**Суть розробки:** аналіз конструктивних характеристик приладів для вимірювань магнітних величин.

**Термін виконання** – 1 година.

**Предметна сфера розробки:** метрологічне забезпечення діяльності підприємства.

#### **Порядок виконання роботи студентом.**

1. Отримує від викладача завдання у вигляді схеми конструкції ЗВТ для вимірювань магнітних величин.

2. Користуючись джерелами [2...6], визначає, які конструктивні особливості приладу є важливими при вимірюванні. При цьому, необхідно обов'язково обґрунтувати використання кожної частини приладу.

3. Оформлює результати у пояснювальній записці (дозволяється у звіті використовувати схеми обладнання та оснащення у вигляді копій з джерел інформації з обов'язковим визначенням позицій, які узгоджені з текстом).

**Оформлення роботи:** згідно з відповідними методичними вказівками, що діють в УДУНТ [10]. Пояснювальна записка, як правило, містить: титульний

аркуш; реферат; зміст; опис розробки; висновки та рекомендації; перелік посилань.

**Обсяг пояснювальної записки** – 5...8 стор.; ф. А4; шрифт 14; 1 інтервал.

**Захист роботи:** здійснюється у ході співбесіди студента з керівником. Наявність заліку враховується при формуванні заключної оцінки з навчальної дисципліни.

## 2.2 Методичні вказівки до лабораторних занять

### Лабораторна робота № 1

#### **«Групування за видами засобів вимірювальної техніки з оснащення лабораторії метрології»**

**Мета:** оцінка готовності оснащення лабораторії метрології кафедри Систем якості, стандартизації та метрології (СЯСМ) УДУНТ до проведення лабораторних робіт.

**Суть розробки:** аналіз призначення та можливостей з використання засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) лабораторії метрології кафедри СЯСМ у навчальному процесі.

**Термін виконання** – 1 година.

**Предметна сфера розробки:** забезпечення навчального процесу кафедрою СЯСМ.

**Загальні теоретичні положення.**

ЗВТ класифікують за декількома категоріями.

*За функціональним призначенням – роллю, виконуваною в системі забезпечення єдності вимірювань, ЗВТ поділяють на:*

– *метрологічні*, призначені в якості *еталону* для метрологічних цілей – відтворення одиниці та (або) її зберігання, або передачі розміру одиниці робочим ЗВ. Метрологічні засоби вимірювань досить нечисленні. Вони розробляються, виробляються і експлуатуються в спеціалізованих науково-дослідних центрах;

– *робочі*, які застосовуються для вимірювань, не пов'язаних з передачею розміру одиниць. Таких ЗВ, що використовуваних на практиці, переважна більшість.

Еталони використовуються для забезпечення єдності вимірювань. Класифікуються еталони за принципом підпорядкованості. За цим критерієм еталони бувають *первинні* і *вторинні*.

*Первинний еталон* повинен служити цілям забезпечення відтворення, зберігання одиниці та передачі розмірів з максимальною точністю, яку можна отримати в даній сфері вимірювань.

У свою чергу, можуть бути *спеціальні первинні еталони*, які призначені для відтворення одиниці в умовах, коли безпосередня передача розміру одиниці з необхідною достовірністю практично неможлива, наприклад, для малих і великих значень напруги електричного струму, струмів надвисоких частот й ін. Їх затверджують за допомогою ДСТУ у вигляді державних еталонів.

*Вторинні еталони* відтворюють одиницю в специфічних умовах, замінюючи для цих умов первинний еталон. Вони створюються і затверджуються для забезпечення мінімального зносу державного еталону. Вторинні еталони за призначенням поділяються на:

- *еталони-копії*, призначені для передачі розмірів одиниць робочим еталонам;
- *еталони-порівняння*, призначені для перевірки неушкодженості державного еталона, а також для цілей його заміни за умови псування або втрати;
- *еталони-свідки*, призначені для звірення еталонів, які по ряду різних причин не підлягають безпосередньому сполученню один з одним.

Іноді в цю класифікацію включають і *робочі еталони*, які відтворюють одиницю від вторинних еталонів і служать для передачі розміру еталону нижчого розряду.

*Робочі засоби вимірювань (РЗВ)* – це засоби вимірювання, які використовуються для здійснення технічних вимірювань в різних умовах. Виділяють:

- лабораторні засоби вимірювання зазвичай застосовуються при проведенні наукових досліджень;
- виробничі засоби вимірювання застосовуються при здійсненні контролю над протіканням різних технологічних процесів і якості продукції;
- польові засоби вимірювання, які застосовуються в процесі експлуатації технічних пристроїв, наприклад, літаків, автомобілів тощо.

До кожного окремого виду робочих засобів вимірювання пред'являються певні вимоги. Зокрема, вимоги до лабораторних робочих засобів вимірювання – це високий ступінь точності і чутливості; до виробничих і польових РЗВ – високий ступінь стійкості до вібрацій, ударів, перепадів температури, вологості.

*Залежно від ступеня стандартизації* ЗВТ поділяють на:

- стандартизовані, виготовлені відповідно до вимог національного стандарту;
- нестандартизовані - унікальні засоби вимірювань, призначені для розв'язання спеціальної вимірювальної задачі, в стандартизації вимог до яких немає потреби. Нестандартизовані ЗВТ не підлягають державним випробуванням (повірці), а потребують метрологічної атестації.

*За конструктивним виконанням* засоби вимірювання поділяються на: заходи; вимірювальні перетворювачі; вимірювальні прилади; вимірювальні установки; ізмерітельно-інформаційні системи. *За конструктивною реалізацією* узагальнено, різновиди ЗВТ поділяються у відповідності зі схемою на рисунку 1.

В узгодженні з цими даними, всі засоби вимірювань поділяються на :

- *елементарні* (міри, калібри);
- *універсальні*;
- *спеціалізовані*.

*Мірою* називається засіб вимірювання, призначений для відтворення фізичної величини заданого розміру (значення). Міри бувають однозначні, багатозначні і набори.

*Міра величини* являє собою «елементарний» засіб вимірювання з певними характеристиками, який призначений для відтворення фізичної величини визначеного розміру і багаторазово використовується для вимірювання. Можна прийняти, що міри величин займають проміжне положення між еталонами і робочими засобами вимірювань.



Рисунок 1 – Класифікація засобів вимірювань за їх конструктивною реалізацією [3]

До мір відносяться, наприклад, плоскопаралельні плитки, кутові міри, омічні опори фіксованої величини, індикаторний папір для визначення рівня кислотності розчину, зразки кольору для колориметрії та ін.

Виділяють:

- однозначні міри;
- багатозначні міри;
- набори мір.

*Однозначні міри* відтворюють фізичну величину одного розміру.

Серед *однозначних мір* виділяють *стандартні зразки*.

Розрізняють два види стандартних зразків:

- стандартні зразки складу;
- стандартні зразки властивостей.

*Стандартний зразок складу* речовини (або матеріалу) – це зразок з фіксованими значеннями величин, що кількісно відображають вміст всіх складових частин в речовині або в матеріалі.

*Стандартний зразок властивостей* речовини (або матеріалу) – це зразок з фіксованими значеннями величин, що відображають властивості речовини або матеріалу (фізичні, біологічні та ін.). Прикладом може бути взірець кольору в колориметрії.

*Багатозначні міри* відтворюють ряд однойменних величин різного розряду (наприклад, конденсатор змінної ємності).

*Набір мір* містить комплект засобів, що застосовуються як окремо, так і в різних поєднаннях. Набір мір, конструктивно об'єднаний в одне ціле з перемикаючими пристроями для відтворення ряду однойменних величин різного значення (розміру), називається *магазином* (наприклад, «магазин опорів», який використовується для вимірювання електричних опорів із застосуванням схеми врівноваженого моста, та ін.).

При використанні мір об'єкт вимірювання порівнюють з мірою за допомогою *компараторів* (відповідних технічних пристосувань). Наприклад, при зважуванні предмету на важільних вагах гири є мірами, а компаратором - важелі вагів.

*Калібри (шаблони)* – це безшкальний засіб вимірювальної техніки, який відтворює геометричні параметри елементів виробу, що визначаються заданими граничними лінійними чи кутовими розмірами, і який при контролі контактує з елементом виробу поверхнями, лініями чи точками. Калібри не придатні для визначення числових значень дійсних розмірів деталей. З їх допомогою можна тільки перевірити відповідність граничних розмірів деталей в полі їх допусків для оцінки придатності самої деталі. Тобто, за допомогою калібрів з'ясовують виходить чи не виходить розмір, що перевіряється, за нижню або верхню границю розміру, тобто чи знаходиться реальний розмір об'єкту у полі допуску.

*Універсальні засоби вимірювання* призначені для визначення реальних характеристик однотипних об'єктів у різних сферах їх функціонування.

Будь-який універсальний вимірювальний засіб характеризується призначенням, принципом, покладеним в основу його функціонування, особливостями конструкції і метрологічними характеристиками.

До універсальних засобів вимірювань відносяться (див. рис. 1):

- вимірювальні перетворювачі;
- вимірювальні прилади та контрольно-вимірювальні прилади;
- вимірювальні установки та вимірювальні системи.

*Вимірювальними перетворювачами* називають засоби (або елементи засобів) вимірювань, які перетворюють вимірювану величину у сигнали, форма яких є зручною для передачі, подальшого перетворення, обробки та зберігання, але які не призначені для безпосереднього сприйняття спостерігачем.

Розрізняють перетворювачі наступних типів:

- аналогові (в яких аналоговий спосіб представлення інформації не змінюється);
- цифрово-аналогові (в яких вихідна інформація вихідного дискретного виду реєстрації перетворюється в аналогову форму);
- аналогово-цифрові (в яких інформація вихідного аналогового виду реєстрації перетворюється в дискретну форму).

Виділяють:

- *первинні вимірювальні перетворювачі - датчики*, які безпосередньо пов'язані з об'єктом вимірювання, отримують і передають у вимірювальний ланцюг сигнали вимірювальної інформації. Конструктивно датчик зазвичай технічно відокремлюють. Він може бути розташований досить далеко від наступного (проміжного) засобу вимірювання,

який повинен приймати його сигнали. Прикладом первинного вимірювального перетворювача може служити термопара для вимірювання температури;

– *проміжні вимірювальні перетворювачі* розташовують після первинних перетворювачів. Прикладом проміжного вимірювального перетворювача може служити підсилювач електричного потенціалу термопари.

Вимірювальні перетворювачі можуть займати різні позиції в ланцюзі вимірювання. Обов'язковими властивостями вимірювального перетворювача є нормовані метрологічні властивості та конструктивне включення в ланцюг вимірювання.

*Вимірювальний прилад* – це засіб (або елемент засобу) вимірювання, який зазвичай з'єднується з вимірювальним перетворювачем та забезпечує у фіксованому діапазоні *реєстрацію значення* фізичної величини у формі, що є зрозумілою для сприйняття спостерігачем. Конструкція такого приладу, як правило, включає пристрій індикації.

Відповідно до *методу визначення значення вимірюваної величини* виділяють:

– вимірювальні прилади прямої дії (за допомогою яких можна отримати значення вимірюваної величини безпосередньо на відліковому пристрої, наприклад, рідинний термометр);

– вимірювальні прилади порівняння (за допомогою яких значення вимірюваної величини можна отримати за допомогою порівняння з відомою величиною, що відповідає її мірі, наприклад, важільні ваги).

За *видами індикації вимірюваної величини* виділяють:

- вимірювальні прилади, що показують;
- вимірювальні прилади, які реєструють.

*Відліковий пристрій* – конструктивно відокремлена частина засобу вимірювання, яка призначена для відліку показань. Відлікові пристрої поділяються на:

- шкальні (включають у себе шкалу і покажчик);
- цифрові;
- реєструючі.

*Шкала* – це система позначок і відповідних їм послідовних числових значень вимірюваної величини. Головні характеристики шкали:

– діапазон вимірювань (область значень величин, в межах якої встановлена нормована гранично допустима похибка приладу);

- кількість поділок на шкалі;
- довжина поділки (відстань між сусідніми відмітками даної шкали);
- ціна поділки (різниця між значеннями двох сусідніх значень на даній шкалі);
- діапазон показань (область значень шкали, нижньою межею якої є початкове значення цієї шкали, а верхньою - кінцеве значення даної шкали);
- межі вимірювань (мінімальне і максимальне значення діапазону вимірювань).

У вимірювальних приладах виділяють наступні види шкал:

- одностороння (шкала, в якій нуль розташовується в її початку);
- двостороння (шкала, в якій нуль розташовується не в її початку);
- симетрична (шкала, в якій нуль розташовується в її центрі);
- безнульова (шкала, яка починається не з нуля).

Вимірювальний прилад, показники якого використовують при контролі властивостей продукції, процесів або систем називається *контрольно-вимірювальним приладом*.

*Вимірювальною установкою* називається сукупність функціонально і конструктивно об'єднаних засобів вимірювань та допоміжних пристроїв, призначених для раціональної організації вимірювань. Вимірювальна установка повинна забезпечити реалізацію певного методу вимірювання та попереднього оцінювання похибки.

*Слід мати на увазі, що у повсякденній практиці має місце певна неоднозначність: «приладом» або «вимірювальним приладом» часто називають конструктивно об'єднані (розміщені в одному корпусі) «вимірювальний перетворювач» та «вимірювальний прилад», що згідно з наведеною вище класифікацією є саме «вимірювальною установкою».* Так, наприклад, «вимірювальним приладом» часто називають штангенциркуль, який складається з вимірювального перетворювача – губок і вимірювального приладу – рамки з ноніусом та штанги зі шкалою. Іншим прикладом може стати амперметр з вимірювальним перетворювачем у вигляді електромагнітної системи та вимірювального приладу у вигляді важільної системи, стрілки та шкали.

*Вимірювальна (вимірювально-інформаційна) система* являє собою сукупність засобів вимірювальної техніки та допоміжних пристроїв, призначених для автоматичного збору інформації від ряду джерел з багаторазовим використанням вимірювальних перетворювачів, передачі вимірювальної інформації на певні відстані по вимірювальних каналах (каналах зв'язку) і представлення її у необхідному вигляді, зокрема, для застосування в автоматичних системах управління.

На відміну від вимірювальної установки, складові вимірювальної системи можуть перебувати в різних частинах певного простору для вимірювання певного числа фізичних величин в цьому просторі.

*Вимірювальний канал* вимірювальної системи – це технічно або функціонально відокремлена частина вимірювальної системи, призначена для виконання певної функції (наприклад, для сприйняття вимірюваної величини або для отримання числа або коду, що є результатом вимірів цієї величини).

*Вимірювальний компонент* вимірювальної системи – це засіб вимірювань, що має окремо нормовані метрологічні характеристики. Прикладом вимірювального компонента вимірювальної системи можуть бути вимірювальний перетворювач, вимірювальний прилад, аналогові обчислювальні пристрої та/або ін. (*див. вище*).

Вимірювальні компоненти вимірювальних систем бувають наступних видів.

*Сполучний компонент* – це технічний прилад або елемент навколишнього середовища, що застосовується з метою обміну сигналами, що містять відомості про вимірювану величину, між компонентами вимірювальної системи з мінімально можливими спотвореннями. Прикладом сполучного компонента може служити телефонна лінія, високовольтна лінія електропередачі, перехідні пристрої і т.д.

*Обчислювальний компонент* – це цифровий або аналоговий пристрій (частина такого пристрою), призначений для виконання обчислень, з встановленим програмним забезпеченням. Обчислювальний компонент застосовується для обчислення результатів вимірювань (прямих, непрямих, спільних, сукупних), які представляють собою число, сигнал

або відповідний код, а обчислення проводяться за підсумками первинних перетворень в вимірювальній системі. Обчислювальний компонент може виконувати також логічні операції і узгодження роботи складових вимірювальної системи.

*Комплексний компонент* – це складова частина вимірювальної системи, що представляє собою технічно або територіально об'єднану сукупність компонентів. Комплексний компонент завершує вимірювальні перетворення, а також обчислювальні і логічні операції, які затверджені в прийнятому алгоритмі обробки результатів вимірювань.

*Допоміжний компонент* – це технічний прилад, призначений для забезпечення нормального функціонування вимірювальної системи, але не приймає участі в процесі вимірювальних перетворень.

*Вимірювально-обчислювальні комплекси* представляють із себе об'єднання вимірювальних систем, які мінімізують участь людини у складних процесах вимірювання, обробки інформації та передачі її для управління процесами. Прикладом може бути комплекс управління космічними апаратами.

*Спеціалізовані засоби вимірювань* можна розглядати як різновид універсальних засобів, оскільки вони конструктивно зазвичай мають всі відповідні складові, але призначені, в основному, для використання у спеціальних умовах.

**Перед початком роботи керівник (викладач) проводить інструктаж з техніки безпеки, в якому представляє наступне.**

### ***1 ВИМОГИ БЕЗПЕКИ ПЕРЕД ПОЧАТКОМ РОБОТИ***

1.1 Усе лабораторне обладнання (установки, огороження, запобіжні пристрої) повинні бути ретельно оглянуті та перевірені відповідальними за проведення конкретної лабораторної роботи.

1.2 При наявності будь яких несправностей, вони повинні бути усунуті до початку проведення лабораторних робіт.

1.3 Перевірити справність заземлення на лабораторних установках, які мають живлення від електричної мережі університету.

1.4 Перевірити справність пускових пристроїв та підключень приладів та оснащення до електричної мережі живлення.

1.7 При проведенні лабораторних робіт, пов'язаних з використанням освітлювальних або нагрівальних пристроїв необхідно перевірити їх на відсутність перегріву; при наявності неприємного запаху виключити пристрій і повідомити керівника роботи (викладача).

1.8 Перевірити установку вимірювальних приладів на «О».

**ПОПЕРЕДЖЕННЯ:** вмикання лабораторних установок без відома викладача (керівника) **ЗАБОРОНЕНО**.

### ***2 ВИМОГИ ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ***

2.1 При включенні приладів необхідно проконтролювати відповідну індикацію.

#### **2.2 ЗАБОРОНЕНО:**

2.2.1 виконувати будь який ремонт включених приладів та оснащення;

2.2.2 торкатися руками до деталей, які рухаються.

2.3 **ЗАБОРОНЕНО** будь яке гальмування (руками чи сторонніми предметами) механізмів, які обертаються.

2.4 **ЗАБОРОНЕНО** студентам поза межами виконуваної лабораторної роботи пересуватись по лабораторії, підходити до працюючих машин, відволікати працюючих розмовами, торкатися руками до електропроводки, рубильників, автоматів тощо.

2.5 У разі раптового припинення подачі електроенергії необхідно працюючу установку відключити від живлення та повідомити про це керівника (викладача).

2.6 Необхідно негайно відключити прилади та оснащення: при перегріві вище нормально допустимого, появі сторонніх звуків, порушенні нормального живлення тощо та повідомити про це керівника (викладача).

2.7 **ЗАБОРОНЕНО** торкатися до розігрітих частин лабораторних установок.

### **3 ВИМОГИ ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ ЗАКІНЧЕННІ ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ**

3.1 Вимкнути джерело живлення лабораторних установок.

3.2 Дати можливість охолонути розігрітим частинам приладів та оснащення.

3.3 Привести у порядок лабораторну установку.

3.4 Прибрати робоче місце.

3.5 Доповісти викладачу про закінчення проведеної роботи на даній установці.

#### **Порядок виконання роботи студентом**

1. Ознайомлюється з обладнанням метрологічної лабораторії кафедри.

2. Узгоджує з викладачем перелік одиниць обладнання, призначеного для вимірювань тієї чи іншої фізичної величини (фізичних величин), наприклад, маси (ваги), параметрів електричного струму, електромагнітних величин тощо.

3. Визначає відповідний перелік наявних ЗВТ.

4. Визначає їх метрологічні характеристики та ознаки за видами класифікації (див. вище «Загальні теоретичні положення»).

5. Визначає складові кожного ЗВТ («вимірювальний перетворювач», «вимірювальний прилад», «компаратор» тощо).

6. Визначає, яке місце ЗВТ займають у ланцюгу передачі вимірюваної інформації до її споживача (первинний еталон, вторинний еталон, робочий засіб вимірювання).

7. Аналізує та пояснює інформацію зі шкали відлікового пристрою.

8. Оформлює результати роботи у пояснювальній записці.

**Оформлення роботи:** згідно з відповідними методичними вказівками, що діють в УДУНТ [10]. Пояснювальна записка, як правило, містить: титульний аркуш; реферат; зміст; опис розробки; висновки та рекомендації; перелік посилань.

**Обсяг пояснювальної записки** – 5...8 стор.; ф. А4; шрифт 14; 1 інтервал.

**Захист роботи:** здійснюється у ході співбесіди студента з керівником. Наявність заліку враховується при формуванні заключної оцінки з навчальної дисципліни.

## Лабораторна робота № 2 «Експериментальне визначення похибок вимірювань»

**Мета:** визначення та класифікація джерел похибок засобів вимірювальної техніки (ЗВТ).

**Суть розробки:** визначення та класифікація похибок вимірювань за джерелами виникнення та аналіз причин їх виникнення.

**Термін виконання** – 2 години.

**Предметна сфера розробки:** метрологічне забезпечення діяльності підприємства.

### Загальні теоретичні положення

*Процес оцінювання похибки вимірювань* вважається одним з найважливіших заходів при забезпеченні єдності вимірювань. Природно, що факторів, які впливають на точність вимірювання, існує безліч.

Зазвичай виділяють похибки вимірювання за наступними ознаками:

- за формою вираження;
- за джерелами виникнення;
- за закономірностями виникнення та прояву.

*За формою вираження* похибки вимірювання поділяються на абсолютні, відносні та зведені.

*Абсолютна похибка вимірювання*  $\Delta$  – це похибка вимірювання, виражена в одиницях вимірюваної величини:

$$\Delta = I - x_{icm}, \quad (1)$$

де  $I$  – результат вимірювання;  $x_{icm}$  – істинне значення фізичної величини.

Оскільки істинне значення фізичної величини невідоме, замість неї використовують *дійсне значення*, яке визначається статистичними методами або з використанням еталону).

*Відносна похибка вимірювання*  $\delta$  – це похибка вимірювання, виражена як відношення абсолютної похибки до істинного (на практиці – до дійсного) результату вимірювання:

$$\delta = \frac{\Delta}{x_{icm}} \cdot (100\%). \quad (2)$$

*Зведена похибка вимірювання*  $\gamma$  визначається аналогічно відносній, але замість  $x_{icm}$  застосовують нормувальне значення  $X_N$ , що як правило дорівнює ширині діапазону приладу, що використаний при вимірюваннях:

$$\gamma = \frac{\Delta}{X_N} \cdot (100\%). \quad (3)$$

Виразення похибок вимірювання в абсолютній або відносній формі обумовлено історичними традиціями, які склалися в певних галузях вимірювань. Ці традиції часто знаходять закріплення в нормативних документах.

*За джерелами виникнення* складові похибки можуть бути розділені на:

- методичну;
- інструментальну;

– суб'єктивну.

*Методична складова похибки* пов'язана з недосконалістю методу вимірювання, прийомами використання засобів вимірювання, некоректністю розрахункових формул і округлення результатів.

*Інструментальна складова похибки* може з'явитися через власну похибку засобів вимірювання і зумовлена недосконалістю принципу дії, неточністю градування шкали, недостатньою наочністю приладу, що, в цілому, відображається його класом точності (*див. нижче*).

*Суб'єктивні похибки* пов'язані з індивідуальними особливостями оператора, його недостатньою компетентністю і уважністю, наприклад, через помилки при відліку показань.

**Виникнення та прояв похибок** можуть бути зумовлені наступними факторами.

*За характером залежності від впливних величин* похибки поділяються на основні та додаткові.

*Основна похибка* має місце в нормальних умовах експлуатації засобів вимірювання (при нормальних значеннях величин, що впливають).

*Додаткова похибка* виникає через невідповідність значень впливних величин нормальним умовам експлуатації засобів вимірювань.

*За характером залежності від вимірюваної величини* похибки поділяються на адитивні та мультиплікативні.

*Адитивна похибка* виникає внаслідок впливу зовнішнього середовища на результат вимірювань при підсумовуванні її чисельних значень з вимірюваною величиною, причому її абсолютна величина не залежить від вимірюваної величини у всьому діапазоні конкретних вимірювань. Значення абсолютної адитивної похибки визначає мінімальний рівень величини, який може бути виміряний в процесі певних вимірювань.

*Мультиплікативна похибка* виникає через вплив вимірюваної величини на параметричні характеристики елементів приладу. Часто значення мультиплікативних похибок змінюються пропорційно змінам вимірюваної величини і є пропорційними чутливості засобу вимірювання.

*За характером змін в часі зв'язку похибки з вимірюваною величиною* вони поділяються на статичні і динамічні.

*Статична похибка* – це похибка, яка виникає в процесі вимірювання постійної (що не змінюється в часі) величини.

*Динамічна похибка* – це похибка, чисельне значення якої обчислюється як різниця між похибкою, що виникає при вимірі непостійної (змінної в часі) величини і статичної похибкою (в певний момент часу).

**За ознакою залежності від характеру прояву, причин виникнення та можливостей усунення** похибки вимірювань можуть бути: випадковими, систематичними, прогресуючими (дрейфовими) і грубими («промахами»).

*Випадкова похибка* – складова загальної похибки вимірювання, яка змінюється випадковим чином (як за знаком, так і за величиною) в серії повторюваних вимірювань однієї і тієї ж величини, проведених в одних і тих же умовах, що виявляється у вигляді деякого розкиду результатів, які одержуються. Величину випадкової похибки можна передбачити, але

її неможливо повністю усунути, і вона *завжди* спотворює кінцеві результати вимірювань. Однак, результат вимірювання можна зробити більш точним за рахунок проведення повторних вимірів і статистичної обробки їх результатів.

Випадкові похибки мають статистичний характер, їх математична обробка проводиться за допомогою теорії ймовірностей.

При багаторазовому вимірюванні тієї ж самої фізичної величини рівномірно отримати результат як більший, так і менший, ніж її істинне значення  $X_{icm}$ .

Найкращим наближенням до  $X_{icm}$  як правило, вважається *середнє арифметичне*  $n$  значень:  $x_1, x_2, \dots, x_n$ .

$$X \approx \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (4)$$

**Розглянемо основні етапи *спрощеної* математичної обробки результатів вимірювань.**

Після проведення  $n$  вимірювань величини  $X$

а) знаходимо її середнє арифметичне значення за формулою (4);

б) обчислюємо абсолютні значення похибки результатів окремих вимірювань:

$$|\Delta x_i| = |x_i - X| \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad (5)$$

в) обчислюємо середню абсолютну похибку:

$$|\Delta X| = \frac{|\Delta x_1| + |\Delta x_2| + \dots + |\Delta x_n|}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n |\Delta x_i|}{n}; \quad (6)$$

г) обчислюємо середню відносну похибку:

$$\varepsilon = \left| \frac{\Delta X}{X} \right| \cdot 100\%; \quad (7)$$

д) отримуємо остаточний результат:

$$x = X \pm \Delta X. \quad (8)$$

Згідно з формулою (6) випадкові похибки можна певною мірою компенсувати шляхом проведення повторних вимірювань.

Більш небезпечними є систематичні похибки, оскільки вони часто лишаються непоміченими.

*Систематична похибка* – складова загальної похибки вимірювання, що змінюється в часі за певним законом. Окремим різновидом є *постійна похибка*, що не змінюється з плином часу.

Систематичні похибки можуть бути пов'язані з помилками приладів (неправильною вихідною установкою «нуля» на шкалі вимірювального приладу, використанням хибної

шкали, вадами калібрування і т.п.), які не враховані експериментатором. *Повторними вимірюваннями систематичну похибку усунути неможливо.*

Якщо змінну систематичну похибку ще можна виявити методами дисперсійного аналізу або інженерними методами, то не існує математичних методів для виявлення *постійних* систематичних похибок.

Можна лише надати рекомендацію щодо необхідності ретельного аналізу вимірювальної процедури (методики вимірювання) та оцінки роботи вимірювального обладнання.

Треба також відзначити, що розподіл похибок на випадкові і систематичні досить умовний. Наприклад, помилка округлення при певних умовах може носити характер як випадкової, так і систематичної помилки.

*Прогресуюча (дрейфова) похибка* – непередбачувана похибка, яка повільно змінюється в часі. Вона являє собою нестационарний випадковий процес внаслідок, наприклад, зміни («дрейфу») зовнішніх умов і може бути усунена стабілізацією умов проведення вимірювань або введенням відповідних поправок.

*Грубі похибки (промахи)* іноді виділяють в окрему групу: «надмірна похибка». Це похибки, рівень яких, зазвичай, істотно перевищує систематичні і випадкові похибки, що очікуються за даних умов проведення вимірювань. Цей вид похибки може проявитися в процесі проведення вимірювання через грубі упущення або недогляд експериментатора, технічну несправність засобу вимірювання, несподівану істотну зміну зовнішніх умов. Такі похибки, як правило, виявляються при аналізі результатів вимірювань за допомогою спеціальних статистичних критеріїв. Результати з грубою помилкою необхідно виявляти та вилучати.

Повна похибка вимірювання є сумою усіх вказаних різновидів похибок.

**Перед початком роботи керівник (викладач) проводить інструктаж з техніки безпеки, в якому представляє наступне.**

*1. Вимоги безпеки перед роботою*

*1.1. Перед початком роботи необхідно оглянути робоче місце і привести його в порядок, впевнитись, що на ньому відсутні сторонні предмети.*

*1.2. Перш ніж починати роботу з електроприладами необхідно уважно вивчити інструкцію по експлуатації даного електроприладу.*

*1.3. Електроприлади встановлюються тільки на стабільну поверхню в сухому приміщенні на відстані від приладів опалення та металевих комунікацій, які заземлені.*

*1.4. Перед початком роботи необхідно пересвідчитись у справному стані електроприладів, з'єднувальних шнурів, штепсельних вилок та розеток, наявності заземлення.*

*1.5. Електроприлади вмикають тільки в електромережу змінного струму напругою 220 В.*

*1.6. Користуватись несправним устаткуванням або використовувати його не за прямим призначенням забороняється.*

*1.7. При виявленні будь-яких недоліків у стані обладнання необхідно доповісти керівнику структурного підрозділу або відповідальній особі.*

*2. Вимоги безпеки під час роботи*

*2.1. При роботі з електроприладами треба дотримуватись цієї інструкції та інструкції з їх експлуатації.*

2.2. Під час роботи не можна:

- піддавати прилади впливу дощу чи іншої вологи;
- самостійно проводити їх розбирання чи ремонт;
- блокувати вентиляційні отвори;
- кидати електроприлади з висоти;
- встановлювати на електроприлади сторонні предмети;
- вмикати або вимикати електроприлади вологими руками.

2.3. Якщо всередину електроприладу потрапила рідина чи сторонні предмети, його треба негайно вимкнути та віддати на перевірку до спеціаліста з ремонту.

2.4. Якщо при використанні електроприладу з'явилися сторонні звуки, запах диму, з'явилось полум'я – електроприлад негайно від'єднати від електромережі та доповісти керівнику підрозділу або відповідальній особі.

3. Вимоги безпеки після закінчення роботи

3.1. Після закінчення роботи електроприлад необхідно вимкнути згідно інструкції та від'єднати його від електромережі.

3.2. Виймаючи штепсельну вилку з розетки ні в якому разі не можна тягнути за шнур, тільки за вилку.

3.3. Необхідно прибрати своє робоче місце, при необхідності вимити руки з милом.

3.4. Якщо в процесі роботи були помічені недоліки в роботі електрообладнання, необхідно доповісти керівнику підрозділу або відповідальній особі.

### **Порядок виконання роботи студентом**

1. Отримує від викладача низьковольтне джерело живлення та два вольтметри електромагнітної системи вимірювань різних класів точності і з різними межами вимірювань.

2. Вимірює не менше 5 разів та фіксує електричну напругу джерела живлення двома паралельно включеними вольтметрами. При цьому маніпулює піднесеним до вольтметрів постійним магнітом, змінюючи розташування останнього, що має забезпечити зміну показань приладу.

3. Проводить розрахунки за формулами (4)...(8), визначаючи середній результат вимірювань.

4. Оцінює залежність показань приладів від зовнішніх впливів на них.

6. Представляє у пояснювальній записці отримані результати у формі таблиці 1 та надає характеристику похибкам вимірювань.

Таблиця 1 - Результати та похибки вимірювань

Вимірювана величина	$x_i$	$X$	$ \Delta X $	$\varepsilon$	$x$	Примітки
	..., ..., ..., ..., ...					

**Оформлення роботи:** згідно з відповідними методичними вказівками, що діють в УДУНТ [10]. Пояснювальна записка, як правило, містить: титульний аркуш; реферат; зміст; опис розробки; висновки та рекомендації; перелік посилань.

**Обсяг пояснювальної записки** – 5...8 стор.; ф. А4; шрифт 14; 1 інтервал.

**Захист роботи:** здійснюється у ході співбесіди студента з керівником. Наявність заліку враховується при формуванні заключної оцінки з навчальної дисципліни.

### Лабораторна робота № 3

#### **«Зіставлення розрахованої похибки вимірювань з нормованими характеристиками вимірювальних приладів»**

**Мета:** набуття студентами умінь та навиків обробки результатів вимірювань фізичних величин.

**Суть розробки:** співставлення результатів вимірювань фізичних величин з метрологічними характеристиками вимірювального приладу (на прикладі вимірювання електричних величин).

**Термін виконання** – 1 година.

**Предметна сфера розробки:** метрологічне забезпечення діяльності підприємства.

#### **Загальні теоретичні положення**

Істинне значення фізичної величини абсолютно точно визначити неможливо, оскільки при вимірах фізичних величин виникають похибки вимірювань внаслідок дії найрізноманітніших причин (див. матеріали до Лабораторної роботи № 2).

Вимірювання, при яких фізична величина вимірюється безпосередньо за допомогою приладу, називають *прямими*.

Похибки, що виявляються при прямих вимірюваннях, нерідко називаються *приладовими*, тому що вони обумовлені *класом точності* приладу, який вказується або на самому приладі, або в паспорті. У тих випадках, коли на приладі клас точності не вказано, абсолютна похибка приймається рівною половині ціни поділки.

*Якість вимірювального засобу* – це рівень його відповідності своєму прямому призначенню, а саме – отриманню точних, стабільних і достовірних даних про об'єкт вимірювання.

Для досягнення цього розглядають наступні характеристики вимірювального приладу:  
– постійна вимірювального приладу;

- чутливість;
- поріг чутливості;
- точність
- похибка.

*Постійна вимірювального приладу* - це деяке число, на яке множитья відлік за шкалою (іншим індикатором) з метою отримання шуканого значення вимірюваної величини, тобто *показання приладу*. Постійна приладу зазвичай включається відповідним перемикачем на панелі приладу. Наприклад, якщо встановлено постійну приладу «х100», а відлік деякої величини за шкалою приладу «3», то шукане значення вимірюваної величини становить  $3 \cdot 100 = 300$ .

Постійна приладу в деяких випадках встановлюється як ціна поділки шкали, яка представляє собою значення вимірюваної величини, що відповідає одній поділці.

*Чутливість вимірювального приладу* - це відношення, в чисельнику якого стоїть зміна покажчика приладу (переміщення стрілки стрілочного приладу або чисельного відліку цифрового індикатора), а в знаменнику - дійсна зміна вимірюваної величини, яка викликала переміщення стрілки або зміну чисельного значення величини.

*Поріг чутливості вимірювального приладу* – число, яке є мінімальним значенням вимірюваної величини, яке може зафіксувати прилад. При цьому не йдеться про точність (похибку) вимірювання.

*Точність вимірювального приладу* – це узагальнена характеристика засобу вимірювання, що виражає ступінь відповідності результатів вимірювання істинному значенню вимірюваної величини. Точність вимірювального приладу визначається за допомогою встановлення нижньої і верхньої меж максимально можливої похибки.

*Похибка засобу вимірювання* оцінюється відмінністю результату вимірювання величини, отриманої за його допомогою, від значення цієї ж величини, яка вимірюється зразковим засобом вимірювання, наприклад, робочим еталоном вищого розряду.

Формально, *абсолютна похибка*  $\Delta_{np}$  засобу вимірювання визначається за виразом:

$$\Delta_{np} = |x_{np} - X_{np}|, \quad (1)$$

де  $x_{np}$  – значення деякої величини, що отримане за допомогою засобу вимірювання, який перевіряється;  $X_{np}$  – значення тієї самої величини, отриманої за допомогою зразкового приладу і прийняте за базу порівняння.

По відношенню до умов застосування похибки засобів вимірювання поділяються на основні та додаткові.

*Основна похибка засобу вимірювання* - це похибка, яка визначається при застосуванні засобу вимірювання в *нормальних умовах*. У різних областях науки і техніки можуть матися на увазі різні нормальні (стандартні) умови, наприклад, рівень параметрів магнітного поля, вологість, температура й ін. Крім цього, для приладу можуть бути визначені специфічні вимоги (наприклад, *нормальне* робоче положення). При використанні обладнання в нормальних умовах впливом зовнішніх чинників можна знехтувати.

*Додаткова похибка засобів вимірювання* – це складова загальної похибки засобу вимірювання, що виникає в *робочих умовах*, якщо будь-який впливний регламентований параметр при використанні засобу вийде за межі свого нормального значення. Прикладом може бути «температурна похибка» (викликана відхиленням температури навколишнього середовища від нормальної), «установча похибка» (обумовлена відхиленням положення приладу від нормального робочого стану) і т. п.

*Відносна  $\delta$  і приведена  $\gamma$*  («*приведена відносна*») похибки засобу вимірювання (вимірювального приладу) визначаються за формулами:

$$\delta = \pm \frac{\Delta_{np}}{X_{np}} \cdot (100\%) , \quad (2)$$

$$\gamma = \pm \frac{\Delta_{np}}{X_{норм.пр}} , \quad (3)$$

де нормуюче значення приладу  $X_{норм.пр}$  приймається рівним:

- максимальному значенню з діапазону вимірювань при використанні засобів вимірювальної техніки, у яких нульове значення розташовується на краю або поза шкалою вимірювання;

- всій довжині шкали вимірювання або довжині тієї її частини, яка відповідає діапазону вимірювання для засобів вимірювання, у яких шкала нерівномірна;

- сумі кінцевих чисельних абсолютних значень діапазону вимірювань для засобів вимірювань, у яких нульова відмітка розташовується всередині діапазону вимірювань.

***Нормування характеристик засобів вимірювання*** – це регламентування меж відхилень значень реальних метрологічних характеристик засобів вимірювальної техніки від їх номінальних значень. Головна мета нормування метрологічних характеристик – забезпечення їх взаємозамінності та єдності вимірювань.

Властивості, що встановлюють сферу застосування засобів вимірювання, визначаються:

- діапазоном вимірювань, у якому вnormовані граничні значення похибок;
- порогом чутливості.

Властивості, що визначають точність і правильність отриманих результатів вимірювання, визначаються:

- правильністю результатів;
- точністю («прецизійністю») результатів.

Практикується поділ засобів вимірювальної техніки на *класи точності*, заснований на величині допустимої похибки. Відповідно до цього, в техніці застосовують вимірювальні прилади із заданою і визначеною заздалегідь точністю - *основною* похибкою, що допускається в нормальних умовах експлуатації даного приладу.

Для кожного окремого класу точності в процесі проектування розробником визначаються і затверджуються у відповідній нормативній документації певні вимоги до метрологічних характеристик засобу вимірювань. Межі основної похибки і коефіцієнти впливу параметрів середовища заносять в паспорт кожного вимірювального приладу.

Клас точності засобів вимірювань характеризує їх властивості точності, але не є повним показником точності вимірювань, які виконуються за допомогою цих засобів, так як точність залежить також від методу вимірювань і умов їх здійснення.

Позначення класу точності маркують на шкалі вимірювального приладу у вигляді символу (числа або літери), що відображає нормоване значення похибки.

Коли клас точності позначається латинськими буквами, то він позначає межі абсолютної похибки  $\pm \Delta_{np}$  за формулою (1). Таке маркування використовується зрідка.

Позначення (теж нечасте) класу точності приладу римськими цифрами відповідає межах відносної похибки  $\mathcal{S}$  згідно з формулою (2).

Зазвичай похибка вимірювальних приладів нормується по відношенню до:

– результату вимірювання (за відносною похибкою  $\delta$  – згідно з формулою (2), в якій  $X_{np}$  прирівнюється до результату вимірювання);

– довжині шкали приладу за приведеною похибкою  $\mathcal{U}$  – згідно з формулою (3).

Класи точності вимірювальних приладів по допустимій основній відносній або відносній зведеній похибці позначають арабськими цифрами, які вибираються з наступного ряду чисел: **(1; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0)**  $\times 10^k$ , де показник степені  $k = 1; 0; -1; -2$  тощо.

Часто прилади за величиною зведеної похибки поділяються на вісім класів: **0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0** (%).

Якщо на шкалі такого позначення немає, то даний прилад *позакласний*, і його зведена похибка може перевищувати 4%.

Зазвичай ціну найменшої поділки шкали стрілочного приладу узгоджують з похибкою самого приладу. Якщо клас точності використовуваного приладу невідомий, за абсолютну похибку  $\Delta_{np}$  приладу (або за стандарт відхилення при вимірюваннях  $S_{np}$ ) приймають половину ціни його найменшої поділки. Тому при зчитуванні показань зі шкали такого приладу недоцільним є намагання визначати частки поділки, оскільки результат вимірювання від цього не стане точніше.

Якщо прилад має цифровий індикатор, то за абсолютну похибку  $\Delta_{np}$  (або  $S_x$ ) приладу приймають половину ціни кроку відліку.

Арабські цифри на шкалі приладу без додаткових умовних знаків позначають, що клас точності наведений за  $\gamma$ , і визначається за формулою (3) з урахуванням *середнього значення вимірюваної величини*:  $X_{норм.пp} = \bar{x}$ .

Наприклад, якщо для стрілочного приладу вказаний клас точності у вигляді числа «1,0», то це число дає максимально можливу приведену похибку приладу, виражену у відсотках від середнього значення вимірювань величини, яка визначається. Так, при *середньому* значенні декількох вимірювань напруги електричного струму таким приладом  $\bar{x} = 0,5$  В, абсолютна похибка  $\Delta_{np}$  не повинна перевищувати  $0,5 \cdot 0,01 = 0,005$  В, а при середньому значенні 30 В похибка  $\Delta_{np}$  повинна бути не більше  $30 \cdot 0,01 = 0,3$  В.

Якщо позначення класу точності представлено арабськими цифрами з «галочкою», то це визначає межі приведеної похибки, а в якості нормуючого значення використовується довжина шкали (від нуля до максимуму або від «мінуса» до максимального «плюса»).

Наприклад для вольтметра, що працює в діапазоні вимірювань напруги електричного струму 0 ... 30 В (або від -15 до +15 В) клас точності  $\nabla^{0,5}$  визначає, що абсолютна похибка при положенні стрілки в будь-якому місці шкали не перевищує  $30 \cdot 0,005 = 0,15$  В.

Важливо відзначити, що на відміну від приведеної похибки  $\gamma$  згідно з формулою (3), відносна похибка результату  $\delta$ , отриманого за допомогою такого вольтметра згідно з формулою (2) залежить від значення вимірюваної напруги  $X_{np}$ , стаючи неприпустимо великою при вимірюванні малих значень напруги.

Так, наприклад, при показаннях 0,5 В такого вольтметра похибка становитиме ті ж 0,15 В, тобто  $0,15/0,5 \cdot 100\% = 30\%$ . Як наслідок, такий прилад не годиться для вивчення процесів, в яких напруга змінюється в межах 0...0,5 В.

Тому вважається, що прилади з класом точності 0,5 можна використовувати при завантаженні від 5% номінального значення вимірюваної величини і вище, а з класом точності 0,2 – при завантаженні від 1% і вище.

У зв'язку з викладеним, прилади класу точності 0,05; 0,1; 0,2; 0,5 застосовуються для точних лабораторних вимірювань і називаються *прецизійними*. Для менш відповідальних вимірювань частіше застосовуються прилади класів 1,0; 1,5; 2,5 і 4,0 (технічні).

Значення класу точності, обведене колом, означає нормовану відносну похибку  $\delta_s$  чутливості згідно з формулою (2). Наприклад, позначення:  $\textcircled{0,5}$  відповідає 0,5% похибки чутливості приладу, яка постійна при будь-якому значенні  $x_i$ . Межі такої відносної похибки просто дорівнюють значенням  $\pm \delta_s$ , а абсолютна похибка чутливості вимірювань визначається як  $\Delta_s = \delta_s \cdot x$ .

У ряді випадків на вимірювальних засобах зустрічається позначення у вигляді  $\delta_1 / \delta_0$  для допустимої відносної похибки при її різних значеннях в різних діапазонах вимірювань, де  $\delta_0$ ,  $\delta_1$  – відповідають початковому і кінцевому діапазонами вимірювань. Для такого варіанту характеристикою приладу стає узагальнена відносна похибка, яка обчислюється за формулою:

$$\delta = \pm \left[ \delta_1 + \delta_0 \cdot \left( \frac{X_1}{X} - 1 \right) \right] \cdot (100\%), \quad (4)$$

де  $X_1$  – найбільше значення вимірюваної величини за шкалами приладу;  $X$  – результат вимірювань.

Як висновок, приклади розшифровки позначень класів точності на засобах вимірювань представлені в таблиці 1.

Слід мати на увазі, що всі обчислення результатів вимірювань проводяться з наближеними числами. Тому застосовують наступні правила округлення чисел.



При округленні будь-якого числа до будь-якого розряду необхідно всі числа, які стоять праворуч від цього розряду, відкинути. Якщо старша цифра, яка відкидається менше 5, то остання цифра розряду, яка залишається, не змінюється. Якщо старша цифра, що відкидається більше або дорівнює 5, то остання цифра, що залишається збільшується на одиницю.

Якщо ж після цифри 5, яку потрібно відкинути, немає цифр або стоять тільки нулі, або вона парна, то остання цифра, що зберігається не змінюється. Якщо остання цифра непарна, то вона збільшується на одиницю.

Якщо при округленні остання цифра, що округлюється виявилася нулем, то його слід писати, навіть якщо він стоїть в розряді десяткового дробу.

**З правил округлення є істотний виняток: при округленні похибок остання цифра, що зберігається збільшується на одиницю, якщо старша цифра, що відкидається 3 або більше 3.**

Таблиця 1 – Приклади позначення класу точності на засобах вимірювань

Приклади позначення класу точності		Форма вираження похибки	Межі припустимої основної похибки	Примітка
на засобі вимірювань	в документації			
0,5	Клас точності 0,5	Приведена відносна	$\gamma = \pm 0,5\%$	Нормуюче значення, прийнято рівним середньому значенню вимірюваної величини
	Клас точності 0,5		$\gamma = \pm 0,5\%$	Нормуюче значення, прийнято рівним довжині шкали (або її певній частини)
	Клас точності 0,5	Відносна	$\delta = \pm 0,5\%$	Похибка чутливості
0,02/0,01	Клас точності 0,02/0,01		$\delta = \pm [0,02 + 0,01 \cdot ( x_k / x  - 1)], \%$	Різна нормована похибка в різних діапазонах вимірювань приладу

**Перед початком роботи керівник (викладач) проводить інструктаж з техніки безпеки, в якому представляє наступне.**

1. Вимоги безпеки перед роботою

1.1 . Перед початком роботи необхідно оглянути робоче місце і привести його в порядок, впевнитись, що на ньому відсутні сторонні предмети.

1.2 . Перш ніж починати роботу з електроприладами необхідно уважно вивчити інструкцію по експлуатації даного електроприладу.

1.3 Електроприлади встановлюються тільки на стабільну поверхню в сухому приміщенні на відстані від приладів опалення та металевих комунікацій, які заземлені.

1.4 Перед початком роботи необхідно пересвідчитись у справному стані електроприладів, з'єднувальних шнурів, штепсельних вилок та розеток, наявності заземлення.

1.5 Електроприлади вмикають тільки в електромережу змінного струму напругою 220 В.

1.6 Користуватись несправним устаткуванням або використовувати його не за прямим призначенням **забороняється**.

1.7 При виявленні будь-яких недоліків у стані обладнання необхідно доповісти керівнику структурного підрозділу або відповідальній особі.

## 2. Вимоги безпеки під час роботи

2.1 При роботі з електроприладами треба дотримуватись цієї інструкції та інструкції з їх експлуатації.

2.2 Під час роботи не можна:

- піддавати прилади впливу дощу чи іншої вологи;
- самостійно проводити їх розбирання чи ремонт;
- блокувати вентиляційні отвори;
- кидати електроприлади з висоти;
- встановлювати на електроприлади сторонні предмети;
- вмикати або вимикати електроприлади вологими руками.

2.3 Якщо всередину електроприладу потрапила рідина чи сторонні предмети, його треба негайно вимкнути та віддати на перевірку до спеціаліста з ремонту.

2.4 Якщо при використанні електроприладу з'явилися сторонні звуки, запах диму, з'явилося полум'я – електроприлад негайно від'єднати від електромережі та доповісти керівнику підрозділу або відповідальній особі.

## 3. Вимоги безпеки після закінчення роботи

3.1 Після закінчення роботи електроприлад необхідно вимкнути згідно інструкції та від'єднати його від електромережі.

3.2 Виймаючи штепсельну вилку з розетки ні в якому разі не можна тягнути за шнур, тільки за вилку.

3.3 Необхідно прибрати своє робоче місце, при необхідності вимити руки з милом.

3.4 Якщо в процесі роботи були помічені недоліки в роботі електрообладнання, необхідно доповісти керівнику підрозділу або відповідальній особі.

## **Порядок виконання роботи студентом.**

1. Отримує від викладача необхідні засоби вимірювальної техніки (ЗВТ) та визначає об'єкти вимірювань (наприклад, вольтметри двох класів точності для вимірювання напруги електричного струму).

2. За даними на шкалі або за паспортними даними встановлює клас точності вимірювальних приладів, визначаючи, які з них слід прийняти в якості контрольного та контрольованого.

3. Визначає нормовані похибки вимірювань цими приладами.

4. Виконує серію вимірювань (не менше 5) величин, запропонованих викладачем, обома ЗВТ.

5. За результатами вимірювань, отриманих за допомогою обох приладів, розраховує:

- абсолютні значення  $x_i$  результатів відповідних серій вимірювань за формулою:

$$X = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}; \quad (5)$$

- відповідні значення стандарту відхилень за формулою:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X - x_i)^2}{n-1}}; \quad (6)$$

- абсолютні та відносні похибки контрольованого приладу (відносно контрольного) з урахуванням можливих випадів та правил округлення результатів;

- остаточний результат за формулою:

$$x = X \pm \Delta X. \quad (7)$$

6. Порівнює розраховані результати між собою та з нормованими показниками точності приладів.

7. Представляє результати за формою таблиці 1, аналізує їх та робить висновки, які відображує в пояснювальній записці.

Таблиця 2 - Результати вимірювань та розрахунків

Вид ЗВТ	Клас точності/ нормована похибка	Розраховані похибки				Примітки
		абсолютна	відносна	приведена відносна	результуюча	
Контрольний						
Контрольований						

**Оформлення роботи:** згідно з відповідними методичними вказівками, що діють в УДУНТ [10]. Пояснювальна записка, як правило, містить: титульний аркуш; реферат; зміст; опис розробки; висновки та рекомендації; перелік посилань.

**Обсяг пояснювальної записки** – 5...8 стор.; ф. А4; шрифт 14; 1 інтервал.

**Захист роботи:** здійснюється у ході співбесіди студента з керівником. Наявність заліку враховується при формуванні заключної оцінки з навчальної дисципліни.

#### Лабораторна робота № 4 «Вимірювання щупами та шаблонами»

**Мета:** опанування прийомів вимірювання розмірів деталей з викоистанням шаблонів та щупів.

**Суть розробки:** вивчення конструкцій щупів і шаблонів та реалізація прийомів вимірювання ними.

**Термін виконання** – 2 години.

**Предметна сфера розробки:** метрологічне забезпечення діяльності підприємства.

#### **Загальні положення.**

Шаблони, щупи та граничні калібри відносяться до групи засобів вимірювань, які називаються «мірами»

В рамках наявної лабораторної роботи розглянуті наступні типи шаблонів.

*Радіусний шаблон* - інструмент для контролю профільних радіусів кривизни опуклих і увігнутих поверхонь деталей машин та інших виробів. Являє собою сталеву пластинку товщиною 0,5...1 мм з увігнутим або опуклим закругленням на кінці (рисунок 1). Радіус заокруглення 1...25 мм.

Для перевірки радіусів кривизни шаблон прикладається до виробу. Відхилення радіуса кривизни виробу від радіуса кривизни шаблону визначається «на просвіт» або за допомогою щупів.

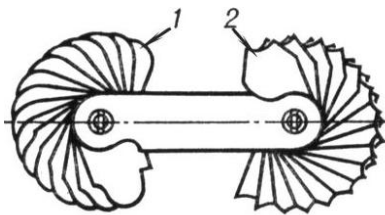


Рисунок 1 - Набір радіусних шаблонів: 1 — опуклих; 2 — увігнутих [3]

*Різьбовий шаблон* - інструмент для визначення кроку і кута профілю різьби деталей машин та інших виробів. Являє собою сталеву пластинку товщиною 0,5...1 мм із зубцями, виконаними згідно з осьовим профілем певної різьби (рисунок 2). Існують шаблони для контролю дюймовою і метричних різьб.

Зазвичай такі шаблони виконуються у вигляді їх набору (див. рис. 2). При використанні шаблони по чергово прикладаються до різьби, яка перевіряється, так, щоб їх зубці увійшли в западини різьблення.

Відповідність кроку і кута профілю різьби кроку і куту профілю шаблону визначаються на «просвіт» або за щільністю прилягання граней шаблону до різьби.

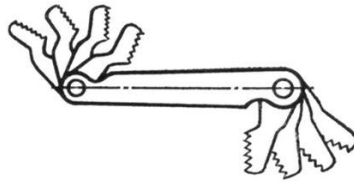


Рисунок 2 - Набір різьбових шаблонів [3]

Щуп вимірвальний застосовують для контролю зазору між поверхнями. Він має вигляд пластинки певної товщини від 0,02 до 1 мм, і їх основні розміри стандартизовані. Випускаються щупи у вигляді наборів пластинок (рисунок 3) різної товщини в одній обоймі. Застосовуються окремо або в різних поєднаннях шляхом розміщення шаблону у зазорі таким чином, щоб повністю перекрити зазор, але без натягу.

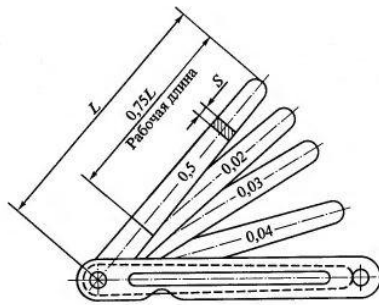


Рисунок 3 - Комплект щупів (всі розміри вказані в міліметрах): L – довжина щупу; S – товщина щупу [3]

*Граничний калібр* – це вимірвальний засіб, який відтворює *прохідну* та/або *непрохідну* межу геометричних параметрів елементів виробу, тобто, відповідає («проходить») чи не відповідає («не проходить») розмір згідно із нормативними вимогами.

Граничні калібри можуть мати один або два робочі розміри, які узгоджуються з найбільшим та/або найменшим граничним розміром у його полі допуску. Відповідним чином, граничні калібри бувають *однограничними* (робочі поверхні яких мають геометричні параметри, що відповідають прохідній або непрохідній межі) і *двограничними* (робочі поверхні яких мають геометричні параметри, що відповідають як прохідній, та і непрохідній межах).

Граничні калібри призначені для контролю:

- гладких циліндричних та конусних поверхонь;
- нарізних і шліцьових з'єднань;
- висоти виступів і глибини западин тощо.

Наприклад, для контролю валів застосовують *скоби*, а отворів – *пробки*.

Відповідним чином існують:

- калібр-скоба (рисунок 4);
- калібр-пробка (рисунок 5, нижня позиція);
- різьбовий калібр-пробка (рисунок 5, верхня позиція);
- різьбовий калібр-кільце й ін.

Калібри-скоби виготовляють з листових заготовок або штампованими на розміри 1...180 мм, що вимірюються.

Крім жорстких калібрів-скоб, промисловість випускає і регульовані скоби (важільні) на розміри 0...340 мм.

Калібри-пробки для отворів, бувають наступних конструкцій:

- пробки зі вставками дроту для контролю отворів діаметром 1...3 мм;
- двосторонні пробки, що мають вставки короткими хвостовиками для контролю отворів діаметром 1...50 мм;
- для контролю отворів діаметром 30...100 мм використовують односторонні пробки;
- для контролю отворів діаметром більшим за 50 мм використовують пробки з неповним профілем.

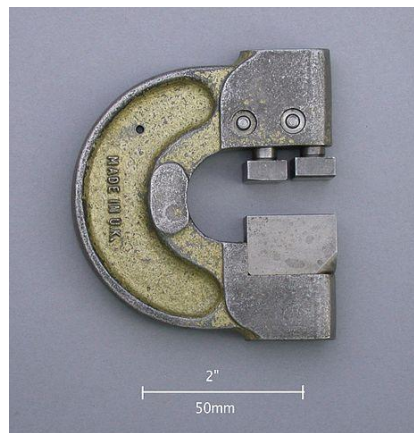


Рисунок 4 – Вигляд калібру-скоби для контролю зовнішніх розмірів деталей [2]

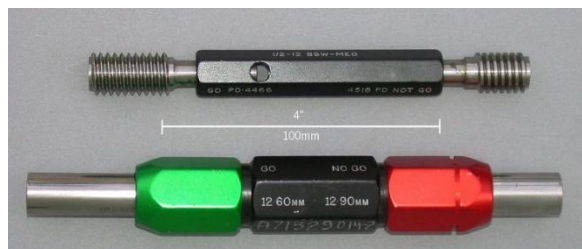


Рисунок 5 – Вигляд двограничних калібру-пробки (нижня позиція) та різьбового калібру-пробки (верхня позиція) [2]

**Перед початком роботи керівник (викладач) проводить інструктаж з техніки безпеки, в якому представляє наступне.**

***1 ВИМОГИ БЕЗПЕКИ ПЕРЕД ПОЧАТКОМ РОБОТИ***

1.1 Усе лабораторне обладнання (установки, огороження, запобіжні пристрої) повинні бути ретельно оглянуті та перевірені відповідальними за проведення конкретної лабораторної роботи.

1.2 При наявності будь яких несправностей, вони повинні бути усунуті до початку проведення лабораторних робіт.

1.3 Перевірити справність заземлення на лабораторних установках, які мають живлення від електричної мережі університету.

1.4 Перевірити справність пускових пристроїв та підключень приладів та оснащення до електричної мережі живлення.

1.7 При проведенні лабораторних робіт, пов'язаних з використанням освітлювальних або нагрівальних пристроїв необхідно перевірити їх на відсутність перегріву; при наявності неприємного запаху вимкнути пристрій і повідомити керівника роботи (викладача).

1.8 Перевірити установку вимірювальних приладів на «0».

**ПОПЕРЕДЖЕННЯ:** вмикання лабораторних установок без відома викладача (керівника) **ЗАБОРОНЕНО**.

## **2 ВИМОГИ ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ**

2.1 При включенні приладів необхідно проконтролювати відповідну індикацію.

**2.2 ЗАБОРОНЕНО:**

2.2.1 виконувати будь який ремонт включених приладів та оснащення;

2.2.2 торкатися руками до деталей, які рухаються.

2.3 **ЗАБОРОНЕНО** будь яке гальмування (руками чи сторонніми предметами) механізмів, які обертаються.

2.4 **ЗАБОРОНЕНО** студентам поза межами виконуваної лабораторної роботи пересуватись по лабораторії, підходити до працюючих машин, відволікати працюючих розмовами, торкатися руками до електропроводки, рубильників, автоматів тощо.

2.5 У разі раптового припинення подачі електроенергії необхідно працюючу установку відключити від живлення та повідомити про це керівника (викладача).

2.6 Необхідно негайно відключити прилади та оснащення: при перегріві вище нормально допустимого, появі сторонніх звуків, порушенні нормального живлення тощо та повідомити про це керівника (викладача).

2.7 **ЗАБОРОНЕНО** торкатися до розігрітих частин лабораторних установок.

## **3 ВИМОГИ ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ ЗАКІНЧЕННІ ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ**

3.1 Вимкнути джерело живлення лабораторних установок.

3.2 Дати можливість охолонути розігрітим частинам приладів та оснащення.

3.3 Привести у порядок лабораторну установку.

3.4 Прибрати робоче місце.

3.5 Доповісти викладачу про закінчення проведеної роботи на даній установці.

### **Порядок виконання роботи студентом.**

1. Отримує від викладача необхідні ЗВТ (набір радіусних шаблонів, набір різьбових шаблонів, комплект щупів тощо та деталі для проведення вимірювань їх геометричних параметрів).

2. Перевіряє плавність переміщення пластин шаблонів та щупа. Якщо переміщення пластин в зазорі утруднено, то їх слід злегка змастити.

3. Підбираючи потрібні елементи радіусних шаблонів, визначає зовнішні та внутрішні радіуси заокруглень деталі.

4. Підбираючи потрібні елементи різьбових шаблонів, ідентифікує параметри різьблень.

5. Підбираючи потрібні елементи набору щупів (за сумарною величиною набору пластин), визначає величину зазорів у деталі по всій їх довжині.

6. За допомогою мікрометра імітує калібр-скобу для перевірки циліндричної деталі (в рамках ділової гри) з приблизним діаметром 5 мм та допуском на діаметр  $\pm 0,05$  мм.

7. Оформлює результати у пояснювальній записці.

**Оформлення роботи:** згідно з відповідними методичними вказівками, що діють в УДУНТ [10]. Пояснювальна записка, як правило, містить: титульний аркуш; реферат; зміст; опис розробки; висновки та рекомендації; перелік посилань.

**Обсяг пояснювальної записки** – 5...8 стор.; ф. А4; шрифт 14; 1 інтервал.

**Захист роботи:** здійснюється у ході співбесіди студента з керівником. Наявність заліку враховується при формуванні заключної оцінки з навчальної дисципліни.

## Лабораторна робота № 5

### «Вимірювання кронциркулем, штангенциркулем і мікрометром»

**Мета:** опанування прийомами вимірювання кронциркулем, штангенциркулем і мікрометром.

**Суть розробки:** вивчення конструкції, опанування прийомами налаштування та вимірювання кронциркулем, штангенциркулем і мікрометром.

**Термін виконання** – 0,5 години.

**Предметна сфера розробки:** метрологічне забезпечення та контроль діяльності підприємства (організації), що функціонує в одній із сфер економіки (машинобудування, металургія, будівництво тощо), де є потреба у вимірюванні малих розмірів виробів.

#### **Загальні положення**

***Кронциркуль*** (рисунок 1) застосовують шляхом прикладення його кінців до характерних *важкодоступних* точок на деталі, відстань між якими треба виміряти у

випадках, коли цю відстань безпосередньо неможливо виміряти за допомогою мірної лінійки, з наступним вимірюванням відстані між кінцями кронциркуля, зокрема, за допомогою такої ж лінійки. Прикладом такого застосування кронциркуля є внутрішні вимірювання ширини отворів, пазів і заглиблень, а також зовнішніх розмірів елементів деталі у важкодоступних місцях.

Зрозуміло, що точність такого вимірювання залежить від кваліфікації дослідника і обмежується точністю застосованого приладу з лінійних вимірювань.



Рисунок 1 - Кронциркуль для зовнішніх (а) та внутрішніх (б) вимірювань [2]

### **Вимірювання штангенциркулем ШЦ-1**

Штангенциркуль ШЦ-1 та схеми вимірювань зовнішніх і внутрішніх розмірів та глибини отворів деталей за його допомогою зображені на рисунку 2.

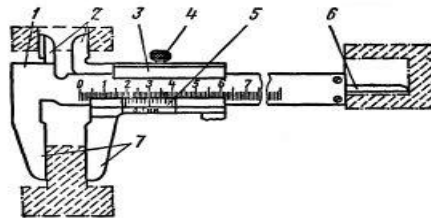


Рисунок 2 – Штангенциркуль та схема його використання при вимірюванні зовнішніх і внутрішніх розмірів деталей (заштриховані): 1 – штанга; 2,7 – губки; 3 – рухома рамка; 4 – затискач; 5 – шкала ноніуса; 6 – лінійка глибиноміра [3]

На рисунку 3 зображена шкала ноніуса штангенциркуля довжиною 19 мм, яка розділена на 10 рівних частин. Одна поділка ноніуса дорівнює  $19/10 = 1,9$  мм, тобто на 0,1 мм менше цілого числа міліметрів. Остання величина є характеристикою точності вимірювань штангенциркулем.

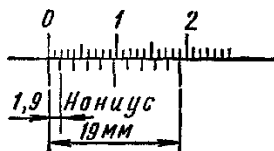


Рисунок 3 - Ноніус штангенциркуля [3]

*При підготовці штангенциркуля до роботи слід виконати наступне:*

- перевірити комплектність інструменту;
- протерти інструмент в авіаційному бензині (при виконанні даної лабораторної роботи не застосовується), протерти його насухо м'якою лляною тканиною, особливо ретельно протерти вимірювальні поверхні;
- провести зовнішній огляд (на вимірювальних поверхнях не повинно бути слідів корозії, забоїн, подряпин, затуплених гострих кінців або інших дефектів, що впливають на точність вимірювання; штрихи і цифри шкал повинні бути виразними і рівними; взаємодія окремих частин штангенциркуля має бути м'якою і плавною, без перекосів, тугого пересування движка рамки );
- перевірити нульове положення штангенциркуля (привести губки штангенциркуля до зіткнення: губки по всій їх довжині повинні бути паралельними, і без зазору по краях, як на рисунку 4; нульовий штрих ноніуса повинен збігатися з нульовою рисою основної шкали);
- у разі розбіжності нульових штрихів необхідно віджати гвинти ноніуса, зрушити пластинку ноніуса до збігу штрихів і закріпити її гвинтами.

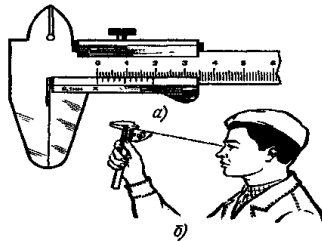


Рисунок 4 - Перевірка нульового положення штангенциркуля: *a* – співпадіння нульового штриха ноніуса з початковим штрихом основної шкали; *б* – контроль провітту між губками «візуально на просвіт» [3]

*Вимірювання штангенциркулем здійснюють за схемою на рисунку 5.*

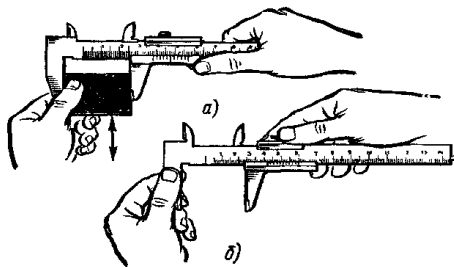


Рисунок 5 - Прийом вимірювання штангенциркулем ШЦ-1: *a* – вимірювання; *б* – зчитування показань [3]

*При читанні показань штангенциркуля ціле число міліметрів відраховують за шкалою штанги зліва направо від нульового штриха ноніуса. Дробові значення (кількість десятих) визначають множенням величини відліку (0,1) на порядковий номер штриха ноніуса, не враховуючи нульовий, що збігається зі штрихом штанги.*

ПРИКЛАД. Нульовий штрих співпадає з 39-м поділом на штанзі, а ноніус при затиску показує 7-му поділку. Результат вимірювань дорівнює:  $39+0,1 \times 7 = 39,7$  мм.

### **Вимірювання мікрометром типу МК**

Мікрометр типу МК та схема вимірювань зовнішніх розмірів деталей за його допомогою зображені на рисунку 6.

На зовнішній поверхні стебла 5 проведена поздовжня лінія, нижче якої нанесені міліметрові ділення. Мікрометричний гвинт 3, крок якого дорівнює 0,5 мм, пов'язаний з барабаном 6. Конічна частина барабана розділена по колу на 50 рівних частин (ноніус на рис. 6, в). За один оберт мікрометричний гвинт 3 переміщується уздовж осі на крок різьби (див. рис. 6, б). При повороті на одну поділку мікрометричний гвинт 3, з'єднаний з барабаном 6, переміщується уздовж осі на  $1/50$  кроку, тобто  $0,5:50 = 0,01$  мм, що є ціною поділки мікрометра.

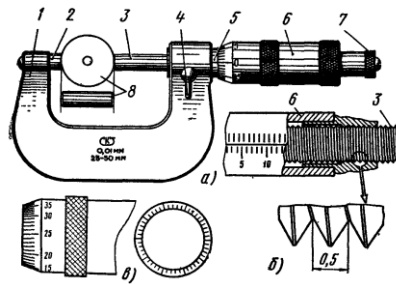


Рисунок 6 - Мікрометр МК: а – пристрій; б – мікрометричний гвинт; в – барабан; г – збільшений крок гвинта; 1 – скоба, 2 – п'ятка, 3 – гвинт, 4 – стопор, 5 – стебло, 6 – барабан, 7 – тріскачка (храповик), 8 – установча міра [3]

Для установки нульового положення ноніуса (рисунок 7) слід виконати наступне:

- підготовку приладу до використання ведуть аналогічно підготовці штангенциркуля;
- перевірити перед виміром нульове положення мікрометра: у правильно відрегульованого мікрометра п'ята 2 і гвинт 3 (див. рис. 6) повинні стикатися з вимірювальними поверхнями установчої міри 8 або безпосередньо між собою (при межах вимірювання діаметра 0 - 25 мм), а нульовий штрих барабана повинен збігатися з поздовжнім штрихом стебла, при цьому скіс барабана повинен відкривати нульовий штрих стебла (див. рис. 7, а);

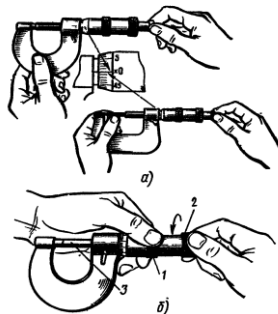


Рисунок 7 - Установка нульового положення мікрометра МК (пояснення позицій – у тексті) [3]

- при розбіжності штрихів мікрометр слід відрегулювати: застопорити мікрометричний гвинт 3 при зведених вимірювальних площинах; послабити ковпачок 2, що зв'язує барабан з мікроскопічним гвинтом, притримуючи лівою рукою за поясок 1 (див. рис. 7, б); звільнити барабан від зчеплення з гвинтом і повернути його до збігу нульового штриха на схилі барабана з поздовжнім штрихом стебла (див. рис. 7, а); закріпити барабан на гвинті за допомогою ковпачка.

*При безпосередньому вимірюванні мікрометром МК:*

- протерти вимірювальні поверхні м'якою тканиною або папером (рисунок 8, а, б);
- встановити мікрометр на розмір, дещо більший ніж, той, що перевіряється;
- взяти мікрометр (див. рис. 8, в) лівою рукою за скобу 1 (посередині), а вимірювану деталь 3 помістити між п'ятою 2 і торцем мікрометричного гвинта 4;
- пальцями правої руки плавно обертати тріскачку 5, злегка притискати торцем мікрометричного гвинта 4 деталь 3 до п'яти 2 до зіткнення його поверхнею деталі, що перевіряється, поки тріскачка 5 не почне повертатись і поклацувати;
- при вимірюванні розмірів деталі лінія вимірювання повинна бути перпендикулярна до утворюючої лінії і проходити через її центр (див. рис. 8, г).

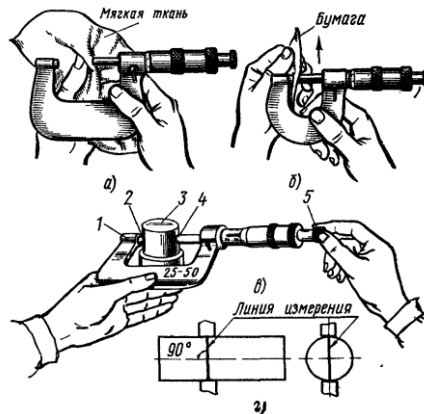


Рисунок 8 - Вимірювання мікрометром МК: а, б – протирка робочих частин, в – прийом установки мікрометру, г – лінія вимірювання (пояснення позицій – у тексті) [3]

*При читанні показань*

- мікрометр слід тримати прямо перед очима (рисунок 9, а);
- ціле число міліметрів відраховують по нижній шкалі, половини міліметра - по верхній шкалі стебла, а соті долі міліметра слід відраховувати по розподілам шкали барабана, за штрихом, що співпадає з поздовжньою рисою на втулці (див. рис. 9, б).

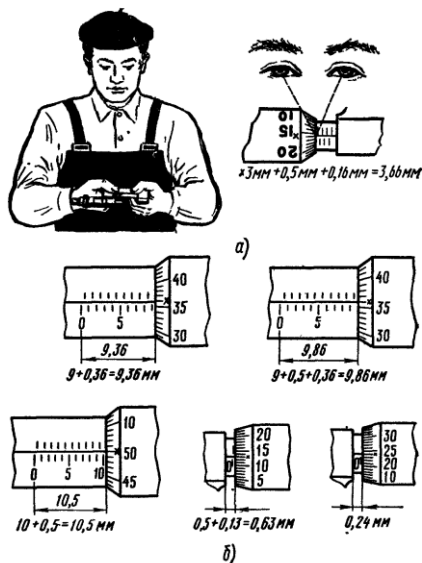


Рисунок 9 - Робота з мікрометром: а – читання показань, б – приклади відліку [3]

**Перед початком роботи керівник (викладач) проводить інструктаж з техніки безпеки, в якому представляє наступне.**

***1 ВИМОГИ БЕЗПЕКИ ПЕРЕД ПОЧАТКОМ РОБОТИ***

1.1 Усе лабораторне обладнання (установки, огороження, запобіжні пристрої) повинні бути ретельно оглянуті та перевірені відповідальними за проведення конкретної лабораторної роботи.

1.2 При наявності будь яких несправностей, вони повинні бути усунуті до початку проведення лабораторних робіт.

1.3 Перевірити справність заземлення на лабораторних установках, які мають живлення від електричної мережі університету.

1.4 Перевірити справність пускових пристроїв та підключень приладів та оснащення до електричної мережі живлення.

1.7 При проведенні лабораторних робіт, пов'язаних з використанням освітлювальних або нагрівальних пристроїв необхідно перевірити їх на відсутність перегріву; при наявності неприємного запаху вимкнути пристрій і повідомити керівника роботи (викладача).

1.8 Перевірити установку вимірювальних приладів на «О».

**ПОПЕРЕДЖЕННЯ:** вмикання лабораторних установок без відома викладача (керівника) **ЗАБОРОНЕНО**.

***2 ВИМОГИ ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ***

2.1 При включенні приладів необхідно проконтролювати відповідну індикацію.

**2.2 ЗАБОРОНЕНО:**

2.2.1 виконувати будь який ремонт включених приладів та оснащення;

2.2.2 торкатися руками до деталей, які рухаються.

2.3 **ЗАБОРОНЕНО** будь яке гальмування (руками чи сторонніми предметами) механізмів, які обертаються.

2.4 **ЗАБОРОНЕНО** студентам поза межами виконуваної лабораторної роботи пересуватись по лабораторії, підходити до працюючих машин, відволікати працюючих розмовами, торкатися руками до електропроводки, рубильників, автоматів тощо.

2.5 У разі раптового припинення подачі електроенергії необхідно працюючу установку відключити від живлення та повідомити про це керівника (викладача).

2.6 Необхідно негайно відключити прилади та оснащення: при перегріві вище нормально допустимого, появі сторонніх звуків, порушенні нормального живлення тощо та повідомити про це керівника (викладача).

2.7 **ЗАБОРОНЕНО** торкатися до розігрітих частин лабораторних установок.

### **3 ВИМОГИ ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ ЗАКІНЧЕННІ ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ**

3.1 Вимкнути джерело живлення лабораторних установок.

3.2 Дати можливість охолонути розігрітим частинам приладів та оснащення.

3.3 Привести у порядок лабораторну установку.

3.4 Прибрати робоче місце.

3.5 Доповісти викладачу про закінчення проведеної роботи на даній установці.

### **Порядок виконання роботи студентом**

1. Отримує від викладача кронциркуль, штангенциркуль, мікрометр і деталі, розміри яких слід виміряти.

2. Здійснює вимірювання розмірів деталей кронциркулем, штангенциркулем і мікрометром порівнюючи, там де це можливо, відповідні результати та оцінюючи похибку вимірювань.

3. Представляє отримані результати у пояснювальній записці.

**Оформлення роботи:** згідно з відповідними методичними вказівками, що діють в УДУНТ [10]. Пояснювальна записка, як правило, містить: титульний аркуш; реферат; зміст; опис розробки; висновки та рекомендації; перелік посилань.

**Обсяг пояснювальної записки** – 5...8 стор.; ф. А4; шрифт 14; 1 інтервал.

**Захист роботи:** здійснюється у ході співбесіди студента з керівником. Наявність заліку враховується при формуванні заключної оцінки з навчальної дисципліни.

## Лабораторна робота № 6 «Вимірювання маси тіл»

**Мета:** застосування різних способів вимірювання маси тіл з порівнянням результатів.

**Суть розробки:** застосування різних способів вимірювання маси тіл з порівнянням результатів.

**Термін виконання** – 1 година.

**Предметна сфера розробки:** метрологічне забезпечення діяльності підприємства.

**Загальні теоретичні положення:**

**Маса** — скалярна фізична величина, яка визначає інерційні та гравітаційні властивості тіл в ситуаціях, коли їх швидкість набагато менше за швидкість світла.

Масу мають всі макроскопічні об'єкти, побутові предмети, а також більшість елементарних часток.

*Інертна маса*  $m$  характеризує інертність тіл і присутня у вираженні другого закону Ньютона:

$$F = m \cdot a, \quad (1)$$

де  $F$  - сила;  $a$  – прискорення.

Сенс виразу (1) наступний: якщо задана сила  $F$  в відліку однаково прискорює різні тіла, то вони мають однакову інертну масу.

*Гравітаційна маса* (пасивна і активна) показує, з якою силою тіло взаємодіє із зовнішніми полями тяжіння та яке гравітаційне поле утворює само це тіло. Вона входить у закон всесвітнього тяжіння та покладена до основи вимірювання маси шляхом зважування:

$$m = \frac{P}{g}, \quad (2)$$

де  $P$  – сила ваги тіла;  $g$  – прискорення вільного падіння тіл у певному місці Землі.

Експериментально з високою точністю встановлена пропорційність гравітаційної та інертної мас, і підбором одиниць вони зроблені в теорії рівними одна одній. Тому, коли мова не йде про особливу «нову фізику», оперують терміном «маса» і використовують позначення  $m$  без додаткових пояснень.

У повсякденному житті (і у фізиці XIX ст.) маса ототожнюється з вагою.

У науці під поняттям «маса» мається на увазі «кількість речовини, яке має тіло», що є однією з фізичних і фундаментальних властивостей речовини:

$$m = V \cdot \rho, \quad (3)$$

де  $V$  – об'єм тіла;  $\rho$  - густина (щільність) матеріалу тіла.

Згідно із СІ одиницею маси є кілограм (кг), на відміну від ваги (сили) – Ньютон (кг·м/с<sup>2</sup>).

***Визначення маси в метрології***

Маса тіла, виражена в кілограмах (за СІ), кількісно приблизно дорівнює вазі цього тіла, вираженій у кгс (за Технічною системою одиниць): на широті м. Дніпро поверхні Землі: 1 кгс  $\approx$  9,81 Н). Хоча у повсякденних ситуаціях слово «вага» часто синонімізують зі словом «маса», це різні поняття: у загальному випадку кількісні значення маси та ваги не співпадають, не кажучи вже про різні розмірності. Наприклад, при розміщенні предмета на звичайних магазинних вагах стрілка приладу коливається певний час, тобто у цей час виміряна вага змінюється, а маса при цьому постійна. Також можливі ситуації з нульовою вагою та ненульовою масою тіла в умовах невагомості.

Методи вимірювання маси у фізиці (в метрології) можна умовно розділити на прямі та опосередковані.

*Прямими методами* вимірюється маса за допомогою різноманітних ваг (рисунок 1).



Рисунок 1 – Вигляд ваг: *а* – пружинні тензометричні ваги з електронною індикацією; *б* - ваги важільні з механічною (стрілочною) індикацією [2]

Більшість вимірювальних приладів для визначення маси базується на використанні принципу еквівалентності інертної та гравітаційної маси. За допомогою таких приладів, які зветься вагами, масу тіл визначають за їх вагою.

У пружинних вагах (рисунок 1,*а*) вагу вимірюють за ступенем деформації гнучкої пружини або тензометричного датчика. В важільних вагах (рисунок 1, *б*) вагу визначають шляхом порівняння ваги зважувального тіла з вагою еталонів (гирь) з відомою масою.

*Опосередковані методи* застосовують при неможливості застосування ваг з використанням різних фізичних законів та явищ, де маса входить у формули, що описують ці явища (закони). Наприклад, масу небесних тіл можна виміряти, використовуючи закон тяжіння та параметри орбіт. У ситуації невагомості (зокрема, на космічних станціях) використовують масметри (рисунок 2), дія яких базується на вимірюванні періоду вільних коливань ваги на пружині, який залежить від маси тіла.



Рисунок 2 – Вигляд масметра

Для опосередкованого визначення маси тіла в умовах тяжіння можна використати залежність (3), для чого слід знати його об'єм  $V$  та густину (щільність)  $\rho$ .

При проведенні вказаних вимірювань слід також звертати увагу на клас точності застосованих вимірювальних приладів та оцінювати ймовірну похибку.

**Перед початком роботи керівник (викладач) проводить інструктаж з техніки безпеки, в якому представляє наступне.**

### ***1 ВИМОГИ БЕЗПЕКИ ПЕРЕД ПОЧАТКОМ РОБОТИ***

1.1 Усе лабораторне обладнання (установки, огороження, запобіжні пристрої) повинні бути ретельно оглянуті та перевірені відповідальними за проведення конкретної лабораторної роботи.

1.2 При наявності будь яких несправностей, вони повинні бути усунуті до початку проведення лабораторних робіт.

1.3 Перевірити справність заземлення на лабораторних установках, які мають живлення від електричної мережі університету.

1.4 Перевірити справність пускових пристроїв та підключень приладів та оснащення до електричної мережі живлення.

1.7 При проведенні лабораторних робіт, пов'язаних з використанням освітлювальних або нагрівальних пристроїв необхідно перевірити їх на відсутність перегріву; при наявності неприємного запаху виключити пристрій і повідомити керівника роботи (викладача).

1.8 Перевірити установку вимірювальних приладів на «О».

**ПОПЕРЕДЖЕННЯ:** вмикання лабораторних установок без відома викладача (керівника) **ЗАБОРОНЕНО**.

### ***2 ВИМОГИ ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ***

2.1 При включенні приладів необхідно проконтролювати відповідну індикацію.

**2.2 ЗАБОРОНЕНО:**

2.2.1 виконувати будь який ремонт включених приладів та оснащення;

2.2.2 торкатися руками до деталей, які рухаються.

2.3 **ЗАБОРОНЕНО** будь яке гальмування (руками чи сторонніми предметами) механізмів, які обертаються.

2.4 **ЗАБОРОНЕНО** студентам поза межами виконуваної лабораторної роботи пересуватись по лабораторії, підходити до працюючих машин, відволікати працюючих розмовами, торкатися руками до електропроводки, рубильників, автоматів тощо.

2.5 У разі раптового припинення подачі електроенергії необхідно працюючу установку відключити від живлення та повідомити про це керівника (викладача).

2.6 Необхідно негайно відключити прилади та оснащення: при перегріві вище нормально припустимого, появі сторонніх звуків, порушенні нормального живлення тощо та повідомити про це керівника (викладача).

2.7 **ЗАБОРОНЕНО** торкатися до розігрітих частин лабораторних установок.

### ***3 ВИМОГИ ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ ЗАКІНЧЕННІ ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ***

3.1 Вимкнути джерело живлення лабораторних установок.

3.2 Дати можливість охолонути розігрітим частинам приладів та оснащення.

3.3 Привести у порядок лабораторну установку.

3.4 Прибрати робоче місце.

3.5 Доповісти викладачу про закінчення проведеної роботи на даній установці.

### **Порядок виконання роботи студентом**

1. Отримує від викладача тіла з простою та складною геометрією, а також необхідні засоби для вимірювання їх маси: ваги пружинні та важільні, мірний інструмент та посуд.
2. Визначає клас точності вимірювальних приладів та потенційну похибку вимірювань.
3. Проводить вимірювання маси тіл за допомогою пружинних та важільних вагів.
4. Визначає об'єм тіл шляхом вимірювання їх розмірів та (за необхідності) занурюванням у рідину (воду).
5. За довідковою літературою визначає густину (щільність) матеріалу тіл.
6. Розраховує масу тіл за формулою (3).
7. Представляє результати вимірювань та розрахунків (з урахуванням потенційної похибки) у таблиці за формою таблиці 1.
8. Аналізує результати щодо точності вимірювань, робить висновки та представляє результати у пояснювальній записці

Таблиця 1 - Результати визначення маси тіл

Тіло №	Маса тіла при зважуванні на вагах		Об'єм тіла	Маса тіла розрахована	Примітки
	важільні	пружинні			
1					
2					
...					

**Оформлення роботи:** згідно з відповідними методичними вказівками, що діють в УДУНТ [10]. Пояснювальна записка, як правило, містить: титульний аркуш; реферат; зміст; опис розробки; висновки та рекомендації; перелік посилань.

**Обсяг пояснювальної записки** – 5...7 стор.; ф. А4; шрифт 14; 1 інтервал.

**Захист роботи:** здійснюється у ході співбесіди студента з керівником. Наявність заліку враховується при формуванні заключної оцінки з навчальної дисципліни.

## Лабораторна робота № 7 «Вимірювання сил, напружень та тиску»

**Мета:** застосування різних способів вимірювання сил, визначення напружень і тиску.

**Суть розробки:** застосування різних способів вимірювання сил, напружень і тиску з порівнянням результатів.

**Предметна сфера розробки:** метрологічне забезпечення діяльності підприємства.

**Термін виконання – 1 година.**

### **Загальні положення:**

*Сила* — фізична величина, що характеризує ступінь взаємодії тіл. Якщо на певне тіло діють інші тіла, то ця дія (взаємодія) проявляється у збереженні стану відносної рівноваги тіла, у деформації тіла за формою та/або розмірами або/та у зміні швидкості тіла (русі з прискоренням).

У першому випадку маємо статичний прояв сили, у другому — динамічний. Відповідним чином, сили вивчаються в розділах механіки, які називаються статикою та динамікою.

В статисти розглядаються умови рівноваги нерухомих тіл, а динаміка вивчає питання, пов'язані з рухом тіл під впливом сил.

Сила є *векторною* величиною: крім числа, що позначає більший чи менший її рівень, вона характеризується ще й точкою прикладання та напрямком дії.

Силу здебільшого позначають латинською літерою ***F*** (від англ. «force»), де **виділення** шрифтом вказує, що це вектор.

При цьому, властивості вектору сили можуть залежати від прийнятої моделі взаємодії тіл. Так, у механіці *абсолютно твердого тіла* вважають, що дія сили не залежить від точки прикладання, а сама сила є ковзним вектором.

Абсолютна (скалярна) величина сили позначається нежирним шрифтом: *F*.

У Міжнародній системі одиниць (SI) сила вимірюється в ньютонах:  $1 \text{ Н} = 1 \text{ кг} \cdot \text{м} / \text{с}^2$ . Сили в механіці — вага, сила пружності, сила тертя, сила тяжіння, сила реакції опори, сила Архімеда та інші зумовлені двома фундаментальними взаємодіями — гравітаційними та електромагнітними.

До різновидів сил відносять наступні.

**Вага *P***— сила, з якою тіло, внаслідок притягання до Землі, діє на опору або розтягує підвіс (рисунок 1).

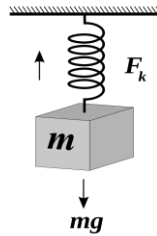


Рисунок 1 – Схема зважування тіла [3]

За другим законом Ньютона ця сила визначається формулою:

$$P = m \cdot g, \quad (1)$$

де  $m$  — маса тіла;  $g$  – прискорення вільного падіння тіл у певному місці Землі.

Якщо опора (підвіс) нерухома або рухається рівномірно і прямолінійно відносно Землі, то вага дорівнює силі тяжіння. Якщо опора є горизонтальною, то вагу можна означити і як силу пружності у взаємодії тіла з опорою. Якщо опора — похила площина, то вага тіла — рівнодійна сили пружності і сили тертя спокою, з якими тіло діє на опору. Вплив обертання Землі на вагу тіла є несуттєвим.

**Сила пружності** — сила, що виникає всередині речовини при деформації твердого тіла, і яка намагається відновити початкову форму та/або розміри тіла (протидії деформації).

Ця сила зумовлює напруження  $\sigma$  в матеріалі тіла, яке у загальному випадку для пружної деформації визначається за законом Гука:

$$\sigma_i = E \cdot e_i, \quad (2)$$

де  $\sigma_i, e_i$  - інтенсивність напружень та інтенсивність деформацій, які розглядаються в теорії пружності;  $E$  – модуль пружності (модуль Юнга) – довідкова величина для певного матеріалу.

При нормальному до площини напрямку сили  $F$  напруження  $\sigma$  визначається за формулою:

$$\sigma = \frac{F}{S}, \quad (3)$$

де  $S$  – площа, на яку діє сила.

**Сила реакції** — сила пружності, що діє на тіло з боку опори або підвісу. Якщо тіло знаходиться на нерухомій опорі, то сила реакції чисельно дорівнює вазі тіла. Якщо опора є похилою, то сила реакції — рівнодійна сил пружності і сили тертя спокою, з якою площина діє на тіло.

**Сила тертя** — сила, що виникає між стичними поверхнями різних тіл, або між частинами одного і того ж суцільного тіла (рідина, газ).

Силу тертя  $F_m$  зазвичай розраховують за законом Амонтона-Кулона:

$$F_m = f \cdot P, \quad (4)$$

де  $f$  - коефіцієнт тертя (довідкова величина).

**Сила опору середовища** — сила, що діє на тіло, яке рухається в рідині або газі і обумовлюється дією сили в'язкості і сили лобового опору. Таку сумарну силу, яка діє на тіло,

часто означають як силу опору середовища. Вона залежить від швидкості руху тіл, їх форми і розмірів. Проекція сили опору середовища на напрям переміщення — величина від'ємна. За законом рідинного тертя Ньютона:

$$\tau = \eta \cdot \frac{\partial v}{\partial y}, \quad (5)$$

де  $\tau$  - дотичне напруження у шарі рідини;  $\eta$  - динамічна в'язкість рідини, яка у загальному випадку залежить від тиску та температури;  $\partial v$  – градієнт швидкості зсуву шарів рідини;  $\partial y$  - градієнт товщини у шарі рідини.

**Сила тяжіння** за законом всесвітнього тяжіння для матеріальних точок, які знаходяться на великій відстані, записується у математичній формі у вигляді:

$$F_1 = F_2 = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}, \quad (6)$$

де  $F_1, F_2$  - сила, що діє на матеріальну точку (тіло) «1» з боку точки (тіла) «2», та сила, що діє на матеріальну точку (тіло) «2» з боку точки (тіла) «1» відповідно;  $m_1, m_2$  – маси матеріальних точок (тіл) «1» та «2» відповідно;  $r$  – відстань між точками (тілами);  $G$  – гравітаційна стала.

**Сила Архімеда** — сила, з якою діє рідина або газ на занурене в неї тіло. Вона визначається за формулою:

$$F = \rho \cdot g \cdot V, \quad (7)$$

де  $\rho$  — густина рідини (газу);  $V$ — витіснений тілом об'єм рідини (газу).

**Реактивна сила** — сила, що діє на тіло зі змінною масою. При цьому відділена від основного тіла (або приєднана до нього) маса повинна мати відмінну від нуля швидкість відносно основного тіла. Для реактивних двигунів вживається і термін «сила тяги».

**Сила інерції** — сила, що діє на тіло при розгляді руху в неінерційних системах відліку:

$$F = m \cdot a, \quad (8)$$

де  $a$  – прискорення.

**Сила Коріоліса**— одна із сил інерції, що існує в системі відліку, що обертається, і виявляється при русі в напрямі під кутом до осі обертання. Її рівень визначається формулою (4) з від'ємним значенням прискорення:

$$a_k = 2 \cdot m \cdot \omega \cdot v, \quad (9)$$

де  $\omega, v$  - кутова та лінійна швидкості тіла.

**Сила поверхневого натягу** — сила, що виникає на поверхні фазового розділу рідких матеріалів. Вона має електромагнітну природу, будучи макроскопічним проявом міжмолекулярної взаємодії. Ця сила направлена по дотичній до поверхні розділу фаз; виникає внаслідок некомпенсованого притягання молекул, що знаходяться на межі розділу фаз, молекулами, що знаходяться не на межі розділу фаз.

Якщо робота, що здійснюються силами, залежить тільки від початкового і кінцевого положень тіла і не залежить від траєкторії його переміщення, то відповідні сили називають *консервативними*, або *потенціальними*. При дії консервативних сил виконується закон збереження механічної енергії.

Робота консервативних сил за будь-якою замкненою траєкторії дорівнює 0. Системи, в яких діють тільки консервативні сили, називають консервативними.

Якщо робота, що здійснюється силою, залежить від траєкторії переміщення тіла, то така сила називається *дисипативною*. Системи, в яких діють дисипативні сили, називають неконсервативними.

Величиною сили визначаються й інші фізичні величини, зручніші для розв'язування відповідних задач механіки (фізики).

Зокрема, *тиск*  $p$  визначається, як відношення сили  $F$  до площі  $S$  поверхні, на яку сила діє. Аналогічно формулі (3):

$$p = \frac{F}{S}. \quad (10)$$

При цьому важлива тільки нормальна до поверхні складова сили. Аналогічне визначення за формулою (3) має поняття механічного напруження, це узагальнення дія тиску на нерідкі суцільні середовища.

При розгляді рідин (газів) розрізняють:

- *гідростатичний тиск*  $p_{cm}$  — тиск рідини в будь-якій точці її об'єму. Тиск у рідині, що перебуває у стані спокою, створений сумою тиску газу на її вільній поверхні та силою тяжіння стовпа рідини висотою  $h$ , розташованого над точкою вимірювання, визначається формулою:

$$p_{cm} = \rho gh; \quad (11)$$

- *динамічний тиск*  $p_{дин}$  — частина тиску всередині рухомої рідини або газу, що зумовлена їх рухом та характеризує їх кінетичну енергію:

$$p_{дин} = \frac{1}{2} \rho v^2. \quad (12)$$

Згідно із законом Бернуллі у певній точці ідеальної рідини:

$$\frac{\rho v^2}{2} + \rho gh + p = const. \quad (13)$$

У статиці також важливу роль відіграє поняття *моменту сили*, оскільки для неточкових тіл значення має не тільки величина і напрям сили, а й точка, до якої ця сила прикладена. Момент сили використовується у тих фізичних задачах, у яких сила призводить не до поступального руху, а до обертового.

При вивченні зіткнень між тілами й ударів використовується поняття *імпульсу сили*, що визначається не тільки силою, але й тим проміжком часу, упродовж якого ця сила діє. Внаслідок переміщення тіла, на яке діє сила, ця сила виконує роботу.

*Виходячи з наведених матеріалів, можливі наступні способи визначення ваги тіла:*

- за деформацією самого або допоміжного тіла (наприклад, пружини);
- зіставленням за масою з еталоном при використанні важільної врівноваженої системи:
- розрахунком з урахуванням маси.

*Прямими методами* вимірюється вага за допомогою різноманітних ваг (рисунок 2).



*a*



*б*

Рисунок 2 – Вигляд вагів: *a* – пружинні тензометричні ваги з електронною індикацією; *б* - ваги важільні з механічною (стрілочною) індикацією [2]

При цьому слід враховувати, що ваги дають значення *маси* у кілограмах, а *вага* тіла визначається у ньютонках за формулою (1).

Також вагу тіла можна розрахувати з використанням значення його маси за формулою, що є аналогічною рівнянню (7):

$$P = \rho \cdot g \cdot V , \quad (14)$$

де  $\rho$  - густина (щільність) матеріалу тіла.

*Тиск твердого тіла на опору* можна визначити за формулою (10).

*Засоби вимірювання тиску у рідині* за видом тиску, що вимірюється, поділяють на:

- *манометри абсолютного тиску* – для вимірювання тиску з відліком від нуля;
- *манометри надлишкового тиску*;
- *вакуумметри* – для вимірювання вакууму (розрідження);
- *мановакуумметри* – для вимірювання надлишкового тиску і вакууму (розрідження);
- *барометри* – для вимірювання атмосферного тиску.

У практиці вимірювань тисків також набули використання:

- *напороміри* – манометри малих надлишкових тисків (до 40 кПа);
- *тягоміри* – вакуумметри з граничною межею вимірювання до – 40 кПа;
- *тягонапороміри* – мановакуумметри з діапазоном вимірювань +20...-20 кПа;
- *вакуумметри залишкового тиску* – вакуумметри, що призначені для вимірювання глибокого вакууму або залишкового тиску, тобто абсолютних тисків менших за 200 Па;
- *диференціальні манометри* – засоби вимірювання різниці тисків.

Часто «*манометром*» називають будь-який прилад для вимірювання тиску.

*За принципом дії* (принципом перетворення вимірюваної величини у сигнал про її рівень) прилади для вимірювання тиску поділяють на:

- гравітаційні;
- пружинні, або деформаційні;
- електронні.

У *гравітаційних* манометрах використовується сила гравітації для прямого вимірювання тиску. Вони поділяються на *рідинні* та *вантажопоршневі* (рисунок 3).

У *рідинних манометрах* з гідростатичним зрівноваженням мірою тиску є висота стовпа робочої рідини (рисунок 3, *a*). Діапазон вимірюваного тиску для U-подібних

трубчастих манометрів становить: від  $10^{-5}$  МПа до 0,1 МПа. До числа рідинних засобів вимірювань тиску (різниці тисків і розрідження) з гідростатичним врівноваженням, які ще застосовуються на технологічних потоках, відносяться поплавцеві і дзвонові манометри («дифманометри»), а також компресійні манометри (вакуумметри), що використовуються для лабораторно-метрологічних цілей. У більшості випадків вони замінені більш досконалими деформаційними засобами вимірювань тиску [2].

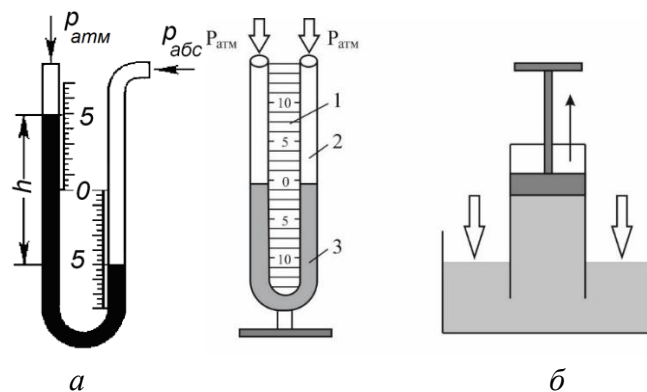


Рисунок 3 – Схема гравітаційних манометрів: *а* – рідинного (1 – шкала; 2 – *U* подібна трубка; 3 – робоча рідина, наприклад, ртуть); *б* – вантажопоршневого (світлі стрілки – зовнішній тиск) [2]

У *вантажопоршневих манометрах* (рисунок 3, *б*) вимірюваний тиск врівноважують тиском, що створюється масою поршня з вантажоприймальним пристроєм і вантажем при врахуванні сили рідинного тертя. Такі прилади використовуються як зразкові засоби відтворення одиниці тиску в діапазоні від  $10^{-1}$  до  $10^{13}$  Па, а також для точних вимірювань тиску в лабораторній практиці.

У *пружинних, або деформаційних* вимірювачах тиску (рисунок 4) про рівень вимірюваної величини судять за мірою деформації пружного елемента, що відбувається під тиском.

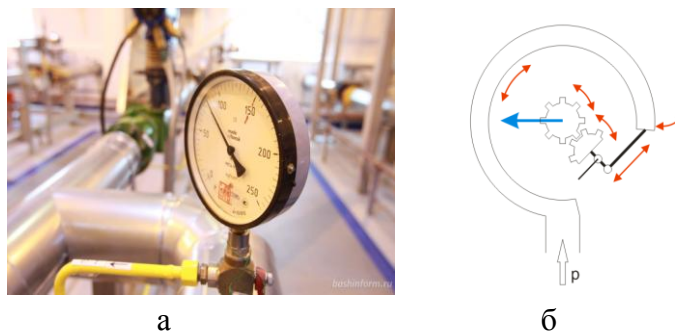


Рисунок 4 – Манометр для вимірювання тиску природного газу (*а*) та датчик манометра у вигляді трубки Бурдона (*б*) [2]

В якості пружного елемента у таких вимірювачах тиску використовують датчик у вигляді:

– трубки Бурдона (рис. 4, б) – трубка, вигнута по дузі близько 250° кола, заповнена рідиною, тиск якої вимірюється. При вимірюванні високих тисків трубка виконується гвинтовою або спіральною. Діапазон вимірювання таких пристроїв: від 10 Па до 1000 МПа;

– пружної мембрани – працює аналогічно до трубки Бурдона, але в цьому випадку чутливим елементом є мембрана, деформація якої прямо пропорційна прикладеному тиску. Діапазон вимірюваних тисків: від 0,0016 МПа до 4 МПа;

– сільфону – датчик має вигляд тонкостінної металевої трубки або камери з гофрованою (хвилеподібною) бічною поверхнею, зміна довжини якої із зміною тиску середовища в камері свідчить про величину тиску. Діапазон вимірюваних тисків: від 0,1 МПа до 60 МПа.

У електронних вимірювачах тиску використовують перетворювачі тиску у значення електричних величин, таких як електричний опір, індуктивність, резонансна частота, що дає змогу зручної візуалізації отриманих результатів (рисунок 5), а також використання такого вимірювача в системах автоматизації.



Рисунок 5 – Вигляд електронного вимірювача тиску (вакуумметра) [2]

### **Перед початком роботи керівник (викладач) проводить інструктаж з техніки безпеки, в якому представляє наступне.**

#### ***1 ВИМОГИ БЕЗПЕКИ ПЕРЕД ПОЧАТКОМ РОБОТИ***

1.1 Усе лабораторне обладнання (установки, огороження, запобіжні пристрої) повинні бути ретельно оглянуті та перевірені відповідальними за проведення конкретної лабораторної роботи.

1.2 При наявності будь яких несправностей, вони повинні бути усунуті до початку проведення лабораторних робіт.

1.3 Перевірити справність заземлення на лабораторних установках, які мають живлення від електричної мережі університету.

1.4 Перевірити справність пускових пристроїв та підключень приладів та оснащення до електричної мережі живлення.

1.7 При проведенні лабораторних робіт, пов'язаних з використанням освітлювальних або нагрівальних пристроїв необхідно перевірити їх на відсутність перегріву; при наявності неприємного запаху вимкнути пристрій і повідомити керівника роботи (викладача).

1.8 Перевірити установку вимірювальних приладів на «О».

**ПОПЕРЕДЖЕННЯ:** вмикання лабораторних установок без відома викладача (керівника) **ЗАБОРОНЕНО.**

## **2 ВИМОГИ ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ**

2.1 При включенні приладів необхідно проконтролювати відповідну індикацію.

### **2.2 ЗАБОРОНЕНО:**

2.2.1 виконувати будь який ремонт включених приладів та оснащення;

2.2.2 торкатися руками до деталей, які рухаються.

2.3 **ЗАБОРОНЕНО** будь яке гальмування (руками чи сторонніми предметами) механізмів, які обертаються.

2.4 **ЗАБОРОНЕНО** студентам поза межами виконуваної лабораторної роботи пересуватись по лабораторії, підходити до працюючих машин, відволікати працюючих розмовами, торкатися руками до електропроводки, рубильників, автоматів тощо.

2.5 У разі раптового припинення подачі електроенергії необхідно працюючу установку відключити від живлення та повідомити про це керівника (викладача).

2.6 Необхідно негайно відключити прилади та оснащення: при перегріві вище нормально припустимого, появі сторонніх звуків, порушені нормального живлення тощо та повідомити про це керівника (викладача).

2.7 **ЗАБОРОНЕНО** торкатися до розігрітих частин лабораторних установок.

## **3 ВИМОГИ ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ ЗАКІНЧЕННІ ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ**

3.1 Вимкнути джерело живлення лабораторних установок.

3.2 Дати можливість охолонути розігрітим частинам приладів та оснащення.

3.3 Привести у порядок лабораторну установку.

3.4 Прибрати робоче місце.

3.5 Доповісти викладачу про закінчення проведеної роботи на даній установці.

### **Порядок виконання роботи студентом**

1. Вивчає інформацію, що наведена вище, стосовно визначення сили, напруження та тиску.

2. Отримує від викладача об'єкти, вагу яких необхідно визначити, та засоби для вимірювання ваги.

3. Оцінює точність наданих засобів вимірювань.

4. Зважуванням на вагах різної точності вимірює вагу наданих об'єктів.

5. Визначає вагу об'єктів опосередкованим методом (за їх об'ємом і щільністю).

6. Зіставляє результати визначення ваги між собою.

7. Розрахунком визначає тиск об'єктів на горизонтальну поверхню.

8. Визначає особливості конструкції манометру.

9. Описує та класифікує наявні засоби вимірювань, представляє отримані результати у пояснювальній записці.

**Оформлення роботи:** згідно з відповідними методичними вказівками, що діють в УДУНТ [10]. Пояснювальна записка, як правило, містить: титульний аркуш; реферат; зміст; опис розробки; висновки та рекомендації; перелік посилань.



*Висотні:*

- $R_a$  — середнє арифметичне відхилення профілю (середнє арифметичне абсолютних значень відхилень профілю в межах базової довжини);
- $R_z$  — висота нерівностей профілю по 10 точках (середнє абсолютних сум значень висот п'яти найбільших виступів і глибин п'яти найбільших впадин профілю в межах базової довжини);
- $R_{max}$  — найбільша висота профілю (відстань між лінією максимального виступу профілю і лінією максимальної впадини профілю в межах базової довжини).

*Крокові:*

- $S$  — середній крок місцевих виступів профілю (середнє арифметичне значення кроку нерівностей профілю по вершинах в межах базової довжини);
- $S_m$  — середній крок нерівностей профілю по середній лінії (середнє арифметичне значення кроку нерівностей профілю в межах базової довжини).

*Висотно-кроковий:*

- $t_p$  — відносна опорна довжина профілю (відношення опорної довжини профілю до базової довжини, де  $p$  — значення рівня перерізу профілю).

Виступи шорсткості розподіляються на поверхні стінок рівномірно або нерівномірно, причому в загальному випадку вони можуть мати різну форму й розміри. Зокрема, в трубах промислового сортаменту через технологічну недосконалість їх виготовлення шорсткість розподілена нерівномірно. У випадку штучної підготовки поверхні шорсткість може бути рівномірною за висотою.

На кресленнях шорсткість позначають за схемою, що наведена у прикладах на рисунку 2.

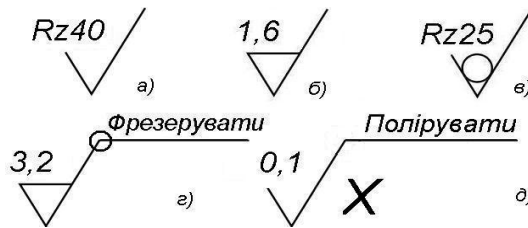


Рисунок 2 – Приклади позначень шорсткості на кресленнях [3]

Реєстрація профілограм, а також отримання дво- або тривимірного зображення поверхонь твердих тіл може проводитись приладами контактного або безконтактного типу. Такі прилади називаються профілометрами або профілографами (профілографами-профілометрами) відповідно.

У приладах контактного типу копіювання профілю здійснюється шляхом переміщення голки по шорсткій досліджуваній поверхні. Така голка закріплена на важелі, який пов'язаний з електромагнітною підсилюючою системою реєстрації сигналу.

До приладів безконтактного типу відносяться оптичні та растрові електронні мікроскопи, а також прилади, що використовують для сканування монохроматичного поверхневого (зокрема, лазерного) відбивного випромінювання.

Зовнішній вигляд однієї з моделей контактного профілометра та схему, за якою він працює, відображено на рисунку 3.

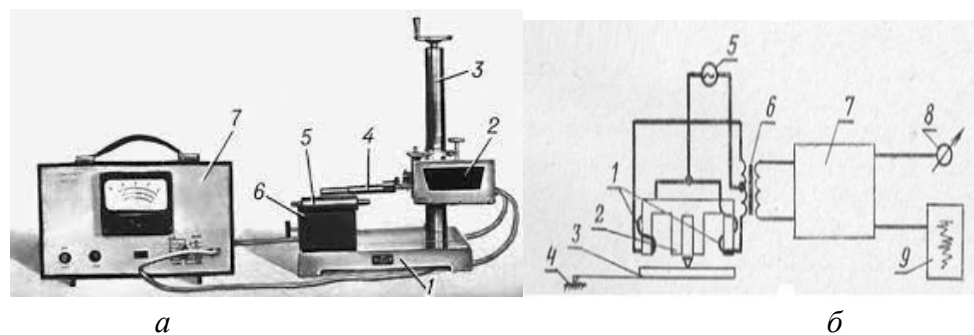


Рисунок 3 – Профілограф моделі К 240: а – зовнішній вигляд (1 – станіна; 2 – мотопривід, закріплений на вертикальній стійці 3 з можливістю контрольованого переміщення мотоприводу 2 з датчиком 4 з голкою; 5 – зразок з досліджуваною поверхнею; 6 – столик; 7 – електронний блок); б - схема вимірювання (1, 2 – електромагнітна система; 3 – датчик з голкою, закріплений на важільній системі; 4 – виріб з досліджуваною поверхнею; 5 – блок живлення електромагнітної системи; 6 – трансформатор; 7 – електронний блок перетворення електричного сигналу; 8, 9 – вихід до записуючого блоку (останній на електричній схемі не показаний) [2]

**Перед початком роботи керівник (викладач) проводить інструктаж з техніки безпеки, в якому представляє наступне.**

***1 ВИМОГИ БЕЗПЕКИ ПЕРЕД ПОЧАТКОМ РОБОТИ***

1.1 Усе лабораторне обладнання (установки, огороження, запобіжні пристрої) повинні бути ретельно оглянуті та перевірені відповідальними за проведення конкретної лабораторної роботи.

1.2 При наявності будь яких несправностей, вони повинні бути усунуті до початку проведення лабораторних робіт.

1.3 Перевірити справність заземлення на лабораторних установках, які мають живлення від електричної мережі університету.

1.4 Перевірити справність пускових пристроїв та підключень приладів та оснащення до електричної мережі живлення.

1.7 При проведенні лабораторних робіт, пов'язаних з використанням освітлювальних або нагрівальних пристроїв необхідно перевірити їх на відсутність перегріву; при наявності неприємного запаху виключити пристрій і повідомити керівника роботи (викладача).

1.8 Перевірити установку вимірювальних приладів на «О».

**ПОПЕРЕДЖЕННЯ:** вмикання лабораторних установок без відома викладача (керівника) **ЗАБОРОНЕНО**.

***2 ВИМОГИ ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ***

2.1 При включенні приладів необхідно проконтролювати відповідну індикацію.

**2.2 ЗАБОРОНЕНО:**

2.2.1 виконувати будь який ремонт включених приладів та оснащення;

2.2.2 торкатися руками до деталей, які рухаються.

2.3 **ЗАБОРОНЕНО** будь яке гальмування (руками чи сторонніми предметами) механізмів, які обертаються.

2.4 **ЗАБОРОНЕНО** студентам поза межами виконуваної лабораторної роботи пересуватись по лабораторії, підходити до працюючих машин, відволікати працюючих розмовами, торкатися руками до електропроводки, рубильників, автоматів тощо.

2.5 У разі раптового припинення подачі електроенергії необхідно працюючу установку відключити від живлення та повідомити про це керівника (викладача).

2.6 Необхідно негайно відключити прилади та оснащення: при перегріві вище нормально допустимого, появі сторонніх звуків, порушенні нормального живлення тощо та повідомити про це керівника (викладача).

2.7 **ЗАБОРОНЕНО** торкатися до розігрітих частин лабораторних установок.

### **3 ВИМОГИ ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ ЗАКІНЧЕННІ ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ**

3.1 Вимкнути джерело живлення лабораторних установок.

3.2 Дати можливість охолонути розігрітим частинам приладів та оснащення.

3.3 Привести у порядок лабораторну установку.

3.4 Прибрати робоче місце.

3.5 Доповісти викладачу про закінчення проведеної роботи на даній установці.

#### **Порядок виконання роботи студентом**

1. Ознайомлюється із загальними положеннями, викладеними вище.

2. Пояснює необхідність визначення шорсткості поверхонь, її представлення на кресленнях, принцип вимірювання шорсткості та принцип дії контактного профілографа.

3. Отримує від викладача профілометр та інструкцію до нього, еталон шорсткості та вироби, шорсткість поверхні яких слід виміряти.

4. Визначає клас точності профілометра.

5. Перевіряє правильність показань вимірювальної установки шляхом вимірювання шорсткості еталонного зразка та зіставлення результату з його відомими характеристиками.

6. Проводить серію (не менше 5) вимірів рівня шорсткості поверхні наданих деталей та оцінює похибки вимірювань.

7. Представляє результати у пояснювальній записці.

**Оформлення роботи:** згідно з відповідними методичними вказівками, що діють в УДУНТ [10]. Пояснювальна записка, як правило, містить: титульний аркуш; реферат; зміст; опис розробки; висновки та рекомендації; перелік посилань.

**Обсяг пояснювальної записки** – 5...8 стор.; ф. А4; шрифт 14; 1 інтервал.

**Захист роботи:** здійснюється у ході співбесіди студента з керівником. Наявність заліку враховується при формуванні заключної оцінки з навчальної дисципліни.

## Лабораторна робота № 9

### «Застосування мікроскопу для оцінювання якості поверхонь виробів»

**Мета:** застосування металографічного мікроскопу для оцінки якості поверхонь виробів.

**Суть розробки:** практичне застосування мікроскопу МИМ-7 для оцінки якості поверхонь.

**Термін виконання – 1 година.**

**Предметна сфера розробки:** метрологічне забезпечення діяльності підприємства.

#### **Загальні положення:**

Якість поверхні виробів визначає їх важливі експлуатаційні властивості: зносостійкість від стирання, міцність, щільність (герметичність) з'єднань, хімічну стійкість, зовнішній вигляд тощо.

На кресленнях, коли це потрібно, відповідні поверхні позначають згідно з рисунком 1.

Для якісного прогнозування та оцінки відповідних властивостей використовують, зокрема, різноманітні металографічні мікроскопи.

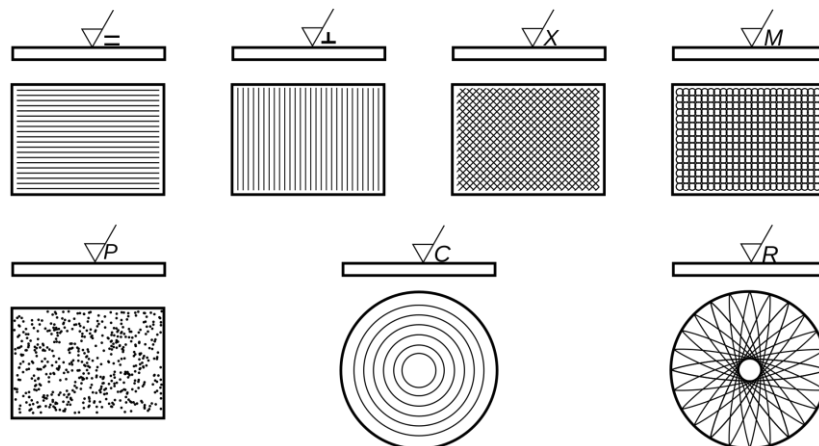


Рисунок 1 – Позначення на кресленнях виду поверхні з регламентацією її шорсткості та вигляду [3]

Металографічні мікроскопи у вертикальному або горизонтальному виконанні (МИМ-7, МИМ-8, ММУЗ та ін.) працюють на принципі віддзеркалення світлового променя від досліджуваної поверхні. Усі вони складаються з трьох систем (рисунок 2).

**Оптична система** включає об'єктив, окуляр та низку допоміжних оптичних елементів (призми, дзеркала та ін.), основне призначення яких - змінювати хід світлового променя.



Рисунок 2 – Загальний вигляд металографічного дослідного мікроскопу МІМ-7: 1 – предметний столик; 2 – гвинти для переміщення предметного столика; 3 - макрогвинт; 4 - мікрогвинт; 5 – окуляр; 6 – об'єктив [2]

*Об'єктив* – це система лінз в оправці, що орієнтована на досліджуваний об'єкт (зазвичай – мікрошліф). Об'єктиви виконують змінними. Вони можуть збільшувати зображення від 9 до 95 разів.

*Окуляр* є системою лінз в оправці, яка спрямовується до ока спостерігача. Окуляри збільшують зображення від 7 до 20 разів.

Загальне лінійне збільшення мікроскопа можна прийняти рівним добутку збільшення об'єктиву та окуляра. Для визначення збільшення мікроскопа користуються спеціальними таблицями, що додаються до приладів.

**Освітлювальна система.** Джерелом освітлення тут є лампа розжарювання, яка живиться від мережі змінного струму через понижувальний трансформатор.

**Механічна система.** До неї входять корпус, предметний столик, здатний переміщатися у двох перпендикулярних напрямках горизонтальної площини та у вертикальному напрямку, макро- та мікрогвинт та ін.

***Порядок роботи з оптичним мікроскопом наступний.***

1) Подивитися, які лінзи (об'єктив та окуляр) стоять на мікроскопі, та за наданою таблицею визначити збільшення мікроскопа.

2) Гвинтами 2 (див. рис. 2) зцентрувати предметний столик 1 мікроскопа щодо об'єктива 6.

3) Помістити зразок виробу (мікрошліф) на предметний столик таким чином, щоб поверхня, що досліджується, була звернена до об'єктиву.

4) Встановити риску мікрометричного гвинта 4 на нульове значення шкали на барабані.

5) Спостерігаючи в окуляр 5, макрогвинтом 3 шляхом переміщення предметного столика навести різкість зображення досліджуваної поверхні. При появі зображення предметний столик закріпити гвинтом.

6) Мікрогвинтом 4 зробити тонке наведення різкості.

7) Переміщаючи гвинтами 2 предметний столик 1, вивчити мікроструктуру зразка на площі, обмеженою отвором вкладиша предметного столу. При можливості, оцінити середню відстань між виступами мікрорельєфу.

### **Перед початком роботи керівник (викладач) проводить інструктаж з техніки безпеки, в якому представляє наступне.**

#### ***1 ВИМОГИ БЕЗПЕКИ ПЕРЕД ПОЧАТКОМ РОБОТИ***

1.1 Усе лабораторне обладнання (установки, огороження, запобіжні пристрої) повинні бути ретельно оглянуті та перевірені відповідальними за проведення конкретної лабораторної роботи.

1.2 При наявності будь яких несправностей, вони повинні бути усунуті до початку проведення лабораторних робіт.

1.3 Перевірити справність заземлення на лабораторних установках, які мають живлення від електричної мережі університету.

1.4 Перевірити справність пускових пристроїв та підключень приладів та оснащення до електричної мережі живлення.

1.7 При проведенні лабораторних робіт, пов'язаних з використанням освітлювальних або нагрівальних пристроїв необхідно перевірити їх на відсутність перегріву; при наявності неприємного запаху виключити пристрій і повідомити керівника роботи (викладача).

1.8 Перевірити установку вимірювальних приладів на «О».

**ПОПЕРЕДЖЕННЯ:** вмикання лабораторних установок без відома викладача (керівника) **ЗАБОРОНЕНО**.

#### ***2 ВИМОГИ ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ***

2.1 При включенні приладів необхідно проконтролювати відповідну індикацію.

##### **2.2 ЗАБОРОНЕНО:**

2.2.1 виконувати будь який ремонт включених приладів та оснащення;

2.2.2 торкатися руками до деталей, які рухаються.

2.3 **ЗАБОРОНЕНО** будь яке гальмування (руками чи сторонніми предметами) механізмів, які обертаються.

2.4 **ЗАБОРОНЕНО** студентам поза межами виконуваної лабораторної роботи пересуватись по лабораторії, підходити до працюючих машин, відволікати працюючих розмовами, торкатися руками до електропроводки, рубильників, автоматів тощо.

2.5 У разі раптового припинення подачі електроенергії необхідно працюючу установку відключити від живлення та повідомити про це керівника (викладача).

2.6 Необхідно негайно відключити прилади та оснащення: при перегріві вище нормально допустимого, появі сторонніх звуків, порушені нормального живлення тощо та повідомити про це керівника (викладача).

2.7 **ЗАБОРОНЕНО** торкатися до розігрітих частин лабораторних установок.

#### ***3 ВИМОГИ ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ ЗАКІНЧЕННІ ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ***

3.1 Вимкнути джерело живлення лабораторних установок.

3.2 Дати можливість охолонути розігрітим частинам приладів та оснащення.

3.3 Привести у порядок лабораторну установку.

3.4 Прибрати робоче місце.

3.5 Доповісти викладачу про закінчення проведеної роботи на даній установці.

### **Порядок виконання роботи студентом**

1. Отримує від викладача доступ до необхідного обладнання, а саме до металографічного мікроскопу МИМ-7 та зразки виробів з поверхнею, що має різну орієнтацію мікрорельєфу («шліфи»).

2. Готує оснащення до використання.

3. Виконує дії згідно з порядком роботи з мікроскопом, що представлений вище.

4. Оцінює якість поверхні зразків виробів (лабораторних шліфів), її представлення на кресленнях, визначає середню відстань між виступами мікрорельєфу з урахуванням збільшення мікроскопу.

5. Представляє отримані дані у пояснювальній записці.

**Оформлення роботи:** згідно з відповідними методичними вказівками, що діють в УДУНТ [10]. Пояснювальна записка, як правило, містить: титульний аркуш; реферат; зміст; опис розробки; висновки та рекомендації; перелік посилань.

**Обсяг пояснювальної записки** – 3...5 стор.; ф. А4; шрифт 14; 1 інтервал.

**Захист роботи:** здійснюється у ході співбесіди студента з керівником. Наявність заліку враховується при формуванні заключної оцінки з навчальної дисципліни.

## Лабораторна робота № 10

### **«Вимірювання освітленості, зумовленої джерелом світла»**

**Мета:** опанування прийомами вимірювання освітленості від джерела світла.

**Суть розробки:** вимірювання освітленості, зумовленої штучним джерелом світла, та визначення залежності вимірюваної освітленості від відстані до нього.

**Термін виконання** – 2 години.

**Предметна сфера розробки:** метрологічне забезпечення діяльності підприємства.

## Загальні положення

Розділ оптики, що вивчає методи та прийоми вимірювання світлової енергії називається *фотометрією*. У фотометрії прийнято описувати електромагнітне випромінювання за допомогою параметрів, що враховують особливості сприйняття людським оком світла, зокрема, його яскравість. Це зумовлене тим, що людина не бачить випромінювання з довжинами хвиль, менше 380 і більше 780 нм (видимий діапазон електромагнітного випромінювання), тому будь-яке випромінювання поза цього діапазону не впливає на яскравість джерела. Крім того, зорова система людини має різну чутливість до різних довжин хвиль. Наприклад, зелене випромінювання набагато яскравіше для ока, ніж ідентичне за потужністю синє. Тому така фізична величина як *потужність* не може бути характеристикою сприйняття світла людським оком.

Основні фотометричні величини у зіставленні з відповідними енергетичними параметрами відображені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Основні фотометричні величини

Енергетична характеристика	Одиниця величини	Фотометрична характеристика	Позначення	Одиниця величини
Потік (потужність) випромінювання	Вт	Світловий потік	$\Phi$	лм (люмен)
Поверхнева густина потоку випромінювання	Дж/м <sup>2</sup>	Освітленість	$E$	лк (люкс)
Сила випромінювання	Вт/ср	Сила світла	$I$	кд (кандела)
Енергетична яскравість	Вт/(ср·м <sup>2</sup> )	Яскравість	$L$	кд/м <sup>2</sup>

**Світловий потік** – це фізична величина, що чисельно дорівнює *кількості оцінюваної за зоровим відчуттям світлової енергії, яка падає на поверхню за одиницю часу*. Іншими словами, це величина, що дозволяє оцінити потужність видимого випромінювання за його дією на рогівку ока. Світловий потік вимірюється в люменах (лм). Один *люмен* – це світловий потік, що випромінюється точковим ізотропним джерелом із силою світла в одну кандела (кд) в тілесний кут (ср) величиною в один стерадіан (1лм = 1кд·1ср). Світловий потік враховує і розсіяне світло.

**Освітленість** (або інтенсивність світлового потоку) – *відношення потужності світлового потоку до площі освітлюваної поверхні*. Одиниця вимірювання освітленості – люкс. Один люкс дорівнює освітленості поверхні площею 1 м<sup>2</sup> при світловому потоці падаючого на неї випромінювання 1 люмен. Освітленість прямо пропорційна силі світла джерела світла. При віддаленні його від освітлюваної поверхні, її освітленість зменшується обернено пропорційно до квадрата відстані.

Коли проміння світла падає похило до освітлюваної поверхні, освітленість змінюється пропорційно косинусу кута падіння проміння.

**Сила світла** – це одна з основних фотометричних величин. Вона *характеризує величину світлової енергії, що переноситься в певному напрямку за одиницю часу*.

Кількісно сила світла дорівнює відношенню світлового потоку, що поширюється в певному тілесному куті, до величини цього кута. Одиниця сили світла — кандела (кд). Це одна із семи основних одиниць вимірювання в системі СІ. *Одна кандела* дорівнює силі світла, що випромінюється в заданому напрямку монохроматичним джерелом з частотою  $540 \cdot 10^{12}$  герц, енергетична сила світла якого в цьому напрямку складає  $1/683$  Вт/ср. Ця частота відповідає зеленій області спектру, до якої людське око є найбільш чутливим. Суб'єктивно, 1 кд приблизно дорівнює силі світла, що випромінюється однією свічкою.

**Яскравість** – це відношення сили світла, випромінюваного поверхнею, до площі її проекції на площину, що перпендикулярна до осі спостереження. Іншими словами, яскравість – *це густина світлового потоку (кд/м<sup>2</sup>)*. Часто яскравість вимірюють в одиницях, які зветься *стільб* (1 стільб =  $10^4$  кд/м<sup>2</sup>).

Зі всіх фотометричних величин яскравість безпосередньо пов'язана з зоровими відчуттями, оскільки освітленість зображення предмета на рогівці ока пропорційна яскравості предмета.

У цьому зв'язку розрізняють фотометричну яскравість (англ. luminance) і яскравість, яка сприймається оком людини (англ. luminous intensity).

Для вимірювання освітленості застосовують люксометри (рисунок 1).



Рисунок 1 – Деякі товарні моделі люксометрів [2]

**Люксометри** – це прилади для вимірювання освітленості в приміщеннях та на відкритому просторі. До складу такої вимірювальної системи входять фотодіод, підсилювач сигналу з фотодіода, аналогово-цифровий перетворювач, а також косинусна насадка та світлові фільтри.

Працює люксометр на явищі внутрішнього фотоелектричного ефекту: виникненні електропровідності в напівпровідниках під дією електромагнітного випромінювання (на відміну від зовнішнього фотоелектричного ефекту, коли відбувається емісія електронів під дією світла). При цьому сила електричного струму стає прямо пропорційною інтенсивності світла, тобто освітленості фотоелемента, а кінетична енергія фотоелектронів прямо пропорційна частоті світла. Це дозволяє виразити величину освітленості кількісно.

У перших аналогових люксометрах освітленість розраховувалась за кутом відхилення стрілки гальванометра. Сучасні люксометри (див. рис. 1) – це портативні цифрові прилади з

рідкокристалічним екраном, на якому відображається результат вимірювання, з високими ступенями захисту корпусу та чутливого елемента, а також з набором додаткових функцій та можливостей.

Селеновий фотодіод є надзвичайно чутливим не тільки до видимого випромінювання, але й до ультрафіолетових та інфрачервоних променів, які не сприймаються людським оком. Тому в сучасних люксометрах широко використовуються корегувальні світлофільтри, які відсікають «зайві» області спектру та наближають чутливість фотоелемента до чутливості людського ока.

З іншого боку, потрібно враховувати і те, що кожне джерело світла (лампа розжарювання, люмінесцентна лампа, діодний світильник та ін.) має свій спектр випромінювання, тому для кожного люксометра потрібно використовувати коефіцієнти для різних типів ламп. Наприклад, при вимірюванні освітленості, що створюється люмінесцентними лампами, вводять поправочний коефіцієнт: для ламп денного світла 0,88, а для ламп білого світла – 1,15.

Для вимірювання просторових характеристик освітленості теж існують свої засоби – це насадки сферичної та циліндричної форми. Для підвищення точності вимірювання освітленості при падінні світла під кутом використовують спеціальні насадки.

У випадку слабких джерел світла, а також коли необхідна особливо висока точність, варто застосовувати вакуумні фотоелементи.

### **Перед початком роботи керівник (викладач) проводить інструктаж з техніки безпеки, в якому представляє наступне.**

#### *1. Вимоги безпеки перед роботою*

*1.1. Перед початком роботи необхідно оглянути робоче місце і привести його в порядок, впевнитись, що на ньому відсутні сторонні предмети.*

*1.2. Перш ніж починати роботу з електроприладами необхідно уважно вивчити інструкцію по експлуатації даного електроприладу.*

*1.3. Електроприлади встановлюються тільки на стабільну поверхню в сухому приміщенні на відстані від приладів опалення та металевих комунікацій, які заземлені.*

*1.4. Перед початком роботи необхідно пересвідчитись у справному стані електроприладів, з'єднувальних шнурів, штепсельних вилок та розеток, наявності заземлення.*

*1.5. Електроприлади вмикають тільки в електромережу змінного струму напругою 220 В.*

*1.6. Користуватись несправним устаткуванням або використовувати його не за прямим призначенням **забороняється**.*

*1.7. При виявленні будь-яких недоліків у стані обладнання необхідно доповісти керівнику структурного підрозділу або відповідальній особі.*

#### *2. Вимоги безпеки під час роботи*

*2.1. При роботі з електроприладами треба дотримуватись цієї інструкції та інструкції з їх експлуатації.*

*2.2. Під час роботи не можна:*

- піддавати прилади впливу дощу чи іншої вологи;*
- самостійно проводити їх розбирання чи ремонт;*
- блокувати вентиляційні отвори;*
- кидати електроприлади з висоти;*

- встановлювати на електроприлади сторонні предмети;
- вмикати або вимикати електроприлади вологими руками.

2.3. Якщо всередину електроприладу потрапила рідина чи сторонні предмети, його треба негайно вимкнути та віддати на перевірку до спеціаліста з ремонту.

2.4. Якщо при використанні електроприладу з'явилися сторонні звуки, запах диму, з'явилося полум'я – електроприлад негайно від'єднати від електромережі та доповісти керівнику підрозділу або відповідальній особі.

### 3. Вимоги безпеки після закінчення роботи

3.1. Після закінчення роботи електроприлад необхідно вимкнути згідно інструкції та від'єднати його від електромережі.

3.2. Виймаючи штепсельну вилку з розетки ні в якому разі не можна тягнути за шнур, тільки за вилку.

3.3. Необхідно прибрати своє робоче місце, при необхідності вимити руки з милом.

3.4. Якщо в процесі роботи були помічені недоліки в роботі електрообладнання, необхідно доповісти керівнику підрозділу або відповідальній особі.

### **Порядок виконання роботи студентом**

1. Отримує від викладача доступ до стенда зі штучним джерелом світла (лампами розжарювання різної потужності), люксметр та рулетку для визначення залежності освітленості відстані до джерела світла.

2. Опановує інструкцію щодо вимірювань освітленості люксметром.

3. Вимірює за допомогою люксметра освітленість, змінюючи відстань від джерела світла до нього (1 м, 2 м, 3 м) та потужність джерела світла.

4. Представляє отримані результати за формою таблиці 2 та аналізує їх, звертаючи увагу на відповідність теоретично визначеній залежності освітленості від відстані до джерела світла.

Таблиця 2 – Форма представлення результатів вимірювань

№№	Потужність джерела світла, Вт	Відстань до джерела світла, м	Освітленість, лк	Примітки
1	...	1		
2		2		
3		3		
...		...		

5. Представляє отримані результати вимірювань та аналізу у пояснювальній записці.

**Оформлення роботи:** згідно з відповідними методичними вказівками, що діють у в УДУНТ [10]. Пояснювальна записка, як правило, містить: титульний аркуш; реферат; зміст; опис розробки; висновки та рекомендації; перелік посилань.

**Обсяг пояснювальної записки** – 3...5 стор.; ф. А4; шрифт 14; 1 інтервал.

**Захист роботи:** здійснюється у ході співбесіди студента з керівником. Наявність заліку враховується при формуванні заключної оцінки з навчальної дисципліни.

## Лабораторна робота № 11 «Визначення рівня шуму в приміщеннях»

**Мета:** опанування прийомами вимірювання шумовимірювачем.

**Суть розробки:** ознайомлення з конструкцією, накладкою та прийомами вимірювання шумовимірювачем.

**Термін виконання** – 1 година.

**Предметна сфера розробки:** метрологічне забезпечення діяльності підприємства.

### **Загальні положення**

Шумом називається будь-який небажаний звук. Як фізичне явище шум - це сукупність звуків різноманітної частоти та інтенсивності.

Шум негативно впливає на здоров'я та працездатність людей. Тривалий вплив шуму великої інтенсивності викликає патологію слухового органу, яка може перейти в туговухість та глухоту, порушує регуляторну функцію нервової системи, в наслідок чого притупляється гострота зору, з'являється головний біль та запаморочення, підвищується артеріальний тиск, змінюються ритми дихання та серцевої діяльності, обсяг внутрішніх органів, порушується травлення, розвивається гастрит, виразка шлунку та інші хвороби шлункового тракту. Шум призводить до послаблення уваги, уповільнення психічних реакцій, що підвищує кількість помилок під час роботи, сприяє виникненню травм.

Вухо людини здатне сприймати звукові коливання на частотах від 16 Гц до 20 кГц. Діапазон амплітуд коливань звукового тиску частотою 1000 Гц (поріг чутності) - від  $2 \cdot 10^{-5}$  до  $2 \cdot 10^2$  Па (останнє - поріг болісного відчуття).

Одним з основних етапів розв'язання задачі боротьби із шумом є кваліфіковане та вірогідне визначення основних параметрів виробничого шуму, яке необхідно як для оцінювання ступеню його впливу на людей, так і для вибору найбільш ефективних методів та засобів боротьби з ним.

Суть вимірювання шуму полягає у визначенні рівня звуку  $L_A$  та рівнів звукових тисків  $L_p$  у фіксованих смугах частот (звичайно, октавних) нормованого діапазону (20...10000 Гц).

Широкий діапазон зміни звукового тиску, а також те, що відчуття людини, яке виникає під впливом шуму, пропорційні логарифму середньоквадратичного тиску,

обумовили доцільність використання для оцінювання шуму логарифмічних відносних одиниць – децибел (дБ).

У децибелах вимірюється рівень звукового тиску - одна з найважливіших характеристик, що використовується під час інструментальних вимірювань шуму, яка, однак не враховує частоту звукових коливань.

Слуховий апарат людини має неоднакову спектральну чутливість. Наприклад, найбільша чутливість відзначається в діапазоні 800...4000 Гц, а найменша - в діапазоні 20...100 Гц. Тому звуки, що мають однакові енергетичні характеристики, але відрізняються за спектром, здатні по-різному впливати на людину.

Математично *рівень звуку* виражається у вигляді співвідношення, дБА:

$$L_A = 20 \cdot \lg \frac{P_A}{P_0}, \quad (1)$$

де  $P_A$ ,  $P_0$  - звуковий тиск відповідно з урахуванням корекції А шумовимірювача, яка відповідає спектральній чутливості вуха людини і на порозі чутливості в октавній смузі частот із середньгеометричною частотою 1000 Гц ( $2 \cdot 10^{-5}$  Па) відповідно.

*Рівень звукового тиску* в фіксованому діапазоні частот, дБ:

$$L_{P_i} = 20 \cdot \lg \frac{P_i}{P_0}, \quad (1)$$

де  $P_i$  - звуковий тиск у фіксованому  $i$ -му діапазоні частот, Па.

Основний прилад для вимірювання шуму - шумовимірювач, датчиком якого є мікрофон. Фактично, шумовимірювач і є мікрофоном, до якого підключений вольтметр, відградуваний в децибелах (рисунок 1).



Рисунок 1 – Вигляд товарного шумовимірювача [2]

Оскільки електричний сигнал на виході з мікрофона пропорційний вихідному звуковому сигналу, приріст рівня звукового тиску, що впливає на мембрану мікрофона, викликає відповідний приріст напруги електричного струму на вході у вольтметр. Це відображається за допомогою індикаторного пристрою, який градується в децибелах.

Для вимірювання рівнів звукового тиску на контрольованих смугах частот, наприклад, 31,5; 63; 125 Гц тощо, а також для вимірювання рівнів звуку (дБА), коригованих за шкалою А з урахуванням особливостей сприйняття людським вухом звуків різних частот, сигнал після

виходу з мікрофона, але до входу у вольтметр пропускають через відповідні електричні фільтри.

Загальна схема шумовимірювача вибирається таким чином, щоб його властивості наближалися до властивостей людського вуха.

Оскільки чутливість вуха залежить як від частоти звуку, так і від його інтенсивності, у шумовимірювачах використовуються кілька комплектів фільтрів, які відповідають різній інтенсивності шуму.

Такі фільтри дозволяють імітувати амплітудно-частотну характеристику (АЧХ) вуха за заданою потужністю звуку. Вони маркуються літерами А, В, С, D, і їхні АЧХ стандартизовані (ДСТУ EN 61094, ДСТУ ІЕС 61094, ДСТУ EN 60645 та ін.).

Фільтр А відповідає АЧХ «усередненого вуха» при слабких рівнях шуму, фільтр В — при сильних рівнях шуму. Фільтр D був розроблений для оцінки авіаційного шуму.

У наявний час для нормування шуму застосовуються тільки фільтри А і С (останній для оцінки пікових рівнів шуму). Останні версії стандартів на шумовимірювачі не встановлюють вимог до фільтрів В та D.

Крім вимог до АЧХ, стандарти на шумовимірювачі встановлюють вимоги до параметрів тимчасового усереднення. Так, у шумовимірювачах застосовуються: експонентне усереднення *F*- «fast» з константою 1/8 с, *S* - «slow» з константою 1 с, *I* – «Impulse».

Інтегруючі шумовимірювачі можуть мати також лінійне усереднення та вимірюють еквівалентні рівні звуку, рівні звукової експозиції, різні види дози шуму та ін.

**Перед початком роботи керівник (викладач) проводить інструктаж з техніки безпеки, в якому представляє наступне.**

### ***1 ВИМОГИ БЕЗПЕКИ ПЕРЕД ПОЧАТКОМ РОБОТИ***

*1.1 Усе лабораторне обладнання (установки, огороження, запобіжні пристрої) повинні бути ретельно оглянуті та перевірені відповідальними за проведення конкретної лабораторної роботи.*

*1.2 При наявності будь яких несправностей, вони повинні бути усунуті до початку проведення лабораторних робіт.*

*1.3 Перевірити справність заземлення на лабораторних установках, які мають живлення від електричної мережі університету.*

*1.4 Перевірити справність пускових пристроїв та підключень приладів та оснащення до електричної мережі живлення.*

*1.7 При проведенні лабораторних робіт, пов'язаних з використанням освітлювальних або нагрівальних пристроїв необхідно перевірити їх на відсутність перегріву; при наявності неприємного запаху виключити пристрій і повідомити керівника роботи (викладача).*

*1.8 Перевірити установку вимірювальних приладів на «0».*

***ПОПЕРЕДЖЕННЯ:*** вмикання лабораторних установок без відома викладача (керівника) ***ЗАБОРОНЕНО.***

### ***2 ВИМОГИ ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ***

*2.1 При включенні приладів необхідно проконтролювати відповідну індикацію.*

#### ***2.2 ЗАБОРОНЕНО:***

*2.2.1 виконувати будь який ремонт включених приладів та оснащення;*

*2.2.2 торкатися руками до деталей, які рухаються.*

2.3 **ЗАБОРОНЕНО** будь яке гальмування (руками чи сторонніми предметами) механізмів, які обертаються.

2.4 **ЗАБОРОНЕНО** студентам поза межами виконуваної лабораторної роботи пересуватись по лабораторії, підходити до працюючих машин, відволікати працюючих розмовами, торкатися руками до електропроводки, рубильників, автоматів тощо.

2.5 У разі раптового припинення подачі електроенергії необхідно працюючу установку відключити від живлення та повідомити про це керівника (викладача).

2.6 Необхідно негайно відключити прилади та оснащення: при перегріві вище нормально припустимого, появі сторонніх звуків, порушенні нормального живлення тощо та повідомити про це керівника (викладача).

2.7 **ЗАБОРОНЕНО** торкатися до розігрітих частин лабораторних установок.

### **3 ВИМОГИ ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ ЗАКІНЧЕННІ ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ**

3.1 Вимкнути джерело живлення лабораторних установок.

3.2 Дати можливість охолонути розігрітим частинам приладів та оснащення.

3.3 Привести у порядок лабораторну установку.

3.4 Прибрати робоче місце.

3.5 Доповісти викладачу про закінчення проведеної роботи на даній установці.

#### **Порядок виконання роботи студентом**

1. Вивчає матеріали, які стосуються параметрів шуму, вимірювання його характеристик та нормативів безпечної роботи персоналу.

2. Отримує від викладача шумомір.

3. Проводить серію вимірів рівня шуму в робочому кабінеті університету.

4. Визначає відповідність отриманих результатів нормам рівня шуму в приміщеннях учбових закладів.

5. Виконує оцінювання похибок вимірювань.

6. Представляє результати у пояснювальній записці.

**Оформлення роботи:** згідно з відповідними методичними вказівками, що діють в УДУНТ [10]. Пояснювальна записка, як правило, містить: титульний аркуш; реферат; зміст; опис розробки; висновки та рекомендації; перелік посилань.

**Обсяг пояснювальної записки** – 3...5 стор.; ф. А4; шрифт 14; 1 інтервал.

**Захист роботи:** здійснюється у ході співбесіди студента з керівником. Наявність заліку враховується при формуванні заключної оцінки з навчальної дисципліни.

## Лабораторна робота № 12 «Вимірювання електричних величин»

**Мета:** ознайомитись з прямими та опосередкованими вимірюваннями електричних величин.

**Суть розробки:** реалізація прямого та опосередкованого вимірювання електричних величин.

**Термін виконання – 2 години.**

**Предметна сфера розробки:** метрологічне забезпечення діяльності підприємства.

### **Загальні положення:**

Електровимірювальні прилади (точніше – «установки», оскільки вони містять в одному корпусі вимірювальний перетворювач та вимірювальний прилад), розрізняються за рядом ознак, основні з яких наступні:

- електричний параметр, що вимірюється (сила струму, його напруга, величина опору, потужність, частота тощо);
- вид струму (постійний чи змінний; постійний та змінний; синусоподібний, імпульсний тощо);
- клас точності (8 класів точності);
- вид реєстрації сигналу (аналоговий, дискретний);
- принцип дії (магнітоелектричні, електромагнітні, електродинамічні, індукційні, термоелектричні, випрямні та інші);
- спосіб відліку та характер шкали: з безпосереднім відліком по шкалі (стрілочні, цифрові); реєструючі; при цьому, шкала може бути рівномірною та нерівномірною, односторонньою, двосторонньою, безнульовою тощо;
- характер застосування та розміщення (стаціонарні, переносні, транспортні; встановлювані вертикально, горизонтально або під кутом до горизонталі).

Для вимірювання електричних величин найчастіше застосовуються наступні прилади: для сили струму – *амперметр* (включається послідовно в електричний ланцюг); для напруги – *вольтметр* (включається паралельно споживачу в електричний ланцюг); для потужності – *ваттметр*; для витрати електроенергії – *електричний лічильник*; для коефіцієнта потужності – *фазометр*; для опору – *омметр*; для частоти – *частотомір*; для ємності – *фарадометр*; для пасивних електричних компонентів провідності – *вимірювач імітансу*, який є *узагальнюючим* вираженням активно-реактивної провідності та зворотною величиною відносно *імпедансу* – активно-реактивного опору (*разом – адмітанс*); для добротності – *куметр*; для параметрів і вигляду сигналів – *осцилограф*.

Вимірювальний механізм (вимірювальний перетворювач) приладів (установок) може бути:

- *магнітоелектричної системи* (рисунок 1, а), який складається з постійного магніту 1, який має підковоподібну форму, котушки індуктивності 2, пов'язаної зі стрілкою 4

та пружини 3, яка повертає систему до початкового стану;

- *електромагнітної системи* (див. рис. 1, б), який складається з котушки індуктивності 1 з рухомим магнітопроводом 2, який зв'язаний з діаманітною стрілкою 3 приладу, та пружини 4, яка повертає систему до початкового стану;

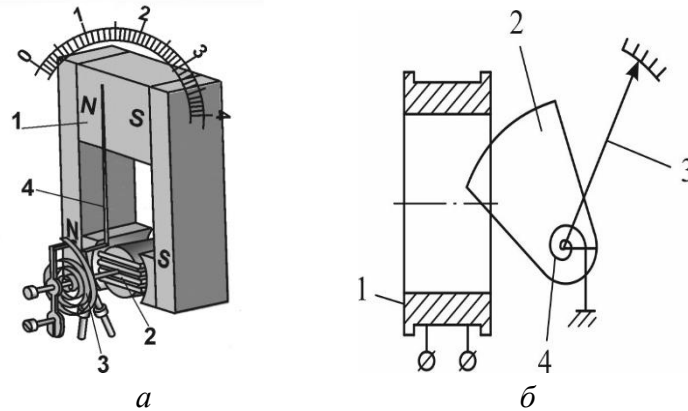


Рисунок 1 – Схеми магнітоелектричної (а) та електромагнітної (б) систем електровимірювального приладу [3] (пояснення позицій – у тексті)

- *електродинамічної системи* (рисунок 2, а), який складається з двох котушок індуктивності (нерухомої 1 і рухомої 2, пружини 3, яка повертає систему у початковий стан та показуючого пристосування зі стрілкою 4);

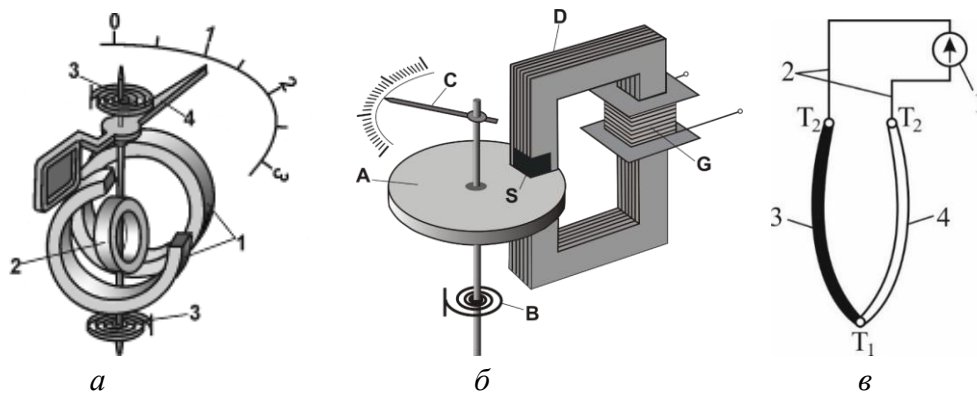


Рисунок 2 - Схеми електродинамічної (а), індукційної (б) та термоелектричної (в) систем електровимірювального приладу [2] (пояснення позицій – у тексті)

- *індукційної системи* (див. рис. 2, б), який складається з двох нерухомих котушок  $D$  і  $G$  індуктивності (взаємно розгорнутих у просторі на кут  $90^\circ$  та рухомої металевої частини  $A$  у вигляді диска або циліндра, що розміщується між котушками, а також пружини  $B$ , яка повертає систему у початковий стан та показуючого пристосування зі стрілкою  $C$ ;

- *термоелектричної системи* (див. рис. 2, в), що являє собою сукупність термопари з двох матеріалів 3 і 4, яка є первинним перетворювачем – датчиком, і з'єднувальними дротами 2 підключається до приладу 1 магнітоелектричної системи (див. рис. 1, а), який виступає в ролі вторинного перетворювача;

- *випрямної системи*, що являють собою сукупність приладу магнітоелектричної

системи (див. рис. 1, а) й одного або декількох напівпровідникових випрямлячів, призначення яких – живлення вимірювального механізму електровимірювальної системи постійним струмом.

При виборі застосовного електровимірювального приладу послідовно визначаються:

- 1) вимірювана фізична величина та вид відповідного приладу;
- 2) вид електричного струму в ланцюзі;
- 3) система приладу;
- 4) межа вимірювань та вид реєстрації сигналу;
- 5) необхідний клас точності приладу;
- 6) ціна поділки шкали (крок візуалізації результату при використанні дисплею);
- 7) характер застосування й установки.

Для розширення межі вимірювання амперметра використовують:

- на змінному струмі – *трансформатор струму*, первинну обмотку якого включають послідовно в електричний ланцюг, а до вторинної під'єднують амперметр;
- на постійному та змінному струмі – *шунт* (манганінова пластина, утаяна між мідними чи латунними контактами-наконечниками), який послідовно включають в електричний ланцюг, а паралельно шунту підключають амперметр.

Для розширення межі вимірювання вольтметра:

- на змінному струмі – використовують *трансформатор напруги*, первинну обмотку якого включають паралельно споживачу  $R$ , а до вторинної під'єднують вольтметр;
- на постійному та змінному струмі – застосовують *додатковий резистор*, який включають послідовно з вольтметром.

У колах *постійного струму* опосередковане вимірювання *активного електричного опору*  $R$  елемента в ланцюзі можна здійснити за допомогою вольтметра та амперметра. Для цього вимірюють напругу на цьому елементі і силу струму, який у ньому протікає. Активний опір визначають за законом Ома:

$$R = \frac{U}{I}. \quad (1)$$

Для безпосереднього вимірювання опорів використовується електровимірювальний прилад – *омметр*, який являє собою сукупність міліамперметра магнітоелектричної системи та спеціальної вимірювальної системи, яка складається із джерела постійної електрорушійної сили  $E$  і регульованого резистора  $R_p$  (рисунок 3).

При незмінній напрузі  $E$  джерела живлення сила струму  $I$  в ланцюзі залежить від вимірюваного опору  $R_X$ , що дозволяє градувати шкалу амперметра в омах з урахуванням співвідношення:

$$I = \frac{E}{R_p + R_A + R_X}, \quad (2)$$

де  $R_p$  – опір регульованого резистора, Ом;  $R_A$  – опір амперметра, Ом.

Чим більше вимірюваний опір  $R_X$ , тим менший струм протікає в ланцюзі, тому омметри оснащують зворотною шкалою.

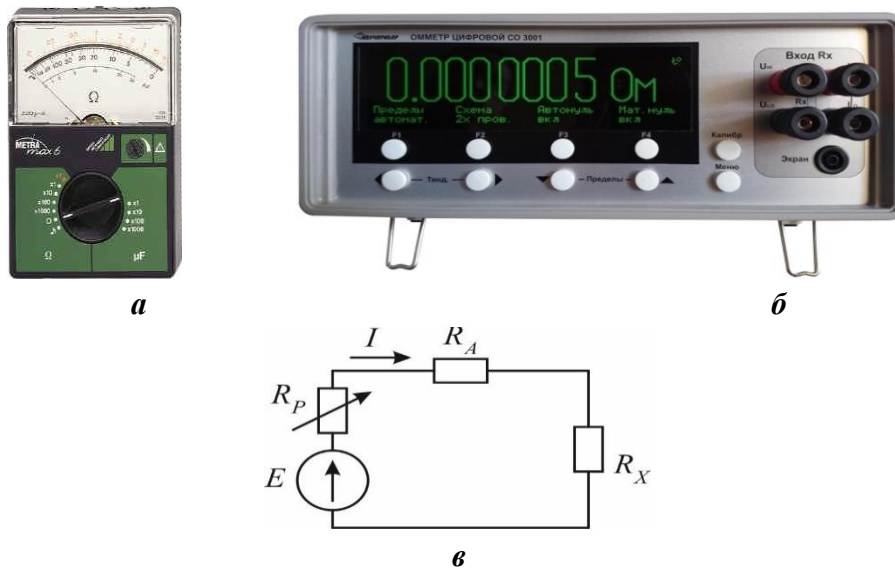


Рисунок 3 – Омметр [2]: *а* – стрілочна модель; *б* – цифрова модель; *в* – електрична схема вимірювання опору за допомогою омметра

Опір елемента ланцюга також можна визначити за допомогою вимірювального моста (рисунок 4).

Це здійснюється на основі вирівнювання потенціалів середніх точок *D* і *B* двох гілок *ADC* та *ABC* наступним чином.

В одну з гілок включають елемент  $R_X$ , опір якого слід виміряти. Інша гілка містить елемент (наприклад, реостат), опір  $R_2$  якого можна регулювати. Значення  $R_1$  та  $R_3$  відомі.

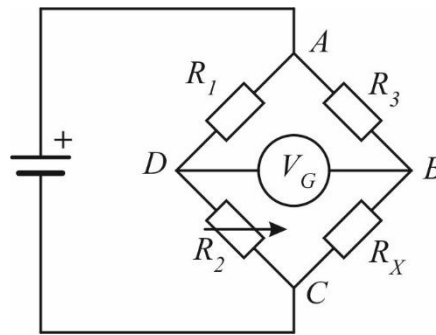


Рисунок 4 – Схема вимірювання опору за допомогою моста [2]

До середин гілок (у точках *D* і *B*) підключають індикатор  $V_G$ : гальванометр (найчастіше), нуль-індикатор, вольтметр або амперметр, – і змінюють  $R_2$  до тих пір, поки індикатор не покаже нуль. Це свідчить про рівновагу моста, або його баланс, при якому

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_X}{R_3}, \text{ відкіля:}$$

$$R_X = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_1}. \quad (3)$$

Поява в електричному колі реактивної енергії зазвичай зумовлена присутністю в ньому, окрім активного опору (резисторів), ще індуктивності  $L$  (внаслідок використання трансформаторів та/або індуктивних фільтрів – дроселів) та/або ємності  $C$  (при використанні конденсаторів).

У колі змінного струму активний опір  $r$  елемента можна визначити за показаннями ватметра та амперметра:

$$r = \frac{W}{I^2}, \quad (4)$$

а повний опір  $Z$  (імпеданс) – аналогічно формулі (1) за показаннями вольтметра та амперметра:

$$Z = \frac{U_{\approx}}{I_{\approx}}. \quad (5)$$

Індуктивний опір  $X_L$  (в омах) як складова імпедансу визначається за формулою:

$$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L, \quad (6)$$

де  $f$  – частота змінного струму.

Ємнісний опір  $X_C$  (в омах) як складова імпедансу визначається за формулою:

$$X_C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C}. \quad (7)$$

При наявності в ланцюзі активного та реактивного опору формула для розрахунку імпедансу отримує вигляд:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}. \quad (8)$$

Як видно з формул (6) та (7), частота  $f$  є суттєвою характеристикою електричного струму. На практиці її вимірювання відбувається в діапазоні до  $10^{11}$  Гц.

На низьких частотах (від 20 до 2500 Гц), особливо, поблизу частот 50 Гц і 400 Гц часто використовуються електромеханічні частотоміри - *логометри*.

Рухому частину магнітоелектричного логометра утворюють дві скріплені під кутом рамки (котушки індуктивності), струми до яких підводяться через безмоментні спіралі. Перебуваючи у полі постійного магніту, рамки прагнуть повернутися в напрямку дії більшого крутного моменту, і рухома частина системи відхиляється доки моменти не зрівноважаться. При цьому, зміна вимірюваної величини порушує рівновагу обертальних моментів, що спричиняє відповідне відхилення котушок разом з покажчиком (наприклад, стрілкою) на кут, який є пропорційним зміні вимірюваної величини (частоти, фази, опору тощо).

Основна похибка електромеханічних аналогових частотомірів становить 1,0...2,5 %. Вони мають відносно вузькі діапазони вимірювання і використовуються зазвичай як щитові прилади.

Аналогові *електронні конденсаторні частотоміри* застосовуються для вимірювання частот в діапазоні від 10 Гц до 1 МГц. Принцип роботи таких частотомірів ґрунтується на почерговому заряд-розряді конденсатора. Заряджання здійснюється від джерела змінної електричної напруги з наступним розрядженням через магнітоелектричний механізм. Цей процес відбувається з частотою, що дорівнює вимірюваній частоті. Струм зміщення (заряд), що, у середньому, протікає крізь магнітоелектричний амперметр, включений у ланцюг, є пропорційним вимірюваній частоті. Основна приведена похибка таких частотомірів лежить в межах 2...3 %.

У лабораторних умовах для вимірювання частоти нерідко використовують *осцилографи* – прилади, що призначені для дослідження (спостереження, запису та вимірювання) амплітудних та часових параметрів електричного сигналу, який відображається на екрані або фотострічці. Сучасні осцилографи дозволяють досліджувати сигнали гігагерцових частот. Для дослідження сигналів більшої частоти можна використовувати електронно-оптичні камери.

Використання кругової розгортки з модуляцією яскравості (рисунок 5, *а*) з визначенням частоти на основі вимірюваного періоду електричного сигналу та аналіз фігур Ліссажу (рисунок 5, *б*) – найпоширеніші способи осцилографічних вимірювань частоти.



Рисунок 5 – Вигляд візуалізованого електричного сигналу змінної частоти на екрані електронного осцилографа [2]: *а* – розгортка сигналу; *б* – фігури Ліссажу при аналізі двох ортогональних сигналів

До сімейства аналогових частотомірів належать також *гетеродинні частотоміри*, принцип дії яких ґрунтується на порівнянні вимірюваної частоти з частотою генератора стабільних електричних коливань, який можна переналагоджувати на потрібну частоту.

При порівнянні частоти генератора з частотою, що вимірюється, кінцевий електричний сигнал, крім початкових частот, буде мати цілий ряд комбінаційних, в тому числі і різницеву частоти.

Коли ця різниця буде близькою до нуля, виникають низькочастотні (нульові) биття, які зручно спостерігати на екрані осцилографа або за допомогою спеціальних електронних пристроїв. Перевагою гетеродинних частотомірів є можливість вимірювання дуже високих частот – до 100 ГГц з відносною похибкою, що не перевищує 0,01...0,001 %.

Резонансні частотоміри мають у своєму складі коливальну систему, яка налагоджується у резонанс з вимірюваною частотою зовнішнього джерела сигналів. Стан резонансу фіксують за максимальними показниками індикатора резонансу. Вимірювану частоту відраховують безпосередньо за шкалою каліброваного елемента налагодження (змінного конденсатора). Вимірювана частота може сягати 200 МГц, а відносна похибка вимірювань зазвичай становить 0,1%...1,0%.

Добрі характеристики також мають *цифрові електронно-лічильні частотоміри* (рисунок 6).



а



б

Рисунок 6 – Вигляд цифрових електронних частотомірів [2]: а – з індикацією на декатронних електронних лампах; б – з цифровою індикацією на дисплеї

Принцип їх роботи ґрунтується на підрахунку числа періодів вимірюваної частоти за деякий, строго визначений інтервал часу, тобто використовується аналого-цифрове перетворення частоти в послідовність імпульсів, кількість яких за одиницю часу є пропорційною до вимірюваної величини і може бути підрахована.

Похибка таких частотомірів, в основному, визначається нестабільністю формування каліброваного інтервалу часу і похибкою квантування. Остання похибка зменшується зі збільшенням вимірюваної частоти. Цифрові частотоміри є найточнішими серед відомих засобів вимірювання частоти електричних сигналів (відносна похибка може не перевищувати  $10^{-7}\%$ ), і їм властиві усі переваги цифрових вимірювальних приладів, наприклад, можливість автоматизувати вимірювальні процедури, через що вони знайшли широке застосування. Діапазон частот, вимірюваних цифровими частотомірами, лежить, зазвичай, в межах від одиниць герц до одиниць гігагерц.

Для вимірювання електричної ємності  $C$  конденсаторів, кабелів тощо застосовують *фарадометри*, що живляться змінним струмом промислової частоти (50 Гц). У таких приладах для безпосереднього оцінювання рівня середнього струму зміщення так, як і у попередньому випадку, використовується електромагнітний, електродинамічний або феродинамічний логометр. Шкали таких фарадометрів градуують в  $мкФ$  та  $нФ$ .

Існують також фарадометри випрямної системи з магнітоелектричним вимірювальним механізмом. Їх покази залежать від напруги живлення, тому перед вимірюванням необхідно проводити коригування фарадометру зі встановленням стрілки приладу на нульову відмітку шкали. Похибка таких вимірювань 1...4%.

Для розширення діапазону вимірювань ємності застосовують мостову схему (рисунок

7) аналогічно тому, як застосовують мостову схему при вимірюванні опору (див. рис. 4).

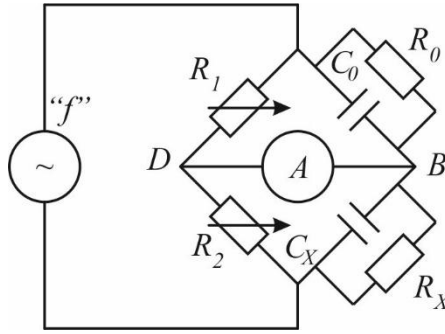


Рисунок 7 – Мостова схема при вимірюванні електричної ємності [2]

Тут зіставляється відношення активних резисторів  $R_2/R_1$  керованої величини з відношенням імпедансів  $Z_X/Z_0$ , де з урахуванням формул (6) та (7):  $Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$ . При балансуванні схеми таким чином, щоб амперметр (гальванометр) показував нуль, і при відомих значеннях  $R_0, R_1, R_2, R_X$  та  $C_0$  розрахувати значення  $C_X$  досить просто.

*Індуктивність*  $L$  – фізична величина, що характеризує здатність провідника накопичувати енергію магнітного поля, коли в ньому протікає електричний струм. Вона залежить від форми контуру (лінія, коло, котушка тощо).

Для *вимірювання індуктивності* аналогічно даним на рис. 4 та 7 найбільш поширеним є використання двох видів мостових схем (рисунок 8), у яких врівноваження імпеданса  $Z_X = \sqrt{R_X^2 + X_L^2}$  з індуктивністю  $L_X$  за формулою (4.46) досягається за допомогою змінного зразкового імпеданса  $Z_0 = \sqrt{R_0^2 + X_{L_0}^2}$  з індуктивністю  $L_0$  і зразковим резистором  $R_0$  (див. рис. 8, а) або компенсується зразковим імпедансом  $Z = \sqrt{R_0^2 + X_{C_0}^2}$  з ємністю  $C_0$  та зразковим резистором  $R_0$  (див. рис. 8, б).

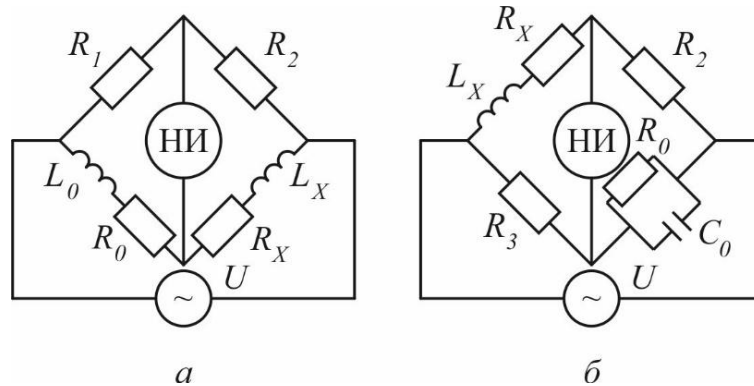


Рисунок 8 – Мостові схеми для вимірювання індуктивності [2]:

а – з використанням зразкової індуктивності; б – з використанням зразкової

ємності (НИ – нуль-індикатор; пояснення інших позицій – у тексті)

Індуктивність (котушка індуктивності) і ємність  $\epsilon$  широко застосовуваними елементами вимірювальних систем, а також технічних засобів перетворення електричної енергії. Вони використовуються як окремо, так і в коливальних контурах. Про якість відповідних систем, що характеризуються резонансними властивостями, судять за характеристикою «добротність».

У загальному випадку *добротність* – це відношення амплітуди коливань системи при резонансі до амплітуди коливань далеко від нього для вимушених коливань, або відношення енергії, запасеної в системі, до втрат енергії за одне вільне коливання.

На практиці найчастіше вимірюють добротність котушок індуктивності, послідовного коливального контуру із зразковим конденсатором, втратами якого можна знехтувати порівняно із втратами котушки індуктивності. Тоді добротність котушки індуктивності практично збігається з добротністю коливального контуру і дорівнює відношенню напруги на зразковій ємності при резонансі до підведеної напруги генератора, включеного послідовно з елементами коливального контуру.

Оскільки для послідовного з'єднання струм однаковий для всіх елементів контуру, добротність реальної котушки індуктивності дорівнює відношенню індуктивного опору  $X_L$  до активного опору  $R$ .

Інакше, через те, що *при резонансі* ємнісний опір  $X_C$  дорівнює індуктивному  $X_L$ , а ємність  $C$  зразкового конденсатора відома, то добротність котушки індуктивності дорівнює відношенню ємнісного опору  $X_C$  до активного опору  $R$ .

Активний опір  $R$  знаходять *при резонансі* ділячи напругу  $U$  на генераторі на його струм  $I$ . При цьому, ємнісний опір потрібно виміряти на резонансній частоті, наприклад, із залученням частотоміра.

*Вимірювання добротності* для елементів електричних ланцюгів здійснюють за допомогою *куметру (Q-метра)*, який використовують для відповідного визначення характеристик котушок індуктивності, ємності, тангенса кута втрат, резонансної частоти контурів, складових імпедансу, а також для дослідження властивостей діелектриків.

Конструктивно куметр (рисунок 9) являє із себе послідовний коливальний контур, утворений котушкою індуктивності, параметри якої вимірюються, та зразковим конденсатором змінної ємності, який забезпечує налаштування контура в резонанс на частоті напруги живлення.



Рисунок 9 – Вигляд промислової моделі куметра [2]

На практиці часто для зручності використання в одному корпусі об'єднують декілька вимірювальних систем (приладів). Це так звані мультиметри, «ампер-вольт-омметри» («АВО-метри»), *RLC*-метри (для вимірювання активного та реактивного опору як складових імпедансу), тестери (які можуть виконувати вказані та інші вимірювання) тощо (рисунок 10).



Рисунок 10 – Приклади товарних моделей мультиметрів з цифровою індикацією [2]: *а* – АВО-метр; *б* – *RLC*-метр

Важливим аспектом виступає якість електричної енергії. Виробничники та споживачі прагнуть до отримання та споживання саме *активної* електричної енергії та мінімізації її *реактивної* складової. Про відповідну характеристику судять за зсувом фаз, зокрема, трифазного електричного струму. Її визначають за допомогою фазометрів (рисунок 11).



Рисунок 11 – Вигляд однофазного (*а*) та трифазного (*б*) фазометра [2]

Різновидом електричних вимірювань є *визначення водневого показника (показника рН)*, який характеризує активність йонів водня в розчинах, харчовій продукції та сировині, об'єктах довкілля, органах людини тощо.

Показник рН вимірюють за допомогою так званих рН-метрів (рисунок 12), дія яких

базується на вимірюванні в електродній системі електрорушійної сили (е.р.с.), яка пропорційна активності іонів водню у розчині. Вимірювальна схема за суттю представляє собою вольтметр, проградуєований безпосередньо в одиницях рН для конкретної електродної системи. Остання складається з основного, зазвичай скляного вимірювального електроду та допоміжного – хлор-срібного електроду.



а



б

Рисунок 12 – Вигляд товарних моделей рН-метрів [2]:  
а – напівстаціонарний; б – скомбінований з мілівольтметром

**Перед початком роботи керівник (викладач) проводить інструктаж з техніки безпеки, в якому представляє наступне.**

**4. Вимоги безпеки перед роботою**

4.1. Перед початком роботи необхідно оглянути робоче місце і привести його в порядок, впевнитись, що на ньому відсутні сторонні предмети.

4.2. Перш ніж починати роботу з електроприладами необхідно уважно вивчити інструкцію по експлуатації даного електроприладу.

4.3. Електроприлади встановлюються тільки на стабільну поверхню в сухому приміщенні на відстані від приладів опалення та металевих комунікацій, які заземлені.

4.4. Перед початком роботи необхідно пересвідчитись у справному стані електроприладів, з'єднувальних шнурів, штепсельних вилок та розеток, наявності заземлення.

4.5. Електроприлади вмикають тільки в електромережу змінного струму напругою 220 В.

4.6. Користуватись несправним устаткуванням або використовувати його не за прямим призначенням **забороняється**.

4.7. При виявленні будь-яких недоліків у стані обладнання необхідно доповісти керівнику структурного підрозділу або відповідальній особі.

**5. Вимоги безпеки під час роботи**

5.1. При роботі з електроприладами треба дотримуватись цієї інструкції та інструкції з їх експлуатації.

5.2. Під час роботи не можна:

- піддавати прилади впливу дощу чи іншої вологи;
- самостійно проводити їх розбирання чи ремонт;

- блокувати вентиляційні отвори;
- кидати електроприлади з висоти;
- встановлювати на електроприлади сторонні предмети;
- вмикати або вимикати електроприлади вологими руками.

5.3. Якщо всередину електроприладу потрапила рідина чи сторонні предмети, його треба негайно вимкнути та віддати на перевірку до спеціаліста з ремонту.

5.4. Якщо при використанні електроприладу з'явилися сторонні звуки, запах диму, з'явилося полум'я – електроприлад негайно від'єднати від електромережі та доповісти керівнику підрозділу або відповідальній особі.

#### 6. Вимоги безпеки після закінчення роботи

6.1. Після закінчення роботи електроприлад необхідно вимкнути згідно інструкції та від'єднати його від електромережі.

6.2. Виймаючи штепсельну вилку з розетки ні в якому разі не можна тягнути за шнур, тільки за вилку.

6.3. Необхідно прибрати своє робоче місце, при необхідності вимити руки з милом.

6.4. Якщо в процесі роботи були помічені недоліки в роботі електрообладнання, необхідно доповісти керівнику підрозділу або відповідальній особі.

### **Порядок виконання роботи студентом**

1. Отримує від викладача необхідне обладнання різних систем, призначене для вимірювання електричних величин: амперметр, вольтметр, мультиметр, магазин опорів, ємність, індуктивність, з'єднувальні провідники, низьковольтне джерело живлення тощо.

2. Визначає необхідний перелік приладів для конкретних вимірювань, схему їх підключення та клас точності у залежності від призначення та правил застосування.

3. Декілька разів проводить пряме та опосередковане вимірювання електричних величин (струм, напруга, опір, ємність, індуктивність), визначає параметри випадкових похибок та представляє отримані дані у пояснювальній записці.

**Оформлення роботи:** згідно з відповідними методичними вказівками, що діють в УДУНТ [10]. Пояснювальна записка, як правило, містить: титульний аркуш; реферат; зміст; опис розробки; висновки та рекомендації; перелік посилань.

**Обсяг пояснювальної записки** – 5...8 стор.; ф. А4; шрифт 14; 1 інтервал.

**Захист роботи:** здійснюється у ході співбесіди студента з керівником. Наявність заліку враховується при формуванні заключної оцінки з навчальної дисципліни.

## Лабораторна робота № 13

### «Вимірювання рівня електромагнітного випромінювання»

**Мета:** опанування прийомами та засобами вимірювання рівня електромагнітного випромінювання.

**Суть розробки:** вивчення рівня природного електромагнітного випромінювання.

**Термін виконання** – 0,5 години.

**Предметна сфера розробки:** метрологічне забезпечення діяльності підприємства, забезпечення безпечних умов життєдіяльності персоналу організації.

#### **Загальні положення:**

Розвиток цивілізації людства нестримно збільшує кількість та вплив зовнішніх факторів на кожну конкретну людину. Значною мірою, це стосується різного роду випромінювання, які на додаток до електромагнітного поля Землі та інших природних випромінювань зумовлені як штучними електромагнітними явищами, так і радіацією.

Електромагнітне випромінювання – це наявність у просторі взаємопов'язаних коливань електричного (E) і магнітного (B) полів, що утворюють загальне електромагнітне поле. Таке поле також утворюється внаслідок нерівномірного руху та взаємодії електричних зарядів різного походження.

Розрізняють вимушені (під впливом зовнішніх джерел) і власні електромагнітні коливання.

У необмеженому просторі або в системах із втратами енергії можливі електромагнітні коливання з неперервним спектром частот. Просторово обмежені системи зазвичай мають дискретний спектр частот, причому кожній частоті відповідає один або кілька незалежних типів коливань (мод).

Загалом випромінювання умовно можна розділити на:

- неіонізуючі (електромагнітні поля);
- іонізуючі (радіація).

Основними характеристиками електромагнітного випромінювання прийнято вважати частоту, довжину хвилі і поляризацію. При цьому, важливу роль при впливі на організми відіграють інтенсивність поля, частота, тривалість дії та їх функціональний стан.

*Довжина хвилі* прямо пов'язана з частотою через швидкість поширення випромінювання, яка у вакуумі дорівнює швидкості світла В інших середовищах ця швидкість є меншою.

Дослідження впливу електромагнітного випромінювання на живі організми дозволило визначити, що в останніх виникають біологічні ефекти трьох типів: *збудження, нагрівання та кооперативні процеси.*

Безпечним вважається, такий рівень випромінювання, вплив якого суттєво менше за той, що викликає помітні зміни у живому організмі. Міжнародними нормами безпеки визначений так званий *питомий коефіцієнт поглинання*, який у перерахунку на щільність потоку випромінювання складає приблизно  $10^{-3} \dots 10^{-4}$  Вт/см<sup>2</sup>.

Від довжини хвилі залежить глибина її проникнення в організм.

Параметри *електромагнітних полів вимірюють магнітометри* – приладами для вимірювання напруженості (А/м) або індукції магнітного поля (Тл) магнітного поля магнітного потоку (Вб), а також для визначення магнітного моменту (А·м<sup>2</sup>), намагніченості (А/м), зокрема, поля Землі та магнітної сприйнятливості гірських порід та інших матеріалів.

Магнітометри (рисунок 1) класифікують за фізичним явищем чи ефектом, на якому ґрунтується їх дія, за областями застосування, за умовами експлуатації, за ступенем інформативності (скалярні, векторні або тензорні), що знаходить відображення в найменуванні приладу: «квантовий магнітометр», «морський буксирований магнітометр», «трикомпонентний індукційний магнітометр» тощо. Найбільш поширеною є класифікація магнітометрів за фізичним явищем, використовуваним у вимірювальних перетворювачах засобу.



а



б



в



г



д

Рисунок 1 – Приклади товарних моделей магнітометрів [2]: а – ферозондовий; б – квантовий ферозондовий; в – портативний універсальний; г – трикомпонентний; д – вимірювач рівня електромагнітного фону

Широке практичне застосування для вимірювання магнітної індукції постійних, змінних та імпульсних полів отримали магнітометри з вимірювальним перетворювачем на основі ефекту Холла, що мають лінійну залежність напруження електричного поля від магнітного поля в широкому діапазоні його значень і чутливістю  $10^{-7} \dots 10^{-6}$  Тл (це так звані,

«тесламетри Холла»). Вони застосовуються для контролю магнітних систем електровимірювальних і електронних приладів; для вимірювання магнітної індукції у зазорах електродвигунів, генераторів, електромагнітних реле; для вимірювання та аналізу полів розсіювання джерел постійних, змінних та імпульсних магнітних полів.

Також використовуються магнітометри, засновані на магніторезистивному, магнітоконцентраційному та магнітодіодному ефектах.

Магніторезистивні тесламетри застосовуються в області сильних полів (понад 1...2 Тл), де залежність електричного опору від магнітної індукції лінійна. В практиці магнітних обсерваторій і метрологічних інститутів, а також для визначення намагніченості земних порід і властивостей магнітних матеріалів застосовуються магнітомеханічні магнітометри, засновані на силовій взаємодії вимірюваного магнітного поля з постійним магнітом (магнітометри кварцові, крутильні, важільні, астатичні та ін.). Створюються також магнітометри на нових фізичних принципах і явищах: волоконно-оптичні, магніострикційні, магнітопружні, на тонких феромагнітних плівках тощо.

**Перед початком роботи керівник (викладач) проводить інструктаж з техніки безпеки, в якому представляє наступне.**

### ***1 ВИМОГИ БЕЗПЕКИ ПЕРЕД ПОЧАТКОМ РОБОТИ***

*1.1 Усе лабораторне обладнання (установки, огороження, запобіжні пристрої) повинні бути ретельно оглянуті та перевірені відповідальними за проведення конкретної лабораторної роботи.*

*1.2 При наявності будь яких несправностей, вони повинні бути усунуті до початку проведення лабораторних робіт.*

*1.3 Перевірити справність заземлення на лабораторних установках, які мають живлення від електричної мережі університету.*

*1.4 Перевірити справність пускових пристроїв та підключень приладів та оснащення до електричної мережі живлення.*

*1.7 При проведенні лабораторних робіт, пов'язаних з використанням освітлювальних або нагрівальних пристроїв необхідно перевірити їх на відсутність перегріву; при наявності неприємного запаху виключити пристрій і повідомити керівника роботи (викладача).*

*1.8 Перевірити установку вимірювальних приладів на «О».*

***ПОПЕРЕДЖЕННЯ:*** вмикання лабораторних установок без відома викладача (керівника) **ЗАБОРОНЕНО.**

### ***2 ВИМОГИ ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ***

*2.1 При включенні приладів необхідно проконтролювати відповідну індикацію.*

#### ***2.2 ЗАБОРОНЕНО:***

*2.2.1 виконувати будь який ремонт включених приладів та оснащення;*

*2.2.2 торкатися руками до деталей, які рухаються.*

*2.3 **ЗАБОРОНЕНО** будь яке гальмування (руками чи сторонніми предметами) механізмів, які обертаються.*

*2.4 **ЗАБОРОНЕНО** студентам поза межами виконуваної лабораторної роботи пересуватись по лабораторії, підходити до працюючих машин, відволікати працюючих розмовами, торкатися руками до електропроводки, рубильників, автоматів тощо.*

*2.5 У разі раптового припинення подачі електроенергії необхідно працюючу установку відключити від живлення та повідомити про це керівника (викладача).*

2.6 Необхідно негайно відключити прилади та оснащення: при перегріві вище нормально припустимого, появи сторонніх звуків, порушенні нормального живлення тощо та повідомити про це керівника (викладача).

2.7 **ЗАБОРОНЕНО** торкатися до розігрітих частин лабораторних установок.

### **3 ВИМОГИ ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ ЗАКІНЧЕННІ ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ**

3.1 Вимкнути джерело живлення лабораторних установок.

3.2 Дати можливість охолонути розігрітим частинам приладів та оснащення.

3.3 Привести у порядок лабораторну установку.

3.4 Прибрати робоче місце.

3.5 Доповісти викладачу про закінчення проведеної роботи на даній установці.

#### **Порядок виконання роботи студентом**

1. Вивчає загальні положення, що викладені вище з акцентом на характеристики випромінювань та їх розмірності.

2. Визначає за даними джерел інформації безпечні для людини рівні випромінювань.

3. Отримує від викладача необхідні засоби щодо вимірювання електромагнітного випромінювання та визначає їх клас точності.

4. Вимірює у робочих та допоміжних приміщеннях рівні електромагнітного випромінювання і порівнює їх з нормованими значеннями.

5. Представляє результати у пояснювальній записці.

**Оформлення роботи:** згідно з відповідними методичними вказівками, що діють в УДУНТ [10]. Пояснювальна записка, як правило, містить: титульний аркуш; реферат; зміст; опис розробки; висновки та рекомендації; перелік посилань.

**Обсяг пояснювальної записки** – 3...5 стор.; ф. А4; шрифт 14; 1 інтервал.

**Захист роботи:** здійснюється у ході співбесіди студента з керівником. Наявність заліку враховується при формуванні заключної оцінки з навчальної дисципліни.

Лабораторна робота № 14

### **«Вимірювання іонізуючого випромінювання»**

**Мета:** опанування прийомів вимірювання іонізуючого випромінювання в побутових приміщеннях.

**Суть розробки:** налаштування та вимірювання дозиметром іонізуючого випромінювання в робочих приміщеннях.

**Термін виконання** – 0,5 години.

**Предметна сфера розробки:** метрологічне забезпечення діяльності підприємства, забезпечення безпечних умов життєдіяльності персоналу організації.

**Загальні положення:**

Загалом випромінювання умовно можна розділити на:

- неіонізуючі (електромагнітні поля);
- іонізуючі (радіація).

Умовність такого розділення пояснюється тим, що іонізуюча радіація, принаймні частково, складається з високочастотного електромагнітного випромінювання.

***Слід розрізняти радіоактивність джерела випромінювання та зовнішній вплив цієї радіоактивності на довкілля, зокрема - на біологічні об'єкти.***

***Радіоактивність*** – це явище перетворення внаслідок радіоактивного розпаду певного нестійкого ізотопу хімічного елемента в інший ізотоп (зазвичай - іншого елемента) шляхом випромінювання гамма-квантів, елементарних частинок або ядерних фрагментів. Ці сильно проникаючі потоки частинок іноді називають *ядерним випромінюванням*.

Ядерне випромінювання може проявлятися по-різному, що фіксується поведінкою його складових у магнітному полі:

- промені першого типу відхиляються так само, як потік позитивно заряджених частинок. Їх назвали « $\alpha$ -променями»;
- промені другого типу відхиляються в магнітному полі так само, як потік негативно заряджених частинок (в протилежну сторону). Їх назвали « $\beta$ -променями»;
- промені третього типу, які не відхиляються магнітним полем, назвали  $\gamma$ -променями.

$\alpha$ -промені зумовлені  $\alpha$ -розпадом – самовільним розпадом атомного ядра хімічного елемента з масовим числом більше 200. В середині таких ядер за рахунок властивості насичення ядерних сил утворюється відособлення  $\alpha$ -частинок, кожна з яких складається з двох протонів і двох нейтронів. Утворена таким чином  $\alpha$ -частинка сильніше відчуває кулонівське відштовхування від інших протонів ядра, ніж окремі протони. Одночасно на  $\alpha$ -частинку менше впливає ядерне міжнуклонне притягання, ніж на решту нуклонів. В результаті, елемент розпадається на інший ядро-продукт (зі зміщенням на 2 клітинки до початку таблиці Менделєєва) і  $\alpha$ -частинку. Дочірнє ядро, що утворилося в результаті  $\alpha$ -розпаду, також може виявитися радіоактивним і через деякий час теж розпадається. Процес радіоактивного розпаду відбуватиметься доти, поки не з'явиться стабільне, тобто нерадіоактивне ядро, яким частіше за все є ядра свинцю або вісмуту.

$\beta$ -промені є потоком електронів, який зумовлений їх слабкою взаємодією з ядром важкого елемента. Після  $\beta$ -розпаду атомний номер елемента змінюється, і він зміщується на одну клітинку в таблиці Менделєєва.

$\gamma$ -промені – це електромагнітні хвилі з довжиною хвилі, меншою за розміри атома. Вони утворюються зазвичай при переході ядра атома із збудженого стану в основний стан. При цьому, кількість нейтронів чи протонів у ядрі не змінюється, а отже ядро залишається

тим самим елементом. Однак випромінювання гамма-променів може супроводжувати й інші ядерні реакції.

Для кожного типу розпаду є характерний час, за який розпадається половина всіх радіоактивних ядер. Цей час називається *періодом напіврозпаду*, який для різних радіоактивних ізотопів може лежати в дуже широких межах – від наносекунд до мільйонів років. Ізотопи з малим періодом напіврозпаду дуже радіоактивні, але швидко зникають. Ізотопи з великим періодом напіврозпаду слабо радіоактивні, але ця радіоактивність зберігається дуже довгий час.

Рівень радіоактивності залежить від кількості нестабільних ізотопів і часу їхнього життя. Наявність радіоактивних речовин у середовищі (ступінь забруднення ними) часто буває дуже малою, що практично не дає можливості застосувати прийоми зважування. Саме тому *мірою радіоактивних речовин* є не вага, а *активність* радіоізотопів.

Активність радіоактивного елемента визначається кількістю розпадів за одиницю часу. Вона характеризує абсолютну швидкість радіоактивного розпаду радіонукліда. Активність радіоактивної речовини пропорційна її кількості й обернено пропорційна періоду напіврозпаду.

У Системі СІ одиницею вимірювання *радіоактивності речовини* (активність нукліда в радіоактивному джерелі) визначено *бекерель (Бк)* – це така *кількість радіоактивної речовини, в якій за секунду відбувається один акт розпаду*. Практично ця величина дуже мала і незручна, тому частіше використовують позасистемну одиницю *кюрі (Ки)* – це кількість радіоактивної речовини, в якій проходить 37 мільярдів актів розпаду за 1 с. Тобто  $1 \text{ Ки} = 37 \cdot 10^9 \text{ Бк}$ .

Відповідним чином, за одиницю *радіоактивності площі* (питому забрудненість площі) у системі СІ прийнято *беккерель на квадратний кілометр (Бк/км<sup>2</sup>)*. За одиницю питомої вагової активності – *беккерель на кілограм (Бк/кг)*; для рідкого і газоподібного середовища – питомою об'ємною активністю є *беккерель на літр (Бк/л)*.

Відповідним чином, при використанні позасистемної одиниці *Ки* застосовують *кюрі на квадратний кілометр (Ки /км<sup>2</sup>)*, *кюрі на кілограм (Ки /кг)* та *кюрі на літр (Ки /л)*.

***Для вимірювання іонізуючих випромінювань застосовують радіометри.***

У *широкому* сенсі «радіометр» – це загальна назва приладів, що призначені для вимірювання енергетичних характеристик деякого випромінювання.

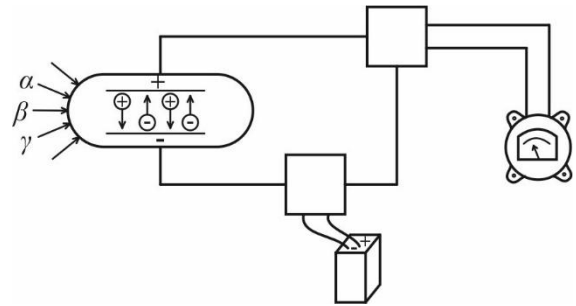
Серед них виділяють:

- оптичний радіометр (*болометр, радіометр Крукса*) – прилад для вимірювання потоку світлової енергії, заснований на тепловій дії світла;
- акустичний радіометр – прилад для вимірювання звукового тиску;
- радіометр радіотехнічний для вимірювання потужності випромінювання радіохвиль, зокрема, приймач радіотелескопа;
- прилади для вимірювання активності радіоактивних об'єктів (характеристик іонізуючого випромінювання: потоку, його щільності, активності та ін.) – це так звані *дозиметри*.

Для вимірювання характеристик радіаційного випромінювання використовують радіометри (рисунок 1, *а*).



а



б

Рисунок 1 – Зовнішній вигляд товарної моделі радіометра (а) та схема реєстрації радіоактивного випромінювання (б) [2]

У вузькому сенсі – радіометри (в тому числі – радіометричні блоки) – це прилади, що вимірюють густину потоку часток. Їх зазвичай застосовують для контролю поверхневих забруднень альфа- та бета-випромінюючими нуклідами (див. нижче). Ці прилади вимірюють число часток («част.»), які перетинають одиничну площу блока детектування за одиницю часу:  $\text{част.}/(\text{см}^2 \cdot \text{хв.})$ , або рідше:  $\text{част.}/(\text{см}^2 \cdot \text{с})$ .

Детектування радіоактивного випромінювання ґрунтується на його дії на речовину, зокрема, її іонізацію. Наприклад, у фотоемульсії під дією радіації відбуваються хімічні реакції, і це є одним із методів детектування.

Інший принцип детектування використовується в лічильниках Гейгера (див. рис.1, б) завдяки виникненню вимушеного електричного розряду в опромінену газі внаслідок зміни його провідності.

За загальною схемою в якості первинного вимірювального перетворювача в дозиметрах застосовуються газорозрядні індикатори випромінювання, засновані на ефекті лавинного пробоя іонізованого простору. У цьому стані в просторі датчика від джерела живлення підтримується напруженість поля, гранична для даної відстані між електродами, але недостатня для виникнення між ними самостійного пробоя.

Під впливом складових  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ - та або іншого іонізуючого випромінювання, які потрапляють до простору датчика, виникає вимушена іонізація (з'являються вільні носії заряду). Це супроводжується лавинним електричним пробоем між катодом і анодом. Оскільки власна ємність датчика мінімальна, виникає повний розряд його електростатичного потенціала. Після цього пробій затухає, а потенціал зменшується до мінімального рівня. На час пробоя датчик переходить у замкнений стан, що формує імпульс, який пропускається конденсатором. Останній теж розряджається, завдяки чому імпульс, який відповідає частинці або кванту радіаційного випромінювання надходить на вхід *атенюатора*. При цьому у датчика настає «мертвий час» вимірювання (час перезарядження просторового конденсатора до нижнього рівня, протягом якого він не здатний реєструвати випромінювання). Атенюатор формує прямокутний імпульс з визначеною амплітудою і передає його на лічильник імпульсів. Останній сприймає ці імпульси протягом певного часу, що дає уявлення про дозу фонового зовнішнього випромінювання.

Час вимірювання задається кварцовим таймером як калібрована постійна величина, безпосередньо пов'язана із сумарним робочим об'ємом датчика (датчиків). Після закінчення часу вимірювання високовольтний генератор живлення датчиків вимикається, і видається сигнал про закінчення вимірювального циклу. Це вимагає додержуватись часу циклу вимірювань 1...5 хвилин (у залежності від кількості датчиків у всенаправленій системі) або наявності джерела випромінювання, яке стаціонарно орієнтовано щодо приладу під час експозиції.

### ***Оінка впливу радіоактивності на доквілля, зокрема - на біологічні об'єкти***

Ядерне (іонізуюче) випромінювання здатне суттєво змінювати фізичні властивості матеріалу при взаємодії з ним. Важкі ядерні частинки, а також потоки швидких електронів з енергією більше 1 Мев, *проходячи через тверде тіло*, вибивають атоми з вузлів кристалічної ґратки, переміщаючи їх у міжвузля. Так утворюються дефекти кристалів типу «вакансія+атом» у міжвузлі. При досить великій дозі опромінення кристалічне тіло може навіть перейти до аморфного стану.

При проходженні крізь речовину  $\alpha$ -частинки швидко втрачають всю енергію, оскільки збуджують всі атоми, що трапляються на їх шляху (1...10 см на повітрі, 0,01...0,2 мм у рідинах). Нейтрони, що не мають електричного заряду, безпосередньо не іонізують атоми. Проте в результаті взаємодії нейтронів з ядрами виникають швидкі заряджені частинки та  $\gamma$ -кванти, що володіють іонізуючими властивостями.

При енергіях менших за 1 Мев потоки електронів зумовлюють збудження та іонізацією атомів і молекул тіла.  $\beta$ -частинки менш ефективно взаємодіють з речовинами (2...3 м на повітрі, 1...10 мм у рідинах).

$\gamma$ -кванти мають найбільшу проникну здатність. При їх проході крізь речовину кванти перетворюються на пару «електрон-позитрон» за умови, що енергія  $\gamma$ -кванту перевищує енергію цих двох частинок (більше 1 Мев). Основним процесом при поглинанні матерією гамма-випромінювання є фотоіонізація атомів і утворення швидких фотоелектронів. Останні втрачають свою енергію при іонізації та збудженні атомів мішені подібно опроміненню швидкими електронами з тією, однак, різницею, що  $\gamma$ -кванти проникають на значно більшу глибину, ніж швидкі електрони з тією ж енергією.

Іонізація хімічних речовин *в біологічній тканині* створює можливість хімічних реакцій, які невластиві для природних біологічних процесів та можуть призвести до порушень у ДНК, мутацій, утворення шкідливих речовин. Вони проявляються у біологічних ефектах трьох типів: збудження, нагрівання та кооперативні процеси.

При цьому важливу роль відіграють такі параметри як інтенсивність радіації, тривалість дії та функціональний стан організму.

При тривалому перебуванні людини в зоні радіоактивного випромінювання відбувається іонізація та збудження клітин її тіла. При цьому, важкі  $\alpha$ -частки, які потенційно володіють найбільшою «руйнівною силою» можуть бути затримані навіть тонким шаром паперу (рисунком 2), «дрібні»  $\beta$ -частки володіють більшою здатністю занурюватись у матеріал і потребують більш ретельного захисту людини; найбільшу властивість проникнення в

біологічний об'єкт має  $\gamma$ -випромінювання. Для захисту від нього іноді потрібні товсті шари свинцю або бетону.

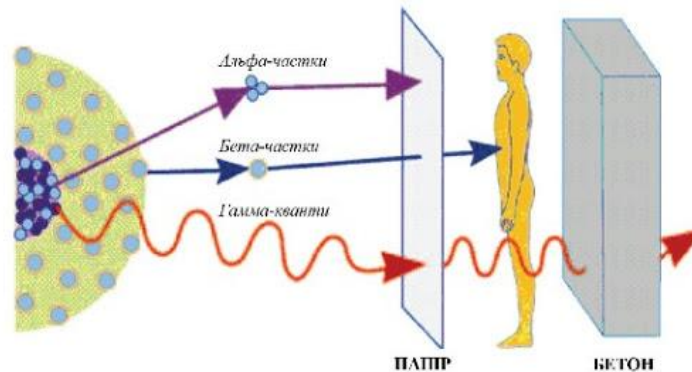


Рисунок 2 – Схема впливу на людину складових радіаційного випромінювання [5]

При оцінці впливу радіації на людину розрізняють *експозиційну, поглинуту й еквівалентну* дози отриманого нею випромінювання.

*Експозиційною* називають дозу випромінювання, що характеризує іонізаційний ефект рентгенівського і гамма-випромінювань у повітрі від радіоактивного джерела і поле, створене ним. У системі СІ експозиційну дозу випромінювання  $\gamma$ -променів вимірюють у *кулонах на кілограм* (Кл/кг). Одній такій одиниці експозиційної дози випромінювання відповідає утворення іонів в кожному кілограмі повітря, що мають сумарний заряд, який дорівнює одному кулону. Також експозиційну дозу вимірюють позасистемною одиницею – *рентген* (R). Один *рентген* – це така доза рентгенівського або гамма-випромінювання, яка в 1 см<sup>3</sup> сухого повітря при температурі 0 °С і тиску 760 мм рт. ст. створює приблизно 2 млрд. пар іонів. Відповідним чином,  
1 Кл/кг = 3876 R.

На практиці застосовують менші часткові одиниці: *мілірентген* (1 R=1000 мR) і *мікрорентген* (1 R=1000000 мкR).

***Слід мати на увазі, що одиниця «рентген» є мірою не енергії, виділеної деяким радіоактивним джерелом, а іонізації речовини при її радіоактивному опроміненні цим джерелом.***

*Потужність експозиційної дози (рівень радіації)* – це інтенсивність випромінювання, що утворюється за одиницю часу і характеризує швидкість накопичення дози у повітрі. Одиницею *потужності експозиційної дози* в системі СІ є *ампер на кілограм* (А/кг), а відповідною позасистемною одиницею є *рентген за годину* (R/год), *рентген за секунду* (R/с), або часткові одиниці: *мілірентген за годину* (мR/год), *мікрорентген за годину* (мкR/год).

***Експозиційна доза є, значною мірою, характеристикою випромінювання і повністю не характеризує кількість енергії, поглинутої об'ємом, який опромінюється.***

Мірою дії іонізуючих випромінювань на речовину є *поглинута доза випромінювання* – це кількість енергії радіоактивних випромінювань, поглинутих одиницею об'єму середовища, яке опромінюється.

Одиниця випромінювання поглинутої дози тканинами організму в системі СІ – *джоуль на кілограм* (Дж/кг), або *грей*. Також застосовують несистемну одиницю – *рад*. Одному *раду*

відповідає кількість енергії  $100 \text{ erg}$ , поглинутої 1 г речовини, що опромінюється, тобто  $1 \text{ рад} = 0,01 \text{ Дж/кг}$ .

Одиницею *потужності поглинутої дози* в системі СІ є *грей за секунду* ( $\text{Гр/с}$ ), або *джоуль на кілограм за секунду* ( $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{с})$ ), а відповідною позасистемною – *рад за секунду* ( $\text{рад/с}$ ); співвідношення між ними:  $1 \text{ Гр/с} = 1 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{с})$ ;  $1 \text{ Гр/с} = 100 \text{ рад}$ ;  $1 \text{ рад} = 0,01 \text{ Гр/с}$ .

Поглинута доза визначає вплив іонізуючих випромінювань на біологічні об'єкти, у яких різний атомний склад і щільність і є мірою відповідної вражаючої дії радіоактивних випромінювань. Причому, чим більша поглинута доза, тим більший радіаційний ефект. Її біологічне ураження залежить від інтенсивності випромінювання, часу його дії, схильності об'єкту до накопичення дози та засобів захисту. Одиницею біологічної дії опромінення в системі СІ є *зіверт* ( $\text{Зв}$ ). Один зіверт дорівнює поглинутій дозі в  $1 \text{ Дж/кг}$  (для рентгенівського, гамма- та бета-випромінювань).

Але *поглинута доза* не враховує те, що вплив на організми однакової дози різних випромінювань неоднаковий. Наприклад,  $\alpha$ -випромінювання у 20 разів, а  $\beta$ -випромінювання у 10 разів небезпечніше для людини від  $\gamma$ -випромінювання. Це пов'язано з неоднаковою питомою густиною іонізації, викликані різними видами випромінювань.

Через це введена категорія *еквівалентна доза Н*, яка характеризує різний біологічний ефект різних видів іонізуючого випромінювання під час опромінювання організму людей та/або тварин однаковими дозами. Одиницею еквівалентної дози в системі СІ також є  $\text{Зв}$ .

Так, кількість іонів, які утворюються під дією випромінювання на одиниці шляху в тканинах, тобто густина іонізації  $\alpha$ -частинками у сотні разів вища, від  $\gamma$ -променів. Тому введено поняття «*відносна біологічна ефективність*», яка показує співвідношення поглинутих доз різних видів випромінювання, що викликають однаковий біологічний ефект. Тобто, щоб урахувати нерівномірність ураження від різних видів випромінювань уведений «*коефіцієнт якості*», на який необхідно помножити величину поглинутої дози від певного виду випромінювання, щоб одержати еквівалентну дозу.

Якщо умовно прийняти біологічну ефективність  $\gamma$ - і  $\beta$ -променів за одиницю, то для  $\alpha$ -частинок коефіцієнт якості буде дорівнювати десяти, а для повільних і швидких нейтронів відповідно п'яти і двадцяти.

Для урахування біологічної ефективності випромінювань уведена позасистемна одиниця поглинутої дози - біологічний еквівалент рентгена – *бер*. Один бер – це доза будь-якого виду випромінювання, яка створює в організмі такий же біологічний ефект, як рентгенівське або  $\gamma$ -випромінювання. Співвідношення між одиницею еквівалентної дози в системі СІ і цією позасистемною одиницею:  $1 \text{ Зв} = 100 \text{ бер}$ .

Вираження дози в *берах* проводиться тоді, коли необхідно оцінити загальний біологічний ефект, незалежно від типу діючих випромінювань.

Одиницею *потужності еквівалентної дози* в системі СІ є *зіверт за секунду* ( $\text{Зв/с}$ ), а відповідною позасистемною одиницею є *бер за секунду* ( $\text{бер/с}$ ); співвідношення між ними:  $1 \text{ Зв/с} = 100 \text{ бер/с}$ .

В радіаційній безпеці *еквівалентна Н* та *ефективна* дози на відміну від поглинутої дози (*див. вище*) не є такими, що вимірюються на практиці та нормуються. Для їх оцінки

уведені так звані *операційні величини*, в одиницях вимірювання яких калібрують обладнання радіаційного контролю.

У наявний час стандартизовані та використовуються наступні операційні величини:

- ембінтний (іноді – «амбінтний» від англ. “ambient” – «оточуючий») еквівалент дози,  $H^*(10)$  - еквівалент дози в точці поля випромінювання, що створюється відповідно розширеним і вирівняним полем випромінювання в сфері з м'якої біологічної тканини на глибині  $d=10$  мм по радіус-вектору, який має протилежний до поля напрямок.

- спрямований еквівалент дози,  $H'(d, \Omega)$  - величина еквівалентної дози в точці поля випромінювання, що створюється відповідним розтягуванням поля всередині сфери м'якої біологічної тканини на глибині  $d$  в заданому напрямку  $\Omega$  по радіусу;

- індивідуальний еквівалент дози,  $H_p(d)$  - еквівалент дози в сфері м'якої біологічної тканини на відповідній глибині  $d$  у певній точці тіла людини. Точкою на тілі людини зазвичай вибирають місце, де носить індивідуальний дозиметр.

Одиницею вимірювання цих величин також є зіверт (Зв).

Перші два параметри застосовуються при моніторингу стану оточуючого середовища, а третій - при індивідуальній дозиметрії (наприклад, з використанням персональних дозиметрів – *див. нижче*).

За допомогою вказаних операційних величин можна оцінити значення отриманої ефективної дози. Якщо рівень операційної величини менше за визначені межі, то ніякий перерахунок є непотрібним.

**Обладнання, яке використовують для вимірювання** експозиційної дози за напрямком фотонного випромінювання, поглинутої дози та еквівалента дози фотонного або нейтронного випромінювання, а також вимірювання потужності вказаних параметрів величин називають *дозиметрами*, а само вимірювання – *дозиметрією*.

Дозиметри, що виготовлялися раніш, могли бути відкалібровані в одиницях максимальної еквівалентної дози ( $H_{\max}$ ), показника еквівалентної дози (ПЕД), або польової еквівалентної дози; крім того використовувалася величина експозиційної дози ( $X$ ).

Наприклад, комплект індивідуальних дозиметрів ДП-24 (рисунок 3) містить 50 індивідуальних (кишенькових) прямопоказуючих дозиметрів ДКП-50А .

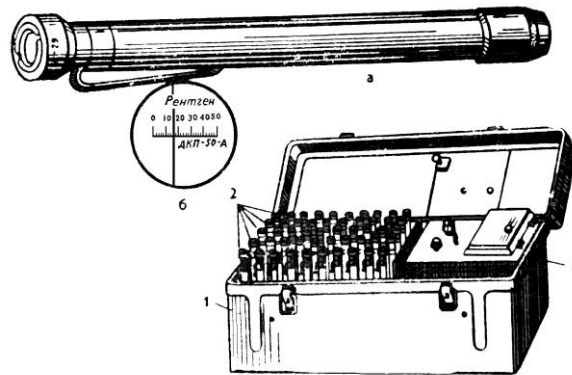


Рисунок 3 – Зовнішній вигляд комплекту індивідуальних дозиметрів ДП-24: а -

індивідуальний дозиметр ДКП-50А; б – станція (зарядний пристрій) індивідуальних дозиметрів [2]

Такий комплект призначений для вимірювання накопичених (сумарних) індивідуальних доз гамма-випромінювання в діапазоні від 2 Р до 50 Р за шкалою, що вбудована в дозиметр і проградуєвана в рентгенах. Похибка вимірів не перевищує  $\pm 10\%$  від вимірюваної дози.

Оскільки дозиметр працює «на розряд», можливий і саморозряд вимірювального пристрою, що не перевищує 2-х поділок за добу. Заряджання дозиметра ДКП-50А здійснюється від зарядного пристрою станції ЗД-5, що забезпечує безперервну роботу перетворювача протягом 30 годин. Вага комплекту 5,6 кг, вага одного дозиметра 40 г.

В аналогічному комплекті типу ІД-1 – доза опромінювання вимірюється в діапазоні від 20 рад до 500 рад.

Діапазон вимірювань побутових дозиметрів, як правило, залежить від характеру датчиків (вимірювальних перетворювачів), які використовуються в приладі. Наближення інтенсивності опромінювання до максимуму порогових значень може супроводжуватись появою тліючого (безперервного) пробою в порожнині перетворювача, що супроводжується спотворенням показів вимірювального приладу.

Побутові прилади зазвичай мають світлову та/або звукову сигналізацію і дисплей для фіксації результатів вимірювань. Розмір і вид моделі (рисунок 4) варіюються від наручного браслета до «кишенькового» виконання. Час безперервної роботи від однієї батареї – від декількох годин до декількох місяців.



а



б



в



г

Рисунок 4 – Приклади сучасних товарних моделей індивідуальних дозиметрів [2]

Зазвичай побутові дозиметри не дозволяють оцінити дозу, отриману від нейтронних джерел випромінювань. Оцінка фотонного ( $\gamma$ -),  $\alpha$ - та  $\beta$ -випромінювання залежить від наявності додаткових фільтрів і особливостей перетворювача (датчика), що використовується. Це, певною мірою, зумовлює конструктивне виконання дозиметрів.

**Перед початком роботи керівник (викладач) проводить інструктаж з техніки безпеки, в якому представляє наступне.**

### **1 ВИМОГИ БЕЗПЕКИ ПЕРЕД ПОЧАТКОМ РОБОТИ**

1.1 Усе лабораторне обладнання (установки, огороження, запобіжні пристрої) повинні бути ретельно оглянуті та перевірені відповідальними за проведення конкретної лабораторної роботи.

1.2 При наявності будь яких несправностей, вони повинні бути усунуті до початку проведення лабораторних робіт.

1.3 Перевірити справність заземлення на лабораторних установках, які мають живлення від електричної мережі університету.

1.4 Перевірити справність пускових пристроїв та підключень приладів та оснащення до електричної мережі живлення.

1.7 При проведенні лабораторних робіт, пов'язаних з використанням освітлювальних або нагрівальних пристроїв необхідно перевірити їх на відсутність перегріву; при наявності неприємного запаху вимкнути пристрій і повідомити керівника роботи (викладача).

1.8 Перевірити установку вимірювальних приладів на «О».

**ПОПЕРЕДЖЕННЯ:** вмикання лабораторних установок без відома викладача (керівника) **ЗАБОРОНЕНО**.

### **2 ВИМОГИ ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ**

2.1 При включенні приладів необхідно проконтролювати відповідну індикацію.

2.2 **ЗАБОРОНЕНО:**

2.2.1 виконувати будь який ремонт включених приладів та оснащення;

2.2.2 торкатися руками до деталей, які рухаються.

2.3 **ЗАБОРОНЕНО** будь яке гальмування (руками чи сторонніми предметами) механізмів, які обертаються.

2.4 **ЗАБОРОНЕНО** студентам поза межами виконуваної лабораторної роботи пересуватись по лабораторії, підходити до працюючих машин, відволікати працюючих розмовами, торкатися руками до електропроводки, рубильників, автоматів тощо.

2.5 У разі раптового припинення подачі електроенергії необхідно працюючу установку відключити від живлення та повідомити про це керівника (викладача).

2.6 Необхідно негайно відключити прилади та оснащення: при перегріві вище нормального припустимого, появі сторонніх звуків, порушенні нормального живлення тощо та повідомити про це керівника (викладача).

2.7 **ЗАБОРОНЕНО** торкатися до розігрітих частин лабораторних установок.

### **3 ВИМОГИ ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ ЗАКІНЧЕННІ ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ**

3.1 Вимкнути джерело живлення лабораторних установок.

3.2 Дати можливість охолонути розігрітим частинам приладів та оснащення.

3.3 Привести у порядок лабораторну установку.

3.4 Прибрати робоче місце.

3.5 Доповісти викладачу про закінчення проведеної роботи на даній установці.

### **Порядок виконання роботи студентом**

1. Опановує матеріали, представлені вище.
2. Отримує від викладача дозиметр з його технічним описом та готує дозиметр до роботи, попередньо ознайомившись з органами управління та індикації.
3. Включає дозиметр (прилад готовий до роботи через певний час після включення).
4. Виконує вимірювання радіаційного фону в декількох корпусах університету, обравши як місця вимірювань: один кабінет і один з коридорів.  
*Довідка:* Природний фон: іонізуюче випромінювання, що складається з космічного і випромінювання розподілених природних радіоактивних речовин, - створює природну потужність експозиційної дози  $N \approx 4...20$  мкР/год. Оскільки ця величина постійно змінюється в часі, при його вимірюванні визначають середнє значення, проводячи вимірювання фону через кожні 10 секунд протягом, наприклад, 1 хвилини.
5. Представляє результати за формою таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати вимірювань природного радіаційного фону

№ п/п	Місце вимірювань	Потужність експозиційної дози (мкР/год) через час, с						Середнє значення	Норма
		10	20	30	40	50	60		
1									
2									
...									

6. Обчислює експозиційну дозу, що може бути отримана оператором при роботі 36 годин на тиждень.

7. Представляє результати у пояснювальній записці.

**Оформлення роботи:** згідно з відповідними методичними вказівками, що діють в УДУНТ [10]. Пояснювальна записка, як правило, містить: титульний аркуш; реферат; зміст; опис розробки; висновки та рекомендації; перелік посилань.

**Обсяг пояснювальної записки** – 5...8 стор.; ф. А4; шрифт 14; 1 інтервал.

**Захист роботи:** здійснюється у ході співбесіди студента з керівником. Наявність заліку враховується при формуванні заключної оцінки з навчальної дисципліни.

## 2.3 Методичні вказівки до індивідуальних завдань

### Індивідуальне завдання №1

#### «Випробування ЗВТ на основі методу контрольного листа»

**Мета:** набуття студентами умінь та навиків обробки результатів вимірювань фізичних величин.

**Суть розробки:** співставлення результатів вимірювань фізичних величин з метрологічними характеристиками вимірювального приладу для визначення відповідності встановленим вимогам.

**Умови виконання** – самостійна робота у позааудиторний час.

**Предметна сфера розробки:** метрологічне забезпечення діяльності підприємства.

#### **Загальні положення**

Метод контрольного листка застосовується, коли під час контролю визначаються числові значення показника  $X$ , який характеризує відповідність встановленим нормам. Як правило ці значення (наприклад, зведена похибка) для кожного ЗВТ будуть різними і матимуть випадковий характер завдяки випадковим негативним факторам, що впливають на характеристики похибки.

Інформація на основі якої приймається рішення про необхідність корекції ходу процесу – це величина та кількість відхилень показника  $X$  від заданого значення  $X_0$ .

Таку інформацію одержують за допомогою контрольного листка. Фактично він являє собою таблицю розподілу частот випадкової величини  $X$ , яку формують під час контролю метрологічних характеристик ЗВТ.

Нехай відомо (наприклад, з попередніх результатів контролю), що величина  $X$  змінюється від  $X_H$  до  $X_B$  ( $X_H \leq X_0 \leq X_B$ ). Діапазон зміни  $X_B \dots X_H$  розбивають на рівні інтервали (класи). Кількість інтервалів  $k$  вибирають в межах  $k = 8 \dots 20$  в залежності від кількості результатів вимірювань  $N$ , що контролюються (чим менше  $N$ , тим менше інтервалів).

Застосування методу можна вважати коректним при  $N \geq 30$ . Межі інтервалів зазвичай задають з точністю до половини наступного розряду після останньої значущої цифри.

Визначені нижні  $X_{Hi}$ , верхні  $X_{Bi}$  межі інтервалів та їх центральні значення  $X_{0i}$ , фіксуються.

В процесі виконання контрольних випробувань (для заданої вибірки чи протягом зміни) їх результати заносяться до таблиці 1 шляхом позначення номеру інтервалу, в який потрапляє контрольована величина  $X$  (колонка «Підрахунок частот»). Після цього визначається кількість  $n_i$  ( $N = \sum_{i=1}^k n_i$  в  $i$ -му інтервалі (колонка «Частоти» в табл. 1).

За даними контрольного листа можна визначити статистичні характеристики випадкової величини  $X$ , а саме: побудувати гістограму, полігон розподілу, визначити міри положення та міри розкиду.

Таблиця 1 – Контрольний лист

Номер інтервалу	Інтервал $X_H - X_B$	Центральне значення $X_0$	Підрахунок частот	Частоти $n_i$
1	$X_{H1} - X_{B1}$	$X_{01}$	I	1
2	$X_{H2} - X_{B2}$	$X_{02}$	III	3
3	$X_{H3} - X_{B3}$	$X_{03}$	IIII	4
4	$X_{H4} - X_{B4}$	$X_{04}$	IIIII	5
5	$X_{H5} - X_{B5}$	$X_{05}$	IIIIII	8
6	$X_{H6} - X_{B6}$	$X_{06}$	IIIIIIIIII	13
7	$X_{H7} - X_{B7}$	$X_{07}$	IIIIIIII	9
8	$X_{H8} - X_{B8}$	$X_{08}$	IIIII	5
9	$X_{H9} - X_{B9}$	$X_{09}$	II	2
Всього:				50

Гістограма – це стовпчикова діаграма частот (рисунок 1). При її побудові по осі абсцис відкладають значення випадкової величини  $X$ , а по осі ординат – нормовану відносну частоту  $P_H$ , яка визначається для  $i$ -го інтервалу як:

$$P_{Hi} = \frac{n_i}{N \cdot X_{Bi} - X_{Hi}}. \quad (1)$$

Як правило величини інтервалів однакові:  $\Delta X = X_{Bi} - X_{Hi}$  при будь-яких  $i$ .

Тоді:

$$P_{Hi} = \frac{n_i}{N \Delta X}. \quad (2)$$

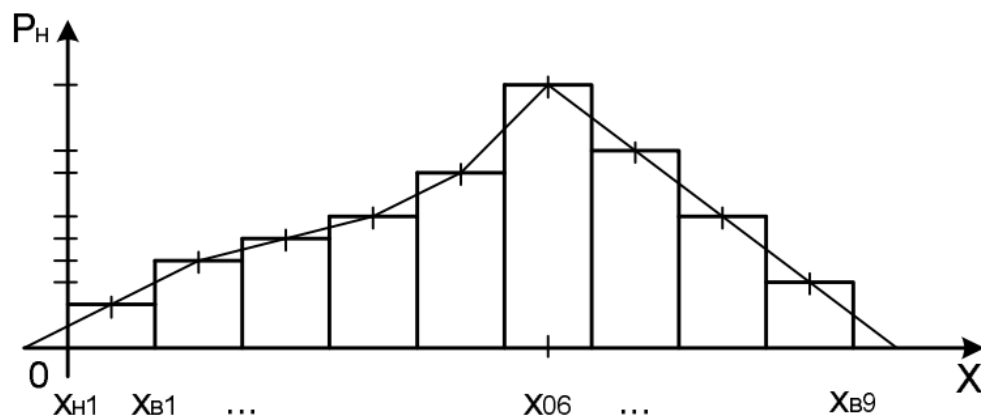


Рисунок 1 – Гістограма та полігон частот

Нормування виконується для того, щоб сумарна площа усіх стовпчиків гістограми дорівнювала одиниці. Тоді, побудувавши на її основі полігону розподілу, можна одержати оцінку закону розподілу ймовірностей випадкової величини  $X$ .

Полігон розподілу – це ламана лінія, що з'єднує точки з координатами  $(x_{0i}, P_{Hi})$ , як показано на рис. 1.

Міри положення – це середнє значення, медіана та мода.

Середнє значення обчислюється як:

$$X = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^k X_{0i} n_i, \quad (3)$$

де  $k$  – кількість інтервалів.

Медіана, або середина величини визначається як:

$$X_{me} = \frac{X_B - X_H}{2} + X_H. \quad (4)$$

Мода  $X_{mo}$  – значення, яке найчастіше зустрічається серед усіх даних. При визначенні за контрольним листком – це  $X_{0j}$  – при максимальному  $n_j$  (наприклад в таблиці 1 – це  $X_{06}$  при  $n_6=13$ ).

Міри розкиду – це дисперсія, середньоквадратичне відхилення (стандартне відхилення), розмах, коефіцієнт варіації.

Дисперсія визначається як:

$$D = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^k X_{0i}^2 n_i - X^2. \quad (5)$$

Стандартне відхилення:

$$\sigma = \pm \sqrt{D}. \quad (6)$$

Розмах визначається як:

$$R = X_B - X_H. \quad (7)$$

Коефіцієнт варіації:

$$K_V = \frac{\sigma}{X}. \quad (8)$$

### Порядок виконання роботи студентом

1. Опановує матеріали, представлені вище.
2. Студент отримує від викладача варіант розрахункового завдання.
3. Приймавши за результати контролю відносних похибок засобів вимірювання дані, що представлені в таблиці 2 заповнює контрольний лист.

Таблиця 2 - Результати вимірювань величини  $X$  та клас точності ЗВТ

Вар.	Клас точності	Дані вхідної вимірюваної величини $X$								
1	1,0	1,68	1,77	1,74	1,60	1,52	1,76	1,61	1,68	1,92
2	2,5	2,29	2,50	2,37	2,47	2,45	2,48	2,36	2,34	2,39
3	1,5	3,86	3,88	3,84	3,91	3,98	3,92	3,92	3,78	3,83
4	4,0	4,81	4,71	4,69	4,87	4,69	4,74	4,70	4,66	4,79
5	1,5	5,72	5,65	5,70	5,55	5,56	5,66	5,56	5,69	5,55
6	1,0	6,60	6,69	6,79	6,78	6,65	6,63	6,72	6,71	6,71

7	2,5	7,79	7,83	7,68	7,81	7,73	7,71	7,74	7,66	7,81
8	4,0	8,82	8,74	8,69	8,78	8,81	8,84	8,74	8,88	8,82
9	1,0	9,02	9,19	9,26	9,24	9,14	9,24	9,18	9,15	9,10
10	1,5	10,73	10,81	10,57	10,60	10,59	10,74	10,58	10,59	10,64
11	2,5	11,77	11,81	11,89	11,78	11,71	11,79	11,90	11,91	11,81
12	4,0	12,76	12,97	12,91	12,80	12,87	12,80	12,77	12,89	12,98
13	1,5	13,12	13,18	13,17	13,13	13,14	13,17	13,15	13,16	13,15
14	1,0	14,92	14,82	14,88	14,81	14,90	14,90	14,96	14,93	14,87
15	2,5	15,44	15,49	15,39	15,36	15,30	15,35	15,40	15,44	15,47

4. Будує гістограму та полігон розподілу.
5. За даними контрольного листа знаходить міри положення та розкиду і робить відповідні висновки про необхідність коригувальних дій.
6. Оформлює результати у пояснювальній записці.

**Оформлення роботи:** згідно з відповідними методичними вказівками, що діють в УДУНТ [10]. Пояснювальна записка має містити: титульний аркуш; реферат; короткий опис розробки; висновки та рекомендації; перелік посилань.

**Обсяг пояснювальної записки** – 12...15 стор.; ф. А4; шрифт 14 пп.; 1 інтервал.

**Захист роботи** здійснюється у ході співбесіди студента з керівником. Наявність заліку враховується при формуванні заключної оцінки з навчальної дисципліни.

## Індивідуальне завдання №2

### «Вибір і характеристика застосовних засобів вимірювання»

**Мета:** набуття студентами умінь та навиків щодо адекватного вибору застосовних засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) для визначення рівня певних фізичних величин.

**Суть розробки:** вибір застосовних ЗВТ для визначення рівня певних фізичних величин.

**Умови виконання** – самостійна робота в позааудиторний час.

**Предметна сфера розробки:** метрологічне забезпечення діяльності підприємства (переважно, за місцем роботи студента) в рамках системи метрологічного забезпечення єдності вимірювань в Україні.

## Порядок виконання роботи

1. Студент отримує від викладача завдання у вигляді найменування фізичної величини для подальшої роботи.
2. Студент визначає, до якого виду вимірювань належить задана фізична величина згідно з довідковим переліком (таблиця 1).
3. Студент обирає найбільш характерні ЗВТ для визначеного виду вимірювань рівня вказаної фізичної величини, надає їх стислий опис (загальну характеристику класифікацію, принцип дії, діапазон вимірювань тощо).
4. Студент представляє одержані результати у пояснювальній записці.

**Оформлення роботи:** згідно з відповідними методичними вказівками, що діють в УДУНТ [10]. Пояснювальна записка має містити: титульний аркуш; реферат; короткий опис розробки; висновки та рекомендації; перелік посилань.

**Обсяг пояснювальної записки** – 10...15 стор.; ф. А4; шрифт 14 пп.; 1 інтервал.

**Захист роботи** здійснюється у ході співбесіди студента з керівником та враховується при формуванні заключної оцінки.

Таблиця 1 – Види вимірювань і найбільш характерні засоби вимірювань

<b>Види вимірювань</b>	<b>Характерні ЗВТ</b>
Вимірювання геометричних величин	Глибиноміри, міри кутів, головки оптичні, нівеліри, інструмент вимірювальний, довгоміри, товщиноміри, індикатори, калібри, шаблони, кільця настановні, лінійки, міри довжини, теодоліти, мікроскопи, нутроміри, рулетки, сита, штангенциркулі, метроштоки, мікрокатори, люфтомери, профілометри, засоби вимірювання шорсткості, пластини, ростоміри, штангензубоміри, штангенрейсмас, косинці і т.д.
Вимірювання механічних величин	Ваги, гирі, дозатори, мірники, автоцистерни, динамометри, преси, прилади твердості, секундоміри механічні, тахометри, спідометри, машини випробувальні розривні, центрифуги і т.д.
Вимірювання параметрів потоку, витрати, рівня, об'єму речовин	Автоцистерни, водолічильники, дозатори, колонки паливозаправочні, мірники, міри місткості, витратоміри, резервуари, теплолічильники, рівнеміри і т.д.
Вимірювання тиску і вакууму	Вакуумметри, манометри, сфигмоманометри (тонометри), тягонапороміри, калібратори тиску і т.д.
Вимірювання фізико-хімічного складу і властивостей речовин	Аналізатори, газоаналізатори, імітатори, іономіри, кондуктометри, рН-метри, хроматографи і т.д.
Теплофізичні і температурні вимірювання	Термометри, термостати, шафи сушильні, стерилізатори сухоповітряні, печі муфельні, потенціометри автоматичні, теплолічильники, калориметри, логометри, теплорахувальники, теплоенергоконтролери і т.д.

Закінчення табл. 1

Види вимірювань	Характерні ЗВТ
Вимірювання часу і частоти	Вимірювачі тимчасових інтервалів, компаратори, секундоміри, частотоміри, міри частоти прецизійні і т.д.
Вимірювання електротехнічних і магнітних величин	Амперметри, вольтметри, ватметри, мультиметри, подільники напруги, перетворювачі потужності, кліщі струмовимірювальні, магазини опорів, омметри, калібратори струму та напруги, лічильники електричні, мости пост. і змін. струму, потенціометри пост. струму, трансформатори струму та напруги, фазометри, шунти, компаратори, елементи нормальні, прилади показників якості електричної енергії і т.д.
Радіотехнічні і радіоелектронні вимірювання	Аналізатори спектра, вольтметри діодні, вольтметри електронні, генератори, осцилографи, частотоміри, вимірювачі потужності, телестети, рефлектометри і т.д.
Оптичні і оптико-фізичні вимірювання	Рефрактометри, люксметри, спектрофотометри, колориметри фотоелектричні (КФК-2), фотометри фотоелектричні (КФК-3), димоміри і т.д.
Вимірювання характеристик іонізуючих випромінювань і ядерних констант	Альфа-, бета-, гамма-джерела, блоки детектування, спектрометри, дозиметри, радіометри, рентгенометри і т.д.
Засоби вимірювання медичного призначення	Апарати УЗ-терапії, апарати НЧ-терапії, апарати електросну, апарати УВЧ, апарати лазерні з фотометрами, реографи, електрокардіографи, електроенцефалографи і т.д.

## 2.4 Методичні вказівки до курсової роботи

### «Вибір та застосування засобу вимірювальної техніки»

**Мета:** набуття студентами умінь та навиків вибору та роботи з приладами для вимірювань різних видів величин.

**Суть розробки:** вибір необхідних засобів вимірювальної техніки для конкретного виду продукції та розробка методики вимірювань.

**Предметна сфера розробки:** метрологічна служба на підприємстві певного виду економічної діяльності.

#### **Порядок виконання роботи студентом**

1. Отримує від викладача завдання у вигляді конкретного виду продукції та основні дані про підприємство (цех) з її випуску та конкретизує предметну сферу за темою курсової роботи.

2. Користуючись даними про технологічний процес та продукцію підприємства, обирає місця контролю та відповідні параметри продукції та/або процесу.

3. Пропонує доцільні засоби вимірювальної техніки з урахуванням необхідного діапазону та точності вимірювань.

4. Розробляє методику застосування обраного засобу вимірювань, яка має містити наступні складові: назва методики; предметна сфера та мета вимірювань; місця вимірювань та фізичні параметри, що вимірюються; необхідна точність вимірювань; обрані прилади для вимірювань, їх метрологічні характеристики; черговість дій при здійсненні вимірювань (підготовка, оснащення, проведення вимірювань, дії із завершення роботи, реєстрація результатів, заходи безпеки тощо).

5. Оформлює результати у пояснювальній записці. Пояснювальна записка складається з короткого опису підприємства (цеху), технологічного процесу виробництва, процесу технічного контролю, розробленої методики вимірювань. Обов'язково описуються конкретні методи і засоби діагностики та контролю, що будуть використовуватись на визначеному завданні місці контролера, з характеристиками їх діапазону та необхідної точності вимірювань. Наводяться дані щодо обраних приладів з описом принципу їх дії та конструкції.

**Оформлення роботи:** згідно з відповідними методичними вказівками, що діють в УДУНТ [10]. Пояснювальна записка, як правило, містить: титульний аркуш; реферат; зміст; опис розробки; висновки та рекомендації; перелік посилань.

**Обсяг пояснювальної записки** – 20...25 стор.; ф. А4; шрифт 14; 1 інтервал.

**Захист роботи** здійснюється у ході співбесіди студента з керівником. Наявність оцінки з курсової роботи враховується при формуванні заключної оцінки з навчальної дисципліни.

### 3 ЗАСОБИ САМОКОНТРОЛЮ

- 1) Як називається наука про вимірювання?
- 2) За якою системою застосовуються одиниці вимірювань в Україні?
- 3) Яким законом в Україні регламентується діяльність у сфері метрології?

- 4) Яким органом влади призначається перелік наукових метрологічних центрів?
- 5) Як можна охарактеризувати властивість, яка спільна у якісному відношенні багатьом матеріальним об'єктам та індивідуальна у кількісному відношенні до кожного з них?
- 6) Чи можна використовувати результати вимірювань, якщо невідомі характеристики похибок або невизначеності вимірювань?
- 7) Чим обмежується достовірність вимірювання?
- 8) Як називають технічний засіб, який застосовується під час вимірювань фізичних величин і має нормовані метрологічні характеристики?
- 9) Що представляє собою міжповірочний інтервал?
- 10) Що називають сукупністю ЗВТ та принципів вимірювання для створення вимірювальної інформації?
- 11) Як називають складову загальної похибки вимірювання, яка залишається постійною або закономірно змінюється під час повторних вимірювань однієї і тієї ж величини?
- 12) Які ЗВТ призначаються для перевірки і градування лабораторних і заводських мір?
- 13) Чи обов'язково повинна проводитися повірка засобів вимірювальної техніки, які не застосовуються у сфері законодавчо регульованої метрології та перебувають в експлуатації?
- 14) Що представляє із себе «Повірочна схема»?
- 15) Як називають однотипні результати, що одержувані при вимірах одним і тим же інструментом або йому подібним по точності приладом, одним і тим же (або аналогічним) методом і в тих же умовах?
- 16) Що являє собою узагальнена характеристика засобу вимірювальної техніки, що визначається границями його допустимих основних і додаткових похибок?
- 17) Які ЗВТ призначаються для перевірки виробів в умовах виробництва?
- 18) Що є характеристикою ступеню реагування ЗВТ на зміну вхідної величини?
- 19) Які величини вимірюють за допомогою профілометрів?
- 20) Які ЗВТ служать для вимірювання малих кутових відхилень від горизонтальної площини?
- 21) Що відносять до основних складових штангенциркуля ШЦ-1?

- 22) Який вид ЗВТ призначений для контролю прямолінійності і площинності невеликих поверхонь деталей методом світлової щілини?
- 23) Що є чутливим елементом диференціального пневматичного приладу?
- 24) Що є найбільш точними оптичними приладами для безконтактного вимірювання кутів?
- 25) Для чого використовують екстензометри?
- 26) Як називається прилад для визначення в'язкості газів, рідин, суспензій, гідросумішей?
- 27) Як називається вимірювальний інструмент для відносних лінійних вимірювань малих значень?
- 28) З якими межами вимірювань виготовляють мікрометричні нутроміри?
- 29) У яких випадках для визначення шорсткості дозволяється використовувати лупу?
- 30) Який фізичний параметр рідини визначається шляхом вимірювання швидкості потоку її певного об'єму крізь капіляр?
- 31) Як називається спеціальний прилад для вимірювання освітленості приміщень?
- 32) Як називається система з двох чи більше електродів (обкладок), які розділені діелектриком, товщина якого менша у порівнянні з розміром обкладок?
- 33) Які параметри використовуються в законі Ома?
- 34) Якими приладами вимірюють електричний опір?
- 35) Які складові є компонентами вимірювальної системи?
- 36) В якому з термометрів змінення температури сприймається важільно-зубчастою системою?
- 37) Що показує пірометр повного випромінювання при вимірюванні температури реального тіла?
- 38) Які перетворювачі застосовують для проведення вимірювань швидкості лінійних та кутових переміщень?
- 39) Що є характеристикою ступеню реагування ЗВТ на зміну вхідної величини?
- 40) Які типи структур можуть бути використані при побудові інформаційно-вимірювальних систем?

## ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНИХ ПОСИЛАНЬ

1. Про метрологію та метрологічну діяльність : Закон України від 05.06.2014 р. № 1314-VII : станом на 1 січ. 2022 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1314-18/ed20220101#Text> (дата звернення: 02.04.2024).
2. Технічне регулювання та контроль на підприємстві / А. М. Должанський та ін. Дніпро : Видавець «Свідлер А. Л.», 2021. Т. 1. 523 с.
3. Методи та засоби інформаційно-вимірювальної техніки, випробувань і контролю : підручник (з грифом Вченої ради НМетАУ) / Є. О. Петльований та ін. Дніпро : Видавництво «Свідлер А. Л.», 2018. 191 с.
4. Метрологія, забезпечення єдності вимірювань та еталони одиниць фізичних величин : підручник (з грифом Вченої ради НМетАУ) / К. О. Черноіваненко та ін. Дніпро : Видавництво «Свідлер А. Л.», 2018. 164 с.
5. Метрологія та вимірювальна техніка : підручник / Є. С. Поліщук та ін. Львів : Бескет Біт, 2003. 544 с.
6. Метрологія та вимірювальна техніка / В. В. Кухарчук та ін. Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2004. 252 с.
7. Дорожовець М. Опрацювання результатів вимірювань : навч. посіб. Львів : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2007. 624 с.
8. Цюцюра В. Д. Метрологія та основи вимірювань : навч. посіб. Київ : Знання-Прес, 2003. 287 с.
9. Тарасова В. В. Метрологія, стандартизація і сертифікація : підручник. Київ : Центр навчальної літератури, 2006. 264 с.
10. Положення про виконання кваліфікаційної роботи в Українському державному університеті науки і технологій : рукопис / розробники: А. В. Радкевич та ін. Дніпро : УДУНТ. 2022. 47 с.

Навчально-методичне видання

**Чорноіваненко Катерина Олександрівна**

**МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ  
ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

Навчально-методичні рекомендації  
до проведення практичних та лабораторних занять

Електронне видання

Експертний висновок склала канд. техн. наук, доц. Наталія Полякова

Зареєстровано НМВ УДУНТ (№ 738 від 26.06.2024)

В авторській редакції  
Комп'ютерна верстка К. О. Чорноіваненко

Формат 60x84<sub>1/16</sub>. Ум. друк. арк. 7,27. Обл.-вид. арк. 6,21.  
Зам. № 60

Видавець: Український державний університет науки і технологій  
вул. Лазаряна, 2, ауд. 2216, м. Дніпро, 49010.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 7709 від 14.12.2022

Адреса видавця та дільниці оперативної поліграфії:  
вул. Лазаряна, 2, Дніпро, 49010