Міністерство освіти і науки України
Луцький національний технічний університет

МЕТРОЛОГІЯ, ТЕХНОЛОГІЧНІ ВИМІРЮВАННЯ ТА ПРИЛАДИ

Методичні вказівки до лабораторних занять
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
освітньої програми «Системи керування безпілотними апаратами»,
галузі знань G Інженерія, виробництво та будівництво
(17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації)
спеціальності G7(174) Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані
технології та робототехніка
денної та заочної форм навчання

Луцьк 2025

УДК 621.317.3(07)
М54

Рекомендовано до видання вченою радою факультету комп'ютерних та інформаційних технологій ЛНТУ, протокол № ___ від _____ 2025 року.

Голова Вченої ради факультету КІТ _____ Інна КОНДІУС

Електронна копія друкованого видання передана для внесення в репозитарій ЛНТУ
Директор бібліотеки _____ Наталія ПОЛІЩУК

Затверджено вченою радою факультету комп'ютерних та інформаційних технологій ЛНТУ, протокол № __ від «___» _____ 2025 року.

Розглянуто і схвалено на засіданні кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій ЛНТУ, протокол № __ від «__» _____ 2025 року.

Завідувач кафедри АКІТ _____ Олександр ПОВСТЯНОЙ

Укладач: _____ Віктор ДЕНИСЮК, кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій ЛНТУ.

Рецензент: _____ Олег КАЙДИК, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерної інженерії та безпеки ЛНТУ.

Відповідальний за випуск: ___ _____ Олександр ПОВСТЯНОЙ, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій ЛНТУ.

М54 **Метрологія, технологічні вимірювання та прилади** : методичні вказівки до лабораторних занять для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти освітньої програми «Системи керування безпілотними апаратами», галузі знань G Інженерія, виробництво та будівництво (17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації) спеціальності G7(174) Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка денної та заочної форм навчання / уклад. В. Ю. Денисюк. Луцьк: ЛНТУ, 2025. 124 с.

Методичне видання складене відповідно до діючої програми курсу «Метологія, технологічні вимірювання та прилади». Представлено методи визначення результатів вимірювання лінійних розмірів та технологічних параметрів таких, як температура, твердість та шорсткість поверхні, рівень рідини в технологічному апараті тощо. Призначено для студентів спеціальності G7(174) Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка денної та заочної форми навчання.

ЗМІСТ

Вступ……. 4
1. Лабораторна робота №1. Плоскопаралельні кінцеві міри довжини. Вимірювання розмірів деталей за допомогою штангенциркулів…… 5
2. Лабораторна робота №2. Вимірювання розмірів деталей мікрометром…….. 16
3. Лабораторна робота №3. Дослідження основних методів вимірювань. Статистична обробка даних прямих вимірювань…… 21
4. Лабораторна робота №4. Мостові методи вимірювання. Визначення опору провідників за допомогою містка постійного струму (містка Уітсона)…….. 28
5. Лабораторна робота №5. Повірка технічних амперметра та вольтметра……. 33
6. Лабораторна робота №6. Повірка амперметра методом непрямих вимірювань……. 37
7. Лабораторна робота №7. Повірка лічильника електричної енергії….. 41
8. Лабораторна робота №8. Вимірювання температури контактним методом…….…. 45
9. Лабораторна робота №9. Вимірювання температури за допомогою термопари……... 52
10. Лабораторна робота №10. Вимірювання твердості сталей…….. 60
11. Лабораторна робота №11. Прилад для визначення шорсткості та хвилястості поверхонь. Профілограф-профілометр, модель 201…… 68
12. Лабораторна робота №12. Перетворювачі пневмоелектроконтактні 84
13. Лабораторна робота №13. Вимірювання рівня рідин. Електричні сигналізатори рівня……..…. 103
14. Лабораторна робота №14. Вимірювання вологості……..… 114
Література…….. 123

ВСТУП

Відповідно до навчальних планів зі студентами денної та заочної форм навчання спеціальності G7(174) Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка проводяться лабораторні заняття з курсу «Метрологія технологічні вимірювання та прилади».

Підвищення якості продукції, ефективності автоматизованого управління та інтенсифікації технологічних процесів у різних галузях промисловості неможливе без інформації про технологічні параметри, яку одержують в результаті вимірювання. При цьому на практиці доводиться розв'язувати широке коло задач, пов'язаних з вибором методів та засобів, підвищенням точності та обробкою результатів вимірювань.

Лабораторні роботи, які представлені в методичних вказівках, дозволяють студентам здійснити безпосереднє визначення результатів вимірювання лінійних розмірів та технологічних параметрів таких, як температура, твердість та шорсткість поверхні, рівень рідини в технологічному апараті; обробити одержані експериментальні результати; ознайомитись з будовою та принципом дії лабораторного обладнання та засобів вимірювання таких, як штангенциркуль, мікрометр, контактний та термоелектричні термометри, пірометричний мілівольтметр, електроакустичний твердомір, регулятор-сигналізатор рівня, профілограф-профілометр, перетворювач пневмоелектроконтактний тощо.

У методичних вказівках наводяться технічні характеристики, функціональні, структурні та вимірювальні схеми обладнання, яке використовується для виконання лабораторних робіт, а також подано опис його будови, принципу дії та конструктивних особливостей. Для здійснення обробки результатів представлені необхідні формули та довідкові дані.

Основне призначення методичних вказівок – допомогти студентам при виконанні лабораторних робіт засвоїти методи експериментального визначення метрологічних та технологічних параметрів, а також здійснити оцінку одержаних результатів, виходячи з конкретних умов.

При оформленні лабораторних робіт студент повинен навести теоретичні відомості згідно з темою до роботи, необхідні технічні характеристики обладнання, схеми, графіки та розрахунки. Результати багатократних вимірювань та розрахунків слід подавати в таблицях.

У разі необхідності наводити пояснення, обґрунтування та висновки.

Лабораторна робота №1
ПЛОСКОПАРАЛЕЛЬНІ КІНЦЕВІ МІРИ ДОВЖИНИ. ВИМІРЮВАННЯ РОЗМІРІВ ДЕТАЛЕЙ ЗА ДОПОМОГОЮ ШТАНГЕНЦИРКУЛІВ

Мета роботи: ознайомитися з характеристикою й конструкцією плоскопаралельних кінцевих мір; засвоїти методику набирання блоків з кінцевих мір; засвоїти методику настроювання приладів за допомогою блоків кінцевих мір для проведення вимірювань відносним методом. Ознайомитися з видами, будовою штангенциркулів, їх технічними і метрологічними даними. Здійснити повірку штангенциркулів за допомогою плоскопаралельних кінцевих мір довжини.

Обладнання та матеріали: набір штангенциркулів, плоскопаралельні кінцеві міри довжини, скоби, набір деталей.

Теоретичні відомості

1 Плоскопаралельні кінцеві міри довжини

1.1 Застосування кінцевих мір

Плоскопаралельні кінцеві міри довжини складають основу сучасних лінійних вимірювань в машино- і приладобудуванні. Вони застосовуються для зберігання одиниці довжини, передачі розміру від еталону одиниці довжини до виробу, перевірки точності та градуювання вимірювальних засобів, встановлення приладів на нуль при відносному методі вимірювань тощо.

Широко розповсюдженим слід вважати використання кінцевих мір при перевірці шкал вимірювальних інструментів та приладів, встановленні регульованих калібрів на розмір та встановлення на нуль шкал вимірювальних приладів.

Сферу застосування кінцевих мір можна значно розширити, застосовуючи різні стандартні пристосування, наприклад, утримувачі в сполученні з боковичками для настроювання приладів та розмітки.

Кінцеві міри довжини слід використовувати тільки у випадках коли потрібна висока точність вимірювання та неможливе використання звичайних вимірювальних приладів.

В аналогічних випадках слід використовувати і кутові міри. Вони виконуються у вигляді призм і призначені для зберігання і передачі одиниці плоского кута, перевірки та градуювання кутомірних та кутових шаблонів, а також для контролю виробів.

1.2 Конструкція наборів кінцевих мір

Для виконання даної лабораторної роботи будемо використовувати набір кінцевих мір, що складається із 112 штук (рис. 1.1) і має склад кінцевих мір довжини представлений у таблиці 1.1.



Рисунок 1.1 – Набір плоскопаралельних кінцевих мір довжини

Таблиця 1.1 – Склад кінцевих мір довжини із 112 плиток

Номінальні розміри плитки, мм	Кількість плиток
1,005	1
1,01; 1,02; 1,03; ...; 1,49	49
1,6; 1,7; 1,8; 1,9	4
0,5; 1,0; 1,5; ...; 25	50
10; 20; 30; ...; 100	8

Цей набір дозволяє складати блоки з дискретністю 0,005 мм. Кінцеві міри довжини – це прямокутні плитки (рис. 1.1) з загартованої сталі або спеченого матеріалу (твердого сплаву).

Дві протилежні поверхні кожної плитки – вимірювальні, бо завдяки ретельній обробці та доводці плитки мають точно визначений розмір, наприклад: 1,05; 1,27; 2,50; 60 мм. Блоки слід складати притиранням. Кінцеві міри мають властивість зчіплюваності (притирання) за рахунок ретельної обробки робочих поверхонь. З них можна складати блоки будь-яких розмірів. Притирання та висока точність – головні якості кінцевих мір, що визначають їхню цінність як вимірювальних засобів. Зчеплення пластинок мір забезпечується силами молекулярного притягання найтонших мастильних плівок на їхніх поверхнях. Міри абсолютно знежирені або з товстим шаром мастила не притираються.

Для меншого спрацьовування мір при складанні блоків з кінцевих мір слід прагнути, щоб вони складались із можливо меншої кількості.

На кожній мірі гравірується її розмір. На мірах, менших за 5,5 мм, номінальний розмір наноситься на одній із вимірювальних поверхонь;

більших за 5,5 мм – на боковій неробочій поверхні.

Аналогічно кутові міри можуть використовуватися як окремо, так і блоками із декількох плиток. Блоки плиток кріплять спеціальними утримувачами.

За точністю виготовлення кінцеві міри поділяються на 4 класи (0, 1, 2, 5) та 5 розрядів (1, 2, 3, 4, 5) – в порядку зменшення точності.

1.3 Методика складання блоків

Прийоми складання блоків зводяться до таких дій. Кінцеві міри попередньо очистити від мастила ватою, промити чистим бензином та витерти насухо. Потім одну з мір накласти на іншу і, щільно притискаючи пальцями, просунути вздовж великої осі до повного контакту робочих поверхонь. Якщо після цього легким зусиллям не можна роз'єднати складений блок, міри вважаються притертими. Після притирання двох кінцевих мір до них притирають третю.

Послідовність при складанні блоку зазвичай така: спочатку притирають кінцеві міри малих розмірів, після чого складений з них блок притирають до міри середнього розміру, а потім вже до плитки великого розміру.

Для захисту мір від швидкого спрацьовування та пошкоджень необхідно застосовувати захисні кінцеві міри.

1.4 Правила роботи з плитками

Для запобігання зайвого промивання кінцевих мір і дряпання їхніх робочих поверхонь потрібно виконувати такі правила:

1. Не брати робочі поверхні промитих кінцевих мір руками.
2. Кінцеві міри, більші за 5,5 мм, класти на стіл неробочими поверхнями.
3. Не притирати робочу поверхню кінцевої міри до неробочої (це викликає появу подряпин на робочій поверхні).
4. До блоку складати не більше 4-5 мір для зменшення його похибки.
5. Після закінчення роботи блок слід розібрати, кінцеві міри промити в бензині, змастити та покласти у відповідні гнізда футляра набору.

1.5 Методика розрахунку кінцевих мір блоку

Попередньо вивчити довідникову карту на відповідному робочому місці. Кожна ланка студентів одержує завдання, що складається з трьох розмірів, вказаних викладачем. Для того, щоб скласти необхідний розмір з найменшої кількості плиток, слід підібрати перш за все такі міри, розмір яких має тисячні долі міліметра, потім – соті долі тощо.

В останню чергу підбираються пластини, розмір яких складає цілі та десятки цілих міліметрів.

Розглянемо викладені положення на прикладі. Припустимо, що треба

скласти блок розміром 28,785 мм.

Заданий розмір	28,785
Перша міра, що входить до блоку	1,005 мм (I)
Залишок	27,78 мм
Друга міра, що входить до блоку	1,28 мм (II)
Залишок	26,50 мм
Третя міра, що входить до блоку	6,50 мм (III)
Залишок (четверта міра блоку)	20,00 мм.

Розрахунок кінцевих мір блоків всіх заданих чисел та результати роботи записати до таблиці звіту.

2 Штангенциркулі

2.1 Призначення і будова штангенциркулів

Штангенциркулі призначені для вимірювань методом безпосереднього відліку. Відмінною ознакою штангенциркулів є наявність у них двох штрихових шкал: основної і додаткової (ноніуса). Основна шкала служить безпосередньо для вимірювань; з нею порівнюють вимірювальний розмір. Додаткова шкала служить для підвищення точності відліку за основною шкалою. За відношенням до нульової поділки ноніуса за основною шкалою відраховують кількість цілих міліметрів, а потім для відліку десятих і сотих частин міліметра, тобто для підрахунку за ноніусом визначають, який його штрих співпадає з відповідним штрихом основної шкали.

Штангенциркуль призначений для вимірювання зовнішніх та внутрішніх розмірів деталей, а також для розмітки. Будова штангенциркуля показана на рисунку 1.2.

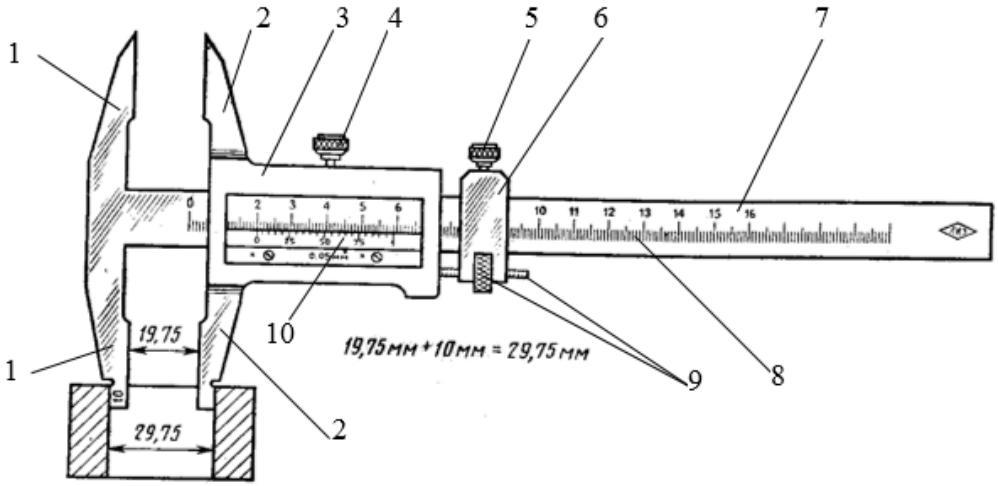
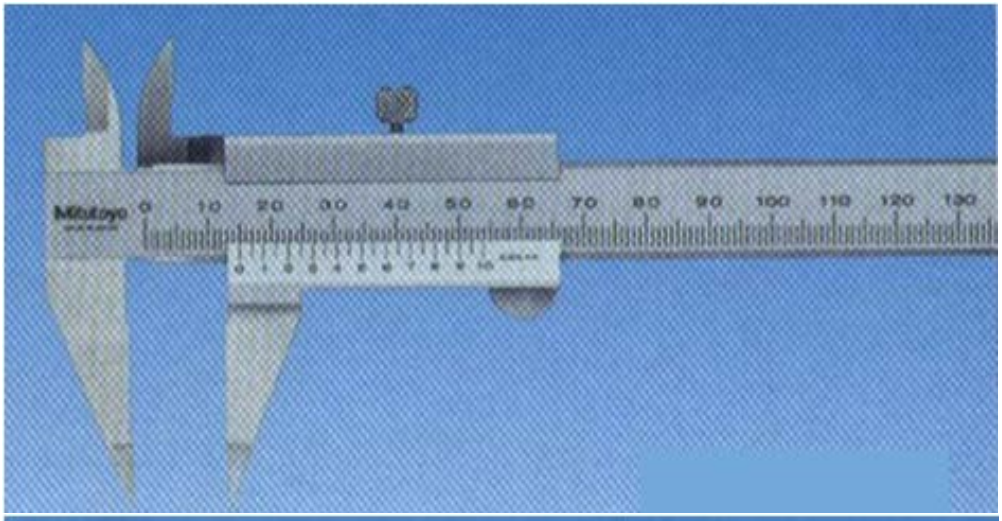


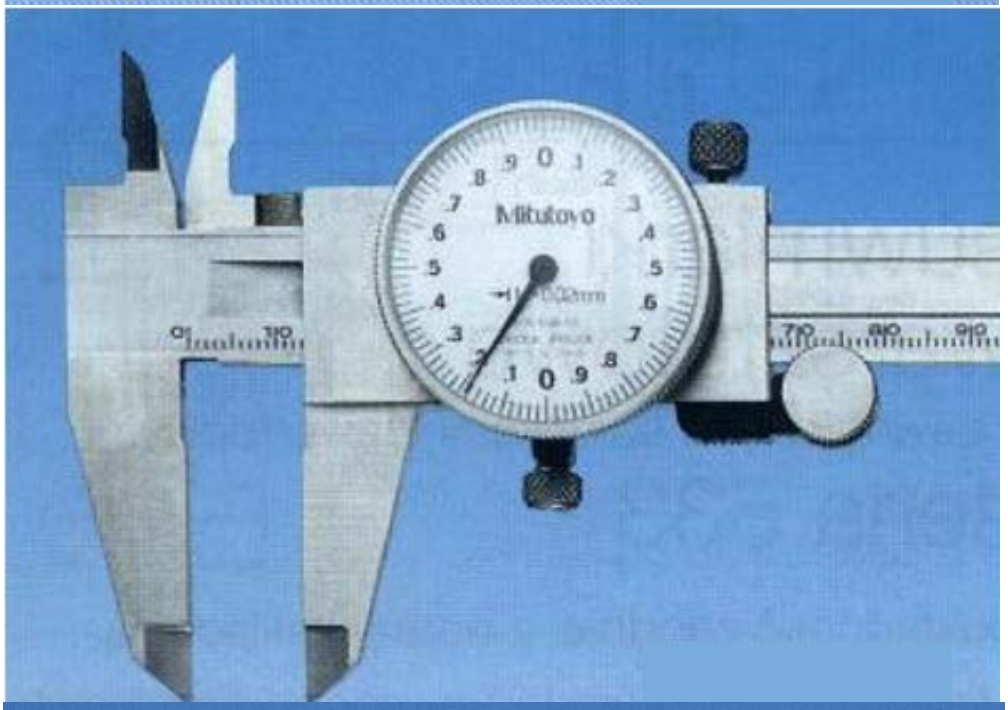
Рисунок 1.2 – Будова штангенциркуля: 1 – нерухомі вимірювальні губки; 2 – рухомі вимірювальні губки; 3 – рамка; 4 – фіксуючий гвинт для затиснення рамки; 5 – фіксуючий гвинт для затиснення рамки мікрометричної подачі; 6 – рамка мікрометричної подачі; 7 – штанга; 8 – шкала штанги; 9 – гайка і гвинт мікрометричної подачі; 10 – шкала ноніуса

Штангенциркулі виготовляють декількох типів (рис. 1.3).

а)



б)



в)



Рисунок 1.3 – Види штангенциркулів: а – звичайний; б – з індикаторним відліком; в – з електронним цифровим відліком

В основу принципу вимірювання за допомогою штангенциркуля покладено зміщення шкали ноніуса відносно шкали на штанзі. Промисловістю випускаються штангенциркулі з відліком за ноніусом 0,1 і 0,05 мм. Основна шкала має ціну поділки і інтервал ділення, який дорівнює 1 мм. Точність, з якою можна проводити відлік за шкалою штангенінструмента, залежить від того, на скільки інтервал поділки шкали ноніуса менший за інтервал поділки основної шкали. При вимірюванні деталі ноніус займає відносно основної шкали положення, в якому нульовий штрих ноніуса вказує на основній шкалі величину розміру, що вимірюється (рис. 1.4, б).

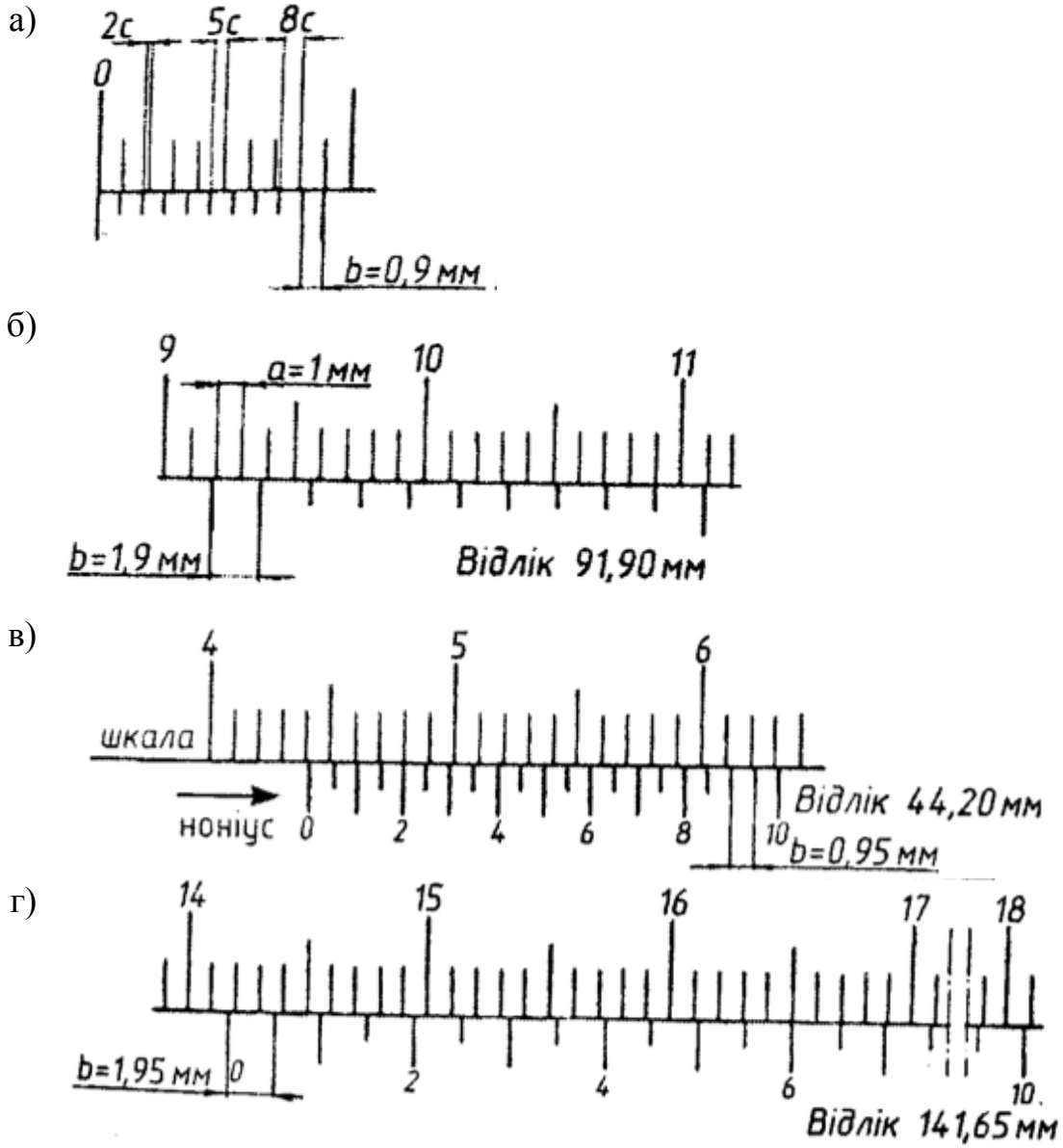


Рисунок 1.4 – Відлік за ноніусами штангенциркулів: а) c=0,1 мм, j=1, n=10; б) c=0,1 мм, j=2, n=10; в) c=0,05 мм, j=1, n=20; г) c=0,05 мм, j=2, n=20;

Якщо нульовий та останній штрихи ноніуса точно співпадають з поділками основної шкали, то розмір або дорівнює нулю, або складається

тільки з цілих міліметрів, які належить відліковувати за основною шкалою від нульового штриха ноніуса (рис. 1.4, а).

Якщо нульовий штрих ноніуса не співпадає з поділкою основної шкали, розмір буде дробовим, долі міліметра належить відрахувати по тій поділці ноніуса, яка співпадає з однією з поділок основної шкали (рис. 1.4, б, в, г).

Таким чином, відлік розміру проводиться згідно до виразу (1.1):

$$L = l + k \cdot i_н, \tag{1.1}$$

де L – вимірюваний розмір;

l – показник основної шкали;

k – порядковий номер штриха, що співпадає з будь-яким штрихом основної шкали;

$i_н$ – ціна поділки ноніуса, мм.

Правило відрахування показів за шкалою з ноніусом:

– ціле число міліметрів, з якого складається розмір, тобто l визначається цілим числом інтервалів шкали між нульовою поділкою штанги і нульовою поділкою ноніуса;

– дробова доля міліметра, що входить в розмір, дорівнює порядковому номеру штриха k шкали ноніуса, помноженому на величину ціни поділки ноніуса.

Вимірювання штангенциркулем необхідно проводити у наступному порядку. Помістити виріб між губками штангенциркуля, притиснути нерухому губку до поверхні виробу і, переміщаючи рамку, наблизити до виробу рухому губку, після чого закріпити стопорний гвинт мікрометричної подачі. Обертаючи губку мікрометричної подачі, привести рухому губку в дотик з поверхнею виробу і закріпити гвинт рамки. При цьому обидві губки повинні щільно прилягати до вимірювального виробу, а переміщення штангенциркуля повинно відчути легке тертя. При вимірюванні необхідно слідкувати за правильним встановленням губок штангенциркуля (без перекосів). Зняти штангенциркуль з виробу і відрахувати покази за основною шкалою і за ноніусом.

При вимірюванні штангенциркулем внутрішніх розмірів виробу в нього вводять губки для внутрішніх виробів, нерухому губки для внутрішніх виробів, нерухому губку притискають до поверхні виробу. Подальший порядок такий же, як описано вище.

2.2 Повірка штангенциркулів

Штангенциркулі повіряють за ДСТУ ISO/IEC 17025:2017. При проведенні повірки температура навколишнього середовища повинна бути в межах (20±5) ^{0}C.

Перед повіркою штангенциркуль необхідно промити авіаційним бензином марки Б-70, протерти чистою бавовняною серветкою і витримати на робочому місці не менш 3 год.

1. При зовнішньому огляді необхідно переконатися у відсутності дефектів, що погіршують зовнішній вигляд штангенциркуля і перешкоджають відліку показів; у відсутності перекосу краю ноніуса до штрихів шкали штанги; у відсутності відхилення від перпендикулярності торця губок для внутрішніх вимірювань до вимірювальної поверхні губок у штангенциркулів типу ШЦ-II і ШЦ-III і відхилення від перпендикулярності торця штанги до довгого ребра в штангенциркулів типу ШЦ-I.

2. При випробуванні необхідно переконатися в тому, що рухомі частини штангенциркуля переміщаються легко, без заїдань, не відбувається стирання штрихів штанги при русі по ній рамки, стопорні гвинти діють надійно. Мертвий хід мікрометричної пари для штангенциркулів, що випускаються з виробництва і ремонту, не повинний перевищувати 1/3 обороту, а для штангенциркулів, що знаходяться у використанні – не більше 1/2 обороту.

3. Перевірку розмагніченості штангенциркулів після ремонту і тих, які знаходяться в експлуатації допускається виконувати випробуванням на деталях з низковуглецевої сталі масою до 0,1 г ферозондовим полюсошукачем типу ФП-1.

4. Розмір і паралельність зсунутих губок для внутрішніх вимірювань штангенциркулів типів ШЦ-II і ШЦ-III визначають мікрометром 1 класу з межами вимірювань 0-25 мм за вимогами стандарту ДСТУ ISO/IEC 17025:2017 при затисненому стопорному гвинті рамки. Провертаючи вимірювальні поверхні губок між вимірювальними поверхнями мікрометра, знаходять найбільший сумарний розмір. Відхилення розміру *b* здвоєних губок від намаркованого на штангенциркулі не повинно перевищувати значень вказаних у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Технічні вимоги до штангенциркулів

Технічні вимоги	Норми точності при відліку	
	0,05 мм	0,1 мм
1	2	3
Основна похибка штангенциркулів, мм	До 250 мм±0,05	Більше 250 до 1000±0,1 Більше 1000 до 2000±0,02
Основна похибка штангенциркулів типів ШЦ–I, ШЦТ–1 при вимірюванні глибини, що дорівнює 20 мм, не повинна перевищувати, мм	±0,1	±0,1
Відхилення від площинності вимірювальних поверхонь губок для зовнішніх вимірювань, мм	±0,004	0,007

Продовження таблиці 1.2

1	2	3
Просвіт між вимірювальними поверхнями не повинний перевищувати, мм	±0,01	0,015
Відхилення розміру *b* здвоєних губок від намаркованого на одній з губок повинне бути в межах, мм	±0,02	±0,03
Відхилення від паралельності вимірювальних поверхонь губок для внутрішніх вимірювань штангенциркулів типів ШЦ-II і ШЦ-Ш не повинні перевищувати, мм	±0,02	±0,03
Відстань від верхньої крайки краю ноніуса до поверхні шкали штанги не повинне перевищувати для штангенциркулів:		
ШЦ-I, ШЦТ-I, мм	0,30	0,30
ШЦ-II і ШЦ-Ш, мм	0,25	0,25

5. Основну похибку штангенциркулів типів ШЦ-I і ШЦТ-I при вимірюванні глибини визначають за кінцевими мірами довжини 20 мм класу 3 за ГОСТ 9038 – 73. Для штангенциркулів, що випускаються з ремонту і знаходяться в експлуатації, допускається використовувати кільце (рис. 1.4) чи настановну міру 25 мм із комплекту мікрометричного глибиноміра за ГОСТ 7470–78.

Дві кінцеві міри однакового номінального значення чи атестоване кільце встановлюють на плоску скляну пластину типу ПІ60 чи перевірочну плиту розміром 250х250 мм класу 1 за ДСТУ ISO/IEC 17025:2017. Торець штанги притискають до вимірювальних поверхонь кінцевих мір чи кільця. Лінійку штангенциркуля переміщають до зіткнення з площиною чи скла плити і роблять відлік. Основна похибка штангенциркуля при вимірюванні глибини не повинна перевищувати ±0,1 мм.

6. Основну похибку штангенциркуля визначають за кінцевими мірами довжини класу 3 за ДСТУ ISO/IEC 17025:2017. У штангенциркулів з відліком за ноніусом 0,05 мм основну похибку визначають у шести точках, а у штангенциркулів з відліком за ноніусом 0,1 мм – у трьох точках, рівномірно розташованих по довжині штанги і ноніуса.

У таблиці 1.3 вказані рекомендовані точки для повірки в залежності від меж вимірювання штангенциркулів.

При визначенні основної похибки блок кінцевих мір довжини поміщають між вимірювальними поверхнями губок штангенциркуля так, щоб торкання було в середині вимірювальної поверхні кінцевої міри і

вимірювальні поверхні губок були перпендикулярні до довгого ребра кінцевої міри. Зусилля зрушених губок повинне забезпечувати нормальне ковзання вимірювальних поверхонь губок по вимірювальних поверхнях кінцевих мір при відпущеному стопорному гвинті рамки.

Таблиця 1.3 – Рекомендовані точки для повірки в залежності від меж вимірювання штангенциркулів

Межі вимірювання штангенциркуля, мм	Відлік за ноніусом, мм	Рекомендовані для повірки точки, мм
0-160	0,05	21,2; 51,4; 71,5; 101,6; 126,8; 140
0-250	0,05	21,2; 71,5; 101,6; 151,7; 201,8; 230
0-125	0,1	21,2; 51,4; 101,6;
0-160	0,1	21,2; 71,5; 126,8
0-250	0,1	21,2; 121,5; 221,8;
0-400	0,1	101,2; 221,5; 351,8 і т.д.
250-630	0,1	
320-1000	0,1	
500-1600	0,1	
800-2000	0,1	

Кінцеві міри поміщають на повірочну плиту коротким ребром, рухомі губки штангенциркуля підводять спочатку грубо, вручну, а потім, закріпивши стопорний гвинт рамки мікрометричної подачі, підводять губки впритул до кінцевих мір і, просуваючи міри, перевіряють чи забезпечене нормальне ковзання між вимірювальними поверхнями.

В одній із точок, що перевіряються, основну похибку визначають при затисненому стопорному гвинті рамки, при цьому повинне зберігатися нормальне ковзання вимірювальних поверхонь губок по вимірювальних поверхнях кінцевих мір. Результати перевірки заносять у таблицю.

Основна похибку штангенциркуля не повинна перевищувати значень, зазначених у таблиці 1.2.

Хід роботи

1. За номінальним розміром прохідної сторони скоби відповідно до набору кінцевих мір, який є в наявності, підібрати необхідні міри.

2. Викреслити ескіз деталі і вказати її розміри. Для вимірювання розмірів штангенциркулем, необхідно:

– відкріпити рамку і хомутик, пересунути їх вздовж штанги і розмістити рамку так, щоб вимірювану деталь можна було встановити між вимірювальними площинами губок;

– використовуючи мікрометричний пристрій, пересунути рамку до прилягання поверхонь обох губок до поверхні вимірюваної деталі, в цьому положенні закріпити стопорний гвинт рамки;

– зняти інструмент із деталі, відрахувати покази за шкалою штанги і ноніуса.

При вимірюванні внутрішніх розмірів до відліку за шкалою штанги і ноніуса треба додати розмір товщини губок штангенциркуля, який на них позначений.

3. Здійснити повірку штангенциркуля в рекомендованих точках, використавши при цьому плоскопаралельні кінцеві міри довжини.

Контрольні питання

1. Призначення плоскопаралельних кінцевих мір довжини?
2. Що таке робочий розмір кінцевої міри?
3. Які поверхні кінцевої міри є робочими?
4. Де вказують розміри кінцевих мір?
5. Які похибки виникають при виготовленні кінцевих мір?
6. Класи точності кінцевих мір?
7. Із яких матеріалів виготовляють кінцеві міри?
8. Що розуміють під притиранням кінцевих мір?
9. Яка кількість мір у блоці є оптимальною?
10. Скласти блок мір заданого розміру.
11. Призначення штангенциркулів.
12. Який принцип покладено в основу побудови штангенциркуля як вимірювального інструменту?
13. Як визначити величину відліку по ноніусу?
14. Основні конструктивні елементи штангенциркуля.
15. Визначити розмір деталі за допомогою штангенциркуля.
16. Види повірок штангенциркулів.
17. Які умови повірки штангенциркулів?
18. Контрольні параметри і методика повірки штангенциркулів.
19. У чому полягає умова придатності штангенциркуля?

Лабораторна робота №2
ВИМІРЮВАННЯ РОЗМІРІВ ДЕТАЛЕЙ МІКРОМЕТРОМ

Мета роботи: ознайомитися з будовою, призначенням і вимірюванням за допомогою мікрометра. Здійснити повірку мікрометра за допомогою плоскопаралельних кінцевих мір довжини.

Обладнання та матеріали: набір мікрометрів, плоскопаралельні кінцеві міри довжини, набір деталей.

Теоретичні відомості
2.1 Види та призначення мікрометричних інструментів

Найбільше розповсюдження одержали мікрометри гладкі, мікрометричні нутроміри та мікрометричні глибиноміри. Загальним для них є наявність мікрометричної головки з гвинтовою парою та відліковим пристроєм у вигляді двох шкал (рис. 2.1, в).

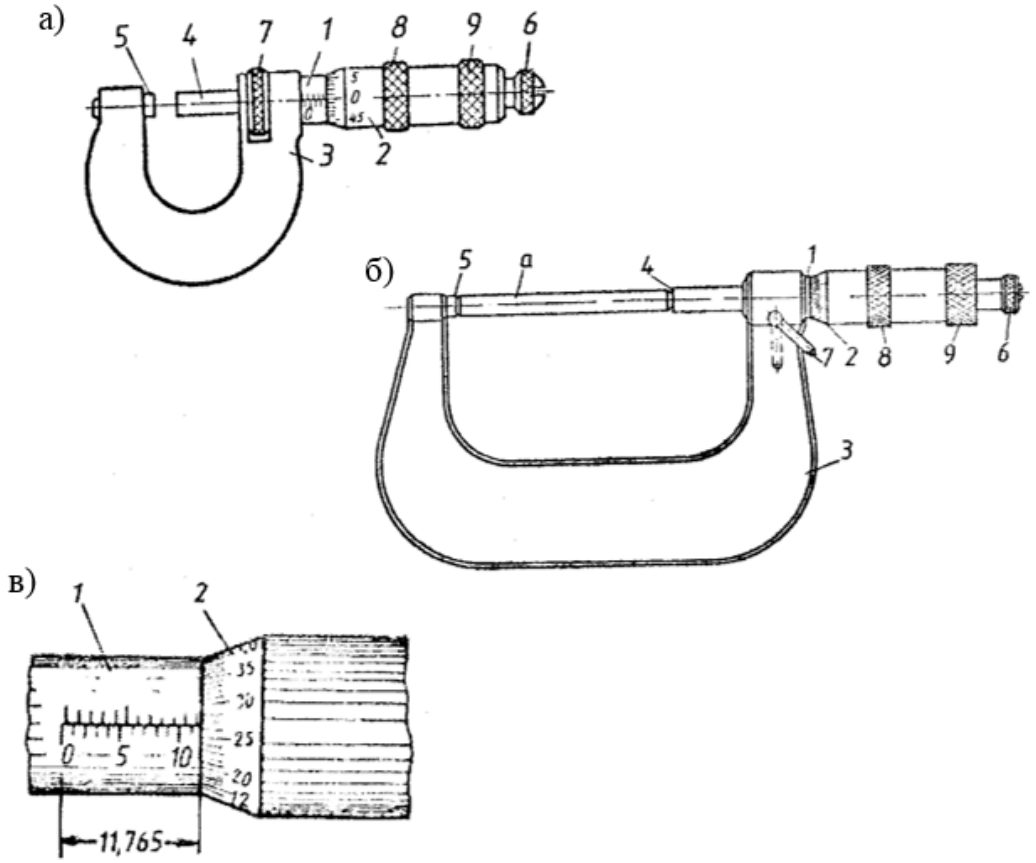


Рисунок 2.1 – Будова мікрометричних інструментів

1. Зовнішні розміри виробів слід вимірювати мікрометрами з плоскими вимірювальними поверхнями.

ГОСТ 6507–90 встановлює границі (межі) вимірювань для таких мікрометрів 0...25; 25...50; 50...75; ...; 475...500 мм.

Мікрометри гладкі використовують для перевірки плоских та циліндричних деталей. Вони також можуть бути використасні для вимірювання будь-якого охватного розміру, наприклад, розміру «М» при вимірюванні середнього діаметру різьби методом трьох дротиків.

При використанні мікрометра його слід тримати в руках або встановити в стійці.

В мікрометрах для зовнішніх вимірювань (рис. 2.1) порожнисте стебло 1 жорстко пов'язане зі скобою 3. Однією з поверхонь вимірювання є торець мікрометричного гвинта 4, який є рухливим з виходом із стебла на 25 мм. Іншою поверхнею вимірювання є торець п'ятки 5, запресованої в скобі.

Збільшення границь вимірювань досягається не за рахунок розмірів вимірювального механізму, а за рахунок розмірів скоби (рис. 2.1, а, б).

Вимірювану деталь затискають між торцями мікрогвинта і п'ятки за рахунок обертання мікрогвинта, торець якого при цьому отримує поступальний рух. Вимірюване зусилля не повинне виходити за межі 900 г.

При контролюванні великої партії деталей мікрометр може бути жорстко встановлений на відповідний розмір стопорним пристосуванням 7.

При різних інших вимірюваннях пристрій 7 повинен бути відстопореним.

2. Внутрішні розміри деталі слід вимірювати за допомогою мікрометричних нутромірів. В них відсутні скоба та тріскачковий механізм, а вимірювальні кінцевики виконані сферичними.

Слід звернути увагу, що в них розширені границі вимірювань (більше 25 мм). Вони виготовляються з границями вимірювань 50...75; 75...175; 75...600; ...; 4000...10000 мм. Це розширення меж вимірювань досягається за рахунок набору поздовжувачів, що додається до кожного інструменту.

Для вимірювання глибини пазів, отворів та висоти уступів слід використовувати мікрометричні глибиноміри. Діапазони вимірювань 0...100 мм та 0...150 мм також розширені за рахунок використання змінних вимірювальних стержнів.

2.2 Методика відліку розміру

За шкалою барабана відраховують соті долі міліметра. Ціна поділки шкали барабана всіх мікрометричних інструментів 0,01 мм. Шкала нанесена на конусний торець барабана і має 50 штрихів, тобто один повний оберт барабана дає 0,5 мм (рис. 2.1, в).

Барабан зв'язаний із шпинделем (мікрометричним гвинтом), що має різьбу з кроком 0,5 мм. Число поділок барабана – 50.

При повному оберті барабана шпиндель переміщується вздовж осі на 0,5 мм, при оберті на 1 поділку – на 1/50 кроку:

$$0{,}5:50 = 0{,}01 \text{ (мм)}.$$

Отже, ціна поділки барабана дорівнює 0,01 мм.

Вимірюваний розмір можна визначити за кутом оберту барабана, тобто

за числом повних обертів та неповного оберту. Для зручності відліку повних обертів служить поздовжня шкала, яка нанесена на стеблі.

За шкалою стебла відраховують міліметри та напівміліметри. Шкала має два поздовжніх ряди міліметрових поділок, розташованих по обидва боки від горизонтальної лінії. Верхні штрихи поділок зсунуті відносно нижніх на 0,5 мм вправо. Обидва ряди штрихів створюють одну поздовжню шкалу з ціною поділки 0,5 мм. Вказівником для відліку цілого числа поздовжньої шкали служить скошений край барабана, вказівником для кругової шкали барабана – поздовжня лінія стебла.

Розмір, що перевіряється, з точністю до 0,5 мм відсікається за шкалою стебла 1 зрізом барабанчика 2. Він відповідає цілому числу обертів барабанчика. Долі обертів, тобто соті долі міліметра, відраховують на зрізі барабанчика. Число сотих часток відповідає поділці кругової шкали, яка розташована напроти довгої осьової лінії (горизонтальної), що поділяє шкалу стебла на верхню і нижню частину.

Правило:

– якщо з-під зрізу барабанчика видно верхній штрих шкали, розмір буде складатися згідно виразу (2.1):

$$B = b + 0{,}5 + n \cdot i_м; \tag{2.1}$$

– якщо видно нижній штрих, то розмір дорівнює згідно виразу (2.2):

$$B = b + n \cdot i_м, \tag{2.2}$$

де B – вимірюваний розмір, мм;

b – кількість поділок шкали стебла, що відсікається барабаном;

n – кількість поділок на скосі барабана, що вказується поздовжньою лінією стебла;

$i_м$ – ціна поділки мікрометричної головки, $i_м$=0,01 мм.

Довжина шкали на стеблі складає 25 мм, що зумовлене складністю виготовлення гвинтів більшої довжини з необхідною точністю (рис. 2.2).

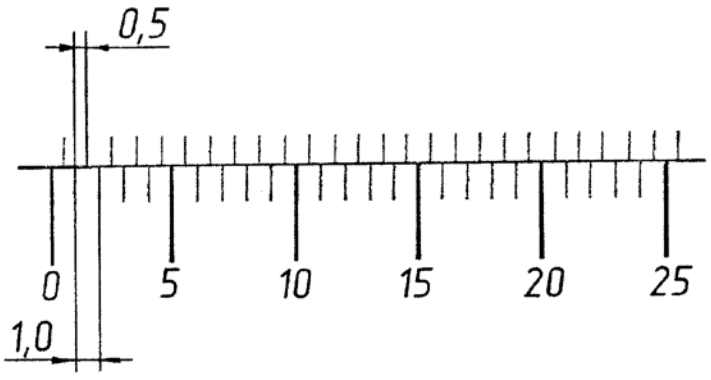


Рисунок 2.2 – Схема відліку розміру

2.2 Повірка мікрометрів

Повірка мікрометрів типу МК здійснюється за інструкцією. При проведенні повірки температура навколишнього середовища повинна бути в межах (20±5) ^{0}С.

1. При зовнішньому огляді перевіряють відсутність на зовнішніх поверхнях мікрометра вм'ятин, заусенців, іржі і забоїн. Штрихи шкал повинні бути рівними і чіткими.

2. При випробуванні необхідно переконатися, що рухомі частини мікрометра переміщаються легко без заїдань, не відчувається тертя барабана зі стеблом, мікрометричний гвинт легко обертається за допомогою тріскачкового механізму, не спостерігається проковзування тріскачкового механізму при повороті вільного мікрометричного гвинта, а стопор надійно закріпляє гвинт.

3. Основну похибку мікрометра класу 1 визначають кінцевими мірами класу 1 або зразковими мірами 4-го розряду, а мікрометрів класу 2 – кінцевими мірами класу 2 або зразковими мірами 5-го розряду. При цій повірці потрібно користуватися набором кінцевих мір №20 за ГОСТ 9038–73. Перед повіркою потрібно перевірити нульове встановлення мікрометра, закріпивши його в стійці.

Основну похибку мікрометрів визначають через 5 мм за шкалою стебла і через ¼ частину оберту шкали барабана, тобто за точками, які рівномірно розташовані як по шкалі стебла, так і по шкалі барабана мікрометра.

У таблиці 2.1 вказані рекомендовані точки для повірки в залежності від меж вимірювання мікрометрів.

Таблиця 2.1 – Рекомендовані точки для повірки в залежності від меж вимірювання мікрометрів

Межі вимірювань мікрометрів, мм	Рекомендовані точки шкали, в яких виконується повірка , мм
0-25	5,12; 10,24; 15,36; 21,5; 25,0
25-50	31,12; 35,24; 41,36; 45,5; 50,0
50-75 і т.д.	55,12; 60,24;6536; 71,5; 75,0 і т.д.

Кінцеві міри поміщають між вимірювальними поверхнями мікрометра, встановленого в стійці, і трещіткою доводять їх до дотику одна з одною, а потім, прокрутивши три рази трещіткою, проводять відлік за шкалами мікрометра. Отримані дані записують в таблицю.

Хід роботи

1. Ознайомитися з будовою, призначенням і принципом роботи мікрометричного інструменту.

2. Накреслити ескіз деталі. За допомогою мікрометра виміряти розміри

деталі і нанести їх на ескіз.

3. Здійснити повірку мікрометра за допомогою плоскопаралельних кінцевих мір довжини.

Контрольні питання

1. Призначення мікрометра.
2. Будова мікрометра.
3. Який принцип покладено в основу будови мікрометра як вимірювального інструменту?
4. Визначити величину відліку по круговій шкалі.
5. Техніка проведення вимірювань за допомогою мікрометра.
6. Визначити дійсний розмір деталі за допомогою мікрометра.
7. Границі вимірювань мікрометра.
8. Яка похибка мікрометричного гвинта?
9. Призначення тріскачкового механізму.

Лабораторна робота №3
ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАНЬ. СТАТИСТИЧНА ОБРОБКА ДАНИХ ПРЯМИХ ВИМІРЮВАНЬ

Мета роботи: ознайомитися з основними методами вимірювань фізичних величин та привити навички обробки даних прямих вимірювань.

Прилади та обладнання: мікрометр, тіла правильної геометричної форми.

Теоретичні відомості

Вимірювання є одним із важливих шляхів пізнання навколишнього середовища, зв'язків між подіями, закономірностей природи. Завдяки вимірюванням людство відкрило багато законів природи, що сприяло науково-технічному прогресу.

Вимірювання – це відображення фізичних величин з використанням експерименту та обчислень за допомогою спеціальних технічних засобів.

Вимірювання є невід'ємною частиною усіх сфер життя і діяльності людини – від елементарних вимірювань таких величин, як довжина, об'єм, маса, час тощо, до вимірювань параметрів ядерних реакцій та досліджень космосу, наприклад, температури та енергії випромінювання Сонця.

Процес вимірювання включає три етапи: підготовку, проведення вимірювання та обробку його результатів.

У загальному випадку, засобом вимірювання називають технічний засіб, який використовують при вимірюваннях і який має нормовані метрологічні характеристики.

Результати вимірювання величини X можна записати у вигляді формули (3.1), яка називається основним рівнянням вимірювання:

$$X = A[x], \tag{3.1}$$

де A – абстрактне число, яке являє собою числове значення фізичної величини;
$[x]$– одиниця фізичної величини.

Істинне значення фізичної величини – значення фізичної величини, яке ідеальним чином відображало б у якісному та кількісному відношеннях відповідну властивість об'єкта вимірювання.

Дійсне значення фізичної величини – значення фізичної величини знайдене експериментально та настільки близьке до істинного значення, що може використовуватися замість нього. Інформацію про значення фізичної величини, яку отримують при вимірюванні, називають вимірювальною інформацією. Засіб вимірювання подає вимірювальну інформацію у вигляді деякого сигналу, який сприймається оператором або різноманітними технічними пристроями – споживачами вимірювальної інформації.

Вимірювання класифікують за багатьма прикметами, однією з яких є спосіб отримання результату. Згідно з цим розрізняють прямі, непрямі сумісні та сукупні вимірювання.

Прямими називають вимірювання, при яких шукане значення вимірювальної величини знаходять безпосередньо з дослідних даних.

Непрямі вимірювання – це такі, при яких шукане значення величини знаходять за допомогою відомої залежності між цією величиною та величинами, які одержані прямими вимірюваннями.

Сумісними називають проведені одночасно вимірювання двох чи декількох неоднойменних величин для знаходження залежності між ними.

Сукупними називають здійснювані одночасно вимірювання кількох однойменних величин, при яких шукані значення величини знаходять в результаті розв'язку системи рівнянь, одержаних під час прямих вимірювань величин, функціонально зв'язаних з вимірюваними.

Прямі вимірювання є самостійними і найбільше розповсюдженими. Вони представляють собою основу для більш складних вимірювань, якими є непрямі, сумісні та сукупні.

В свою чергу, прямі вимірювання здійснюють двома методами вимірювань: методом безпосередньої оцінки та методом порівняння з мірою.

Результати вимірювання, як правило, відрізняються від дійсного значення фізичної величини.

Абсолютна похибка вимірювання – відхилення результату вимірювання X від дійсного значення $X_д$ вимірюваної величини:

$$\Delta = X - X_д. \tag{3.2}$$

Відносна похибка вимірювання – відношення абсолютної похибки вимірювання до дійсного значення вимірювальної величини у відсотках:

$$\delta = \frac{\Delta}{X_д} \cdot 100\%. \tag{3.3}$$

Точність вимірювання – якість вимірювання, що вказує на близькість його результату до дійсного значення вимірюваної величини:

$$\varepsilon = \left| \frac{X_д}{\Delta} \right|. \tag{3.4}$$

Оцінку абсолютної похибки залежно від причин виникнення, характеру та умов виявлення прийнято представляти сумою двох складових, які називають випадковою ψ та систематичною θ похибками вимірювання:

$$\Delta = \psi + \theta . \qquad (3.5)$$

Систематична похибка складається з похибок методу та засобів вимірювання, впливу зовнішніх факторів, індивідуальних властивостей людини, яка здійснює вимірювання та інших. Виявлена та оцінена систематична похибка виключається з результату введенням поправки.

Випадкова похибка – складова похибки вимірювання змінюється випадковим чином при повторних вимірюваннях однієї і тієї ж величини. Окреме значення випадкової похибки передбачити неможливо. Сукупність випадкових похибок вимірювання однієї й тієї ж величини підпорядковується певним закономірностям, які є ймовірними. Їх описують за допомогою методів теорії ймовірностей.

На рисунку 3.1 показані криві закону нормального розподілу (Крива Гауса) випадкової похибки ψ, де по осі ординат відкладена щільність ймовірності, а по осі абсцис – випадкова похибка, які можна представити рівняннями (3.6-3.7):

$$p(\psi) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-0{,}5\left(\frac{\psi}{\sigma}\right)^2}; \qquad (3.6)$$

$$\psi = \mathrm{X} - \mathrm{M}(X). \qquad (3.7)$$

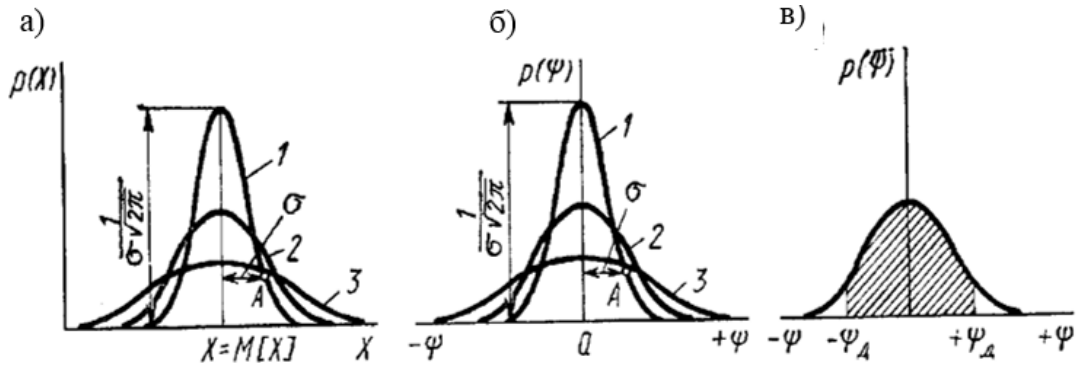


Рисунок 3.1 – Криві нормального розподілу випадкових величин та їх випадкових похибок

Характеристики *M(X)* та σ називають відповідно математичним очікуванням та середньоквадратичним відхиленням.

Щоб визначити ймовірність знаходження результату вимірювання або випадкової похибки в деякому наперед заданому інтервалі від $-\psi_д$ до $+\psi_д$, необхідно знайти площу під кривою розподілу, обмежену вертикальними лініями на границях інтервалу. Цей ймовірний інтервал називають довірчим, бо він визначається з заданою довірчою ймовірністю $P_д$.

Для оцінки математичного очікування використовують середньоарифметичне значення *n* вимірювань фізичної величини:

$$\mathrm{M}[\mathrm{X}] \approx \mathrm{X}_{ср} = \sum_{i=1}^{n} \frac{\mathrm{X}_i}{n}. \qquad (3.8)$$

Для оцінки середньоквадратичного відхилення σ використовується формула (3.9):

$$\sigma \approx S = \sqrt{\frac{\sum_{s=1}^{n} \left(\mathrm{X}_i - \mathrm{X}_{ср}\right)^2}{n-1}}. \qquad (3.9)$$

Середньоквадратичне відхилення середньоарифметичного значення результату вимірювання визначають за формулою (3.10):

$$S\left(\mathrm{X}_{ср}\right) = \frac{S}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{s=1}^{n} \left(\mathrm{X}_i - \mathrm{X}_{ср}\right)^2}{n \cdot (n-1)}}. \qquad (3.10)$$

Тоді границі довірчого інтервалу для прийнятої довірчої ймовірності $P_д$ визначаються залежністю (3.11):

$$\psi_д = t \cdot S\left(\mathrm{X}_{ср}\right), \qquad (3.11)$$

де t – коефіцієнт розподілу Стьюдента, який залежить від ймовірності $P_д$ та кількості вимірювань n.

Значення коефіцієнта розподілу Стьюдента t наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Коефіцієнт розподілу Стьюдента t

$K=N$-1	Ймовірність $P_д$			
	0,5	0,9	0,95	0,99
1	1,0	6,31	12,70,	63,70
2	0,82	2,92	4,30	9,92
3	0,77	2,35	3,18	5,84
4	0,74	2,13	2,78	4,60
5	0,73	2,02	1,57	4,03
6	0,72	1,94	2,45	3,71
7	0,71	1,90	2,37	3,50
8	0,71	1,86	2,31	3,36
9	0,70	1,83	2,26	3,25
11	0,70	1,80	2,20	3,10
13	0,69	1,77	2,16	3,01
15	0,69	1,75	2,13	2,95
17	0,69	1,74	2,11	2,90
19	0,69	1,73	2,09	2,86

Визначений довірчий інтервал від $-\psi_д$ до $+\psi_д$ дозволяє відкинути результати вимірювань, які знаходяться за його межами, вважаючи їх помилковими, а результат вимірювання представити у вигляді (3.12):

$$X = X_{ср} \pm \psi_д . \qquad (3.12)$$

Однією із найважливіших характеристик вимірювання є їх точність, яка відображає близькість результату вимірювання до істинного значення вимірюваної величини. Для того, щоб можна було порівнювати результати вимірювань одних і тих самих величин, які виконані в різних місцях, у різний час та з використанням різних методів вимірювань і різних засобів вимірювальної техніки, вимірюванням повинна бути властива єдність.

Єдність вимірювань – стан вимірювань, за якого їх результати виражаються в узаконених одиницях, а похибки вимірювань відомі із заданою ймовірністю та не виходять за встановлені межі.

Принцип вимірювання – це фізичний закон, ефект, явище, на яких ґрунтується вимірювання, тобто наукова основа вимірювання. Наприклад, вимірювання індукції магнітного поля на основі ефекту Холла, а інших параметрів магнітного поля – на основі застосування закону електромагнітної індукції, вимірювання температури на основі термоелектричного ефекту, вимірювання швидкості на основі ефекту Доплера тощо. Залежно від принципу розрізняють електричні та магнітні, акустичні та оптичні, механічні та хімічні, теплові та квантові та інші вимірювання.

Метод вимірювання – це загальна логічна послідовність операцій із засобами вимірювальної техніки, що виконують під час здійснення вимірювань згідно з певним принципом. Один і той самий метод вимірювання може бути застосований для вимірювання різних величин. Конкретна назва методу може залежати від принципу вимірювання. Так, якщо вимірювання електричного опору ґрунтується на використанні закону Ома, причому напругу вимірюють вольтметром, а силу струму – амперметром, то можна говорити про «метод амперметра – вольтметра» вимірювання електричного опору.

З погляду принципів вимірювань існують різноманітні методи вимірювань величин, тому що існує велика кількість фізичних явищ, які є основою вимірювальних експериментів. Загалом кожне вимірювання передбачає порівняння величини з одиницею, яка відтворюється мірою. Отже, у кожному вимірюванні явно чи неявно присутня міра і тому залежно від наявності при вимірюванні міри як окремого засобу вимірювальної техніки можна виділити три групи методів: методи безпосереднього оцінювання, методи порівняння з мірою і комбіновані методи.

Порядок проведення роботи

Провести вимірювання тіла правильної геометричної форми за допомогою мікрометра та визначити фізичну величину x за результатами проведених вимірювань в наступній послідовності:

1. Провести n вимірювань фізичної величини x, внаслідок яких дістають ряд значень $x_1,\ x_2,\ x_3 .... x_n$.

2. Отримані дані занести в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати досліджень

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
x_n										

3. Обчислити найбільш імовірне значення вимірюваної величини, яким є середнє арифметичне (3.13):

$$\tilde{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + ... + x_n}{n} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i \,. \qquad (3.13)$$

Середнє значення вимірюваної величини $\tilde{x}$ наближене до істинного при x при дуже великому числі вимірювань. Результат вимірювань подається у вигляді довірчого інтервалу в якому буде знаходитись шукана величини x з імовірністю P_∂, що називається довірчою імовірністю, або надійністю. Довірча ймовірність показує, яка частка вимірювань при великому їх числі потрапляє в довірчий інтервал.

4. Провести розрахунок абсолютної похибки Δx, що визначає нижню і верхню межу довірчого інтервалу. Для цього:

– знайти відхилення результату кожного з вимірювань від середнього значення (3.14):

$$\Delta x_1 = \tilde{x} - x_1, \quad \Delta x_2 = \tilde{x} - x_2, \ ..... , \ \Delta x_n = \tilde{x} - x_n ; \qquad (3.14)$$

– піднести кожне з них до квадрату і обчислити суму квадратів відхилень від середнього (3.15):

$$\sum_{i=1}^{n} (\Delta x_i)^2 = (\Delta x_1)^2 + (\Delta x_2)^2 + ... + (\Delta x_n)^2 ; \qquad (3.15)$$

– задатися довірчою ймовірністю P_∂ вимірюваної величини x.

– за значенням довірчої ймовірності P_∂ та числа вимірювань n з таблиці 3.1 знайти значення коефіцієнта Стьюдента t. Наприклад при P_∂ =0,95 та n=5, $t = 2{,}78$.

– визначити абсолютну похибку за формулою Стьюдента (3.16):

$$\Delta x = t\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(\Delta x_i)^2}{n(n-1)}}. \qquad (3.16)$$

Розрахувати відносну похибку (3.17), що також характеризує точність вимірювань:

$$\delta = \frac{\Delta x}{\tilde{x}}. \qquad (3.17)$$

Остаточний результат подати у вигляді значень величин, що визначають довірчий інтервал і відносну похибку:

$$x = (\tilde{x} \pm \Delta x), \qquad \delta = \frac{\Delta x}{\tilde{x}} \cdot 100\%.$$

Контрольні питання

1. Що таке вимірювання?
2. Що таке засіб вимірювальної техніки?
3. Що являє собою пряме вимірювання?
4. Які вам відомі методи вимірювання?
5. Що таке похибка вимірювання?
6. Як визначається абсолютна та відносна похибка вимірювання?
7. В чому полягає порядок оброблення результатів прямих вимірювань?

Лабораторна робота №4
МОСТОВІ МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ. ВИЗНАЧЕННЯ ОПОРУ ПРОВІДНИКІВ ЗА ДОПОМОГОЮ МІСТКА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ (МІСТКА УІТСТОНА)

Мета роботи: ознайомитися та набути навиків вимірювання фізичних величин за допомогою вимірювального містка постійного струму.

Прилади та обладнання: джерело живлення, реохорд, провідники, набір опорів.

Теоретичні відомості

Вимірювальна інформація – інформація про вимірювані величини та залежності між ними у вигляді сукупності їх значень.

У метрології у процесі вимірювань найширше застосовуються прямі методи вимірювання, що забезпечують визначення шуканої величини за експериментальними даними.

До прямих методів вимірювання відносяться метод безпосередньої оцінки, метод порівняння з мірою, метод протиставлення, нульовий (компенсаційний), диференційний, мостовий та ін.

У промисловості широко застосовуються врівноважені і неврівноважені вимірювальні мости. Урівноважені мости (найбільш точні) – робота їх заснована на нульовому методі. Неврівноважені мости (менш точні) – вимірювану величину визначають за показаннями вимірювального приладу. Застосування в тензометрії. Якщо всі опори, складові мосту, рівні між собою, то, при будь-яких значеннях напруги між точками A і C, струми через всі резистори по закону Ома будуть рівні між собою. Отже, напруга між точками B і D (рис. 4.1) буде дорівнює нулю.

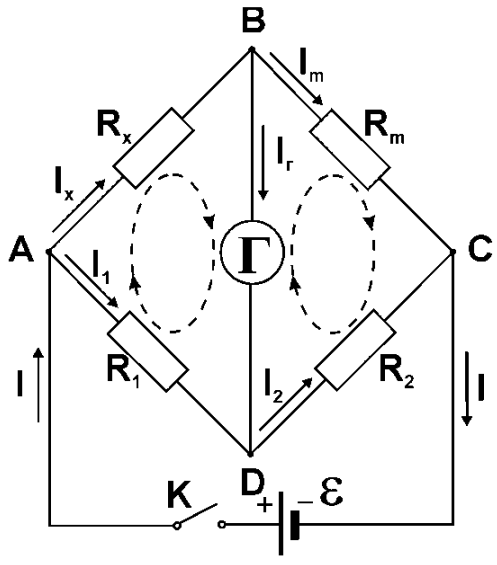


Рисунок 4.1 – Вимірювальний місток Уітстона

Але якщо який-небудь опір буде відрізнятися від трьох інших, то між точками B і D з'явиться різниця потенціалів (напруга). Якщо ж цей опір буде змінювати своє значення під впливом якого зовнішнього фізичного чинника (зміни температури, світлового потоку ззовні і т. д.), то напруга між точками B і D буде змінювати своє значення відповідно до зміни параметрів зовнішнього фізичного фактора. Таким чином, зовнішній фізичний фактор є вхідним сигналом, а напруга між точками B і D – вихідним сигналом. Далі вихідний сигнал можна подавати на аналізуючий пристрій (наприклад, на персональний комп'ютер), де спеціальні програми можуть його аналізувати, розкладати на гармонійні складові тощо.

В якості резистора зі змінним значенням може використовуватися тензодатчик – це такий «резистор», який може змінювати свій опір при зміні його довжини (або іншої деформації). Якщо один кінець тензодатчика закріпити на одній поверхні (назвемо її X), а інший кінець тензодатчика закріпити на іншій поверхні (назвемо її Y), то зі зміною відстані між поверхнями X і Y буде змінюватися довжина тензодатчика, а значить і його опір, і отже буде змінюватися напруга між точками B і D. Таким чином, на аналізуючому пристрої (наприклад, на екрані монітора комп'ютера) можна одержувати криву, з великою точністю відповідну коливань відстані між поверхнями X і Y. Цю криву, і відповідний їй сигнал зручно аналізувати. Такий спосіб вимірювання отримав назвау тензометрії. Чутливість тензометричних вимірювань відстаней між поверхнями X і Y досягає часток мікрометра. Типове застосування тензорезистора – ваги. Коли на терези кладеться або підвішується вантаж, довжина тензодатчика змінюється (він розтягується або стискується в залежності від схеми застосування). При цьому змінюється його опір, і, отже, змінюється напруга між точками B і D. Ця напруга надходить на мікроконтролер, який перераховує його за спеціальними формулами з «вольт у кілограми» і розрахована вага виходить на дисплей.

Опір провідника можна вимірювати різними методами. Одним з найпростіших і найточніших методів є метод визначення опору провідників за допомогою містка постійного струму (Уітстона). Теорія містка постійного струму ґрунтується на правилах Кірхгофа.

Принципова схема містка Уітстона зображена на рисунку 4.1.

Для практичного застосування правил Кірхгофа вибирають, умовний напрям «обходу» контуру на рисунку 4.1 зображено стрілками всередині відповідних контурів.

Складаємо рівняння за першим правилом Кірхгофа (напрями струмів через резистори Rx, R_m, R_1 і R_2 вибирають умовно) для вузлів A, B, C:

$$I = I_x + I_1 \quad (\text{для вузла A}), \tag{4.1}$$

$$I_x = I_m + I_r \quad (\text{для вузла B}), \tag{4.2}$$

$$I = I_m + I_2 \quad (\text{для вузла C}). \tag{4.3}$$

Складаємо рівняння за другим правилом Кірхгофа:

$$I_x R_x + I_г R_г - I_1 R_1 = 0 \quad \text{(для контуру ABDA);} \tag{4.4}$$

$$I_m R_m - I_2 R_2 - I_r R_r = 0 \quad \text{(для контуру BCDB).} \tag{4.5}$$

Якщо змінювати опори R_m, R_1, R_2, то при певних значеннях цих опорів потенціали точок B і D будуть рівними, тоді струм $Ir = 0$. Врахувавши це у формулах (4.1-4.5) отримаємо:

$$I_x = I_m; \qquad I_1 = I_2; \qquad I_1 R_1 = I_x R_x; \qquad I_2 R_2 = I_m R_m.$$

Розв'язавши цю систему, дістанемо:

$$R_x = R_m \frac{R_1}{R_2}. \tag{4.6}$$

Коли ділянкою ADC є однорідна прокалібрована дротина (реохорд), то відношення $\frac{R_1}{R_2}$ можна замінити відношенням довжин відповідних відрізків дроту AD і DC (рис. 4.1). Тоді,

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{\rho \frac{l_1}{S}}{\rho \frac{l_2}{S}} = \frac{l_1}{l_2}, \tag{4.7}$$

де ρ – питомий опір матеріалу, з якого виготовлений реохорд;

S – площа поперечного перерізу дротини (реохорду).

Остаточно невідомий опір:

$$R_x = R_m \frac{l_1}{l_2}. \tag{4.8}$$

Якщо довжина реохорда l, то $l_2 = l - l_1$. Тоді

$$R_x = R_m \frac{l_1}{l - l_1}. \tag{4.9}$$

Оскільки опір реохорду порівняно невеликий, місток Уітстона, описаного типу застосовується, як правило, для вимірювання невеликих опорів (від 1 до 1000 Ом).

Проаналізуємо умову найменшої похибки, зумовленої відліком довжин провідників l_1 і l_2. Відносна похибка вимірювань:

$$\delta R_x = \frac{\Delta R_x}{R_x} = \frac{\Delta R_m}{R} + \frac{\Delta l_1}{l_1} + \frac{\Delta l}{l - l_1} + \frac{\Delta l_1}{l - l_1} = \\ = \frac{\Delta R_m l_1 (l - l_1) + \Delta l_1 R_m (l - l_1) + \Delta l R_m l_1 + \Delta l_1 R_m l_1}{R_m l_1 (l - l_1)}, \tag{4.10}$$

буде мінімальною тоді, коли знаменник виразу (4.9) буде максимальним. Знаходимо умову максимуму для функції $f(l_1) = R_m l_1 (l - l_1)$:

$$\frac{df(l_1)}{dl_1} = R_m l - 2R_m l_1 = 0. \tag{4.11}$$

Звідси $l_1 = \frac{l}{2}$. Таким чином, похибка буде мінімальною, коли при нульовому струмі через гальванометр бігунок Д стоятиме посередині реохорду ($l_1 = l_2$). У цьому випадку вираз (4.9) набуде вигляду $R_x = R_m$.

Порядок виконання роботи

1. Скласти електричне коло відповідно до схеми (рис. 4.2) увімкнувши замість R_x один з запропонованих резисторів.

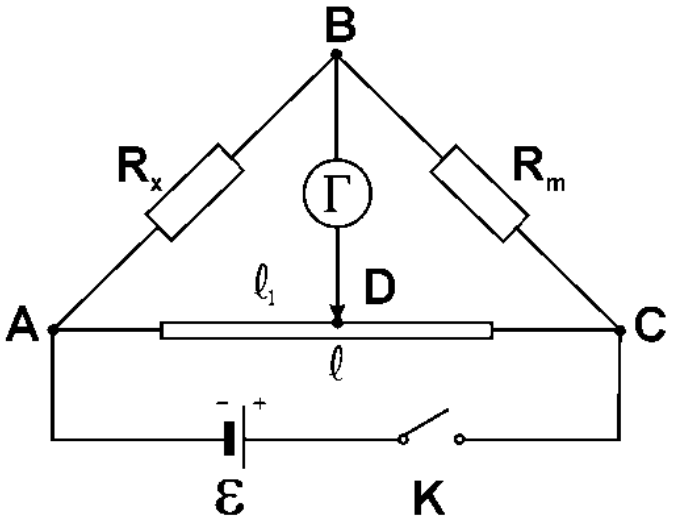


Рисунок 4.2 – Мостова схема

2. Установити показник реохорду D приблизно посередині колової шкали і за допомогою магазину опору підібрати такий опір R_m, щоб при замиканні кола ключем К відхилення стрілки гальванометра було найменшим, а потім, обертаючи показник шкали реохорда, домагаються, щоб стрілка гальванометра встановилась на поділці 0. За шкалою реохорду визначаємо величини l_1 і l_2 ($l_2 = l - l_1$, де l – довжина реохорда). Вимірювання провести

тричі.

3. Результати вимірювань та розрахунків записати у таблицю 4.1.

Таблиця 4.1 – Таблиця розрахункових значень

№ п/п	R_m, Ом	l_1, мм	R_x, Ом	ΔR_x, Ом	δR_x	Результати вимірювань за допомогою промислового містка $(R_x \pm \Delta R_x)$, Ом
1						
2						
3						
Середнє значення						

4. Визначити похибки вимірювань.

5. Виміряти невідомий опір R_x за допомогою промислового містка постійного струму. Отримане значення порівняти з результатами вимірювань, проведених за допомогою містка Уітстона.

Контрольні питання

1. Що являє собою вимірювальний місток Уітсона?
2. Пояснити принцип дії містка постійного струму (Уітстона).
3. Для вимірювання яких величин застосовується вимірювальний місток Уітсона?
4. Сформулювати правила Кірхгофа.
5. Вивести розрахункову формулу для визначення опору провідника містком Уітстона.

Примітка: правила Кірхгофа – два основних закони електричних кіл.

Перший закон Кірхгофа встановлює зв’язок між сумою струмів, спрямованих до вузла електричного з’єднання (додатні струми), і сумою струмів, спрямованих від вузла (від’ємні струми). Згідно з цим законом алгебраїчна сума струмів, що збігаються в будь-якій точці розгалуження провідників, дорівнює нулю.

Другий закон Кірхгофа встановлює зв’язок між сумою електрорушійних сил і сумою падінь напруги на резисторах замкненого контуру електричного кола. Згідно з цим законом алгебраїчна сума миттєвих значень електрорушійної сили всіх джерел напруги у будь-якому контурі електричного кола дорівнює алгебраїчній сумі миттєвих значень падінь напруги на всіх резисторах того самого контуру.

Лабораторна робота №5
ПОВІРКА ТЕХНІЧНИХ АМПЕРМЕТРА ТА ВОЛЬТМЕТРА

Мета роботи: ознайомитися із методикою повірки приладів прямої дії. Перевірити на відповідність даних приладів визначеному класу точності.

Прилади та обладнання: джерело живлення змінного струму із регульованою напругою типу ВС-24М; зразкові прилади (вольтметр та амперметр класу точності 0,2; 0,5; 1,0); робочі прилади класу точності 1,5; 2,5; 4,0; реостат типу РСП-70, з'єднувальні провідники.

Теоретичні відомості

Повірку приладів на відповідність вимогам ДСТу проводять шляхом порівняння показів із зразковими приладами. В даній роботі при виявленні відповідності приладу визначеному класу точності, прилад проходить не всі встановленні ДСТУ випробування.

Прилади класу точності 1,5, 2,5, 4,0 повіряють з показами зразкових приладів класу точності 0,2, 0,5, 0,1 використовуючи відповідні схеми повірки (рис. 5.1 та 5.2) залежно від типу приладу, який підлягає повірці.

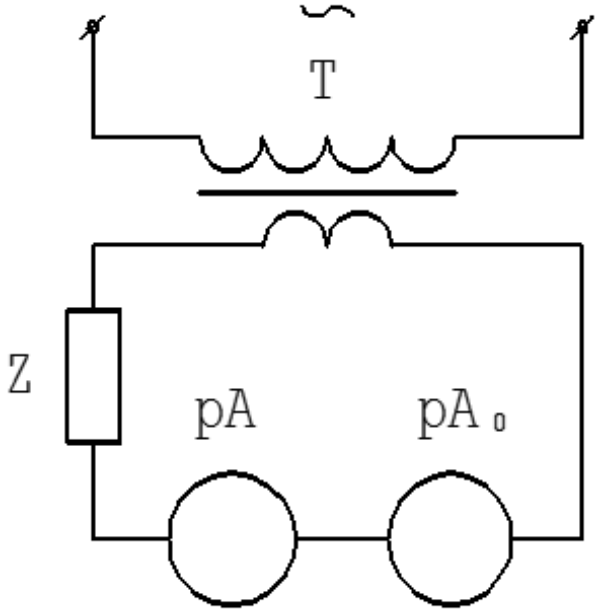


Рисунок 5.1 – Повірка амперметра:
pA – робочий прилад;
pA_0 – зразковий прилад

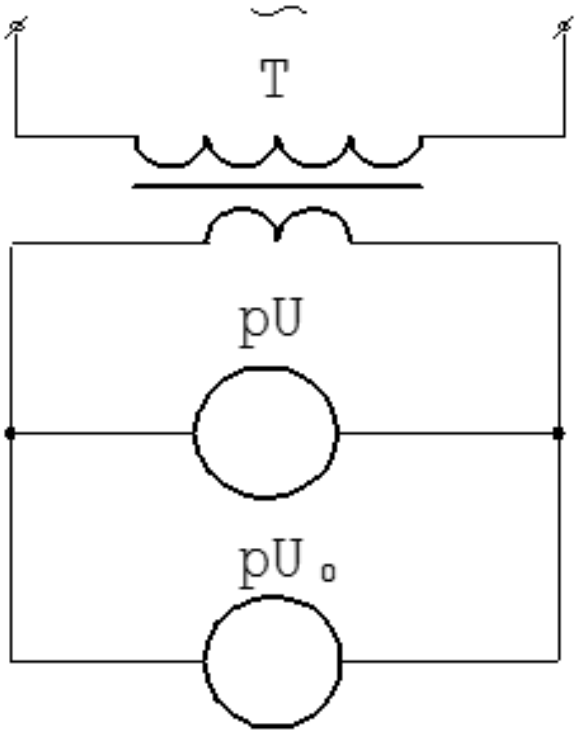


Рисунок 5.2 – Повірка вольтметра:
pV – робочий прилад;
pV_0 – зразковий прилад

Зразковим засобом вимірювальної техніки (засобом вимірювань) називається засіб, який використовується для повірки інших засобів вимірювальної техніки (вимірювань) і затверджений як зразковий.

Зразкові засоби вимірювань – це затверджені в установленому порядку міри, вимірювальні прилади або ж вимірювальні перетворювачі, які призначені для повірки та градуювання за ними інших засобів вимірювальної техніки.

За точністю зразкові засоби поділяються на чотири розряди (вищої, високої, середньої та низької точності), а засоби, які відповідають найвищому ступеню повірчої схеми, називаються вихідними зразковими засобами вимірювань.

Повірочна схема – нормативний документ, що регламентує метрологічну підпорядкованість засобів вимірювальної техніки, які використовуються для передавання розміру одиниці фізичної величини від еталона або вихідного зразкового засобу вимірювальної техніки до інших засобів вимірювальної техніки із встановленням методів та похибок передавання.

Основні вимоги до зразкових засобів вимірювань, які використовуються для повірки робочих засобів вимірювань у промислових умовах.

1. Клас точності зразкового засобу вимірювання повинен бути вищим на декілька класів за засіб, який повіряється.

2. Діапазон вимірювання зразкового засобу вимірювань повинен перевищувати діапазон робочого засобу або ж дорівнювати йому.

3. Зразковий засіб вимірювань повинен мати свідоцтво про своєчасну атестацію із зазначенням дати повірки, класу точності та заводського номера.

Порядок проведення роботи

1. Ознайомитися із приладами, що використовують в роботі. Скласти перелік приладів, записати їх паспортні дані.

2. Визначити межі вимірювань та ціну поділок приладів.

3. Зібрати схеми повірки, доповісти викладачу.

4. Подати напругу на схему для повірки вольтметра або амперметра.

За допомогою однофазного регулятора напруги, плавно переміщувати стрілку від нульового показу до максимального, й навпаки – переконатись у відсутності тертя стрілки.

5. Прогріти прилад номінальним струмом.

6. Виключити напругу і перевірити чи повернулась стрілка на нульову позначку. При необхідності коректором встановити стрілку на нульову позначку.

7. Стрілку повіряємого приладу послідовно встановити на всі поділки шкали, спочатку при зростанні вимірювальної величини, потім при зменшенні. Слідкувати за показами приладу. За зразковим приладом встановити істинне значення струму або напруги.

8. Обчислити абсолютні, приведені похибки та варіацію показів за наступними формулами.

Абсолютна похибка:

$$\Delta = X_{П} - X_{\text{I}}.$$

Приведена похибка у відсотках:

$$\gamma = \frac{\Delta}{X_{N}} \times 100\%.$$

де X_I – покази зразкового приладу;

$X_{П}$ – покази приладу, який повіряється;

$X_{ПН}$ – покази при збільшенні;

$X_{ПС}$ – покази при зменшенні;

X_N – нормуюче значення приладу, який повіряється.

Поправка:

$$-\Delta = X_{П} - X_{I}.$$

Варіація показів у відсотках:

$$\gamma_{ВАР} = \frac{X_{ПН} - X_{ПС}}{X_{N}} \times 100\%.$$

9. Результати показів та обчислень занести до таблиць 5.1 та 5.2:

10.Скласти звіт про виконану роботу.

Таблиця 5.1 – Для амперметра

№	Покази приладів				Абсолютна похибка, Δ		Приведена похибка, γ		Варіація показів $\gamma_{ВАР}$
	Повіряємого, ($X_{П}$)		Зразкового, (X_I)						
	При збільшенні струму, А	При зменшенні струму, А	При збільшенні струму, А	При зменшенні струму, А	При збільшенні струму, А	При зменшенні струму, А	При збільшенні струму, %	При зменшенні струму, %	
1.									
2.									
3.									

Таблиця 5.2 – Для вольтметра

№	Покази приладів				Абсолютна похибка, Δ		Приведена похибка, γ		Варіація показів $\gamma_{ВАР}$
	Повіряємого, ($X_П$)		Зразкового, ($X_І$)						
	При збільшенні напруги, В	При зменшенні напруги, В	При збільшенні напруги, В	При зменшенні напруги, В	При збільшенні напруги, В	При зменшенні напруги, В	При збільшенні напруги, В	При зменшенні напруги, В	
1.									
2.									
3.									

Контрольні питання

1. Що називається класом точності?
2. Які є класи точності ?
3. Вкажіть причини, що приводять до виникнення похибок?
4. Що являє собою зразковий ЗВТ?
5. Що являє собою технічний ЗВТ?
6. Які вимоги висуваються до зразкових ЗВТ?
7. В чому полягає суть методу повірки приладів з використанням зразкових ЗВТ?
8. Що являє собою повірочна схема?
9. Назвіть розряди зразкових ЗВТ.
10. Накресліть схеми повірки амперметрів та вольтметрів.

Лабораторна робота №6
ПОВІРКА АМПЕРМЕТРА МЕТОДОМ НЕПРЯМИХ ВИМІРЮВАНЬ

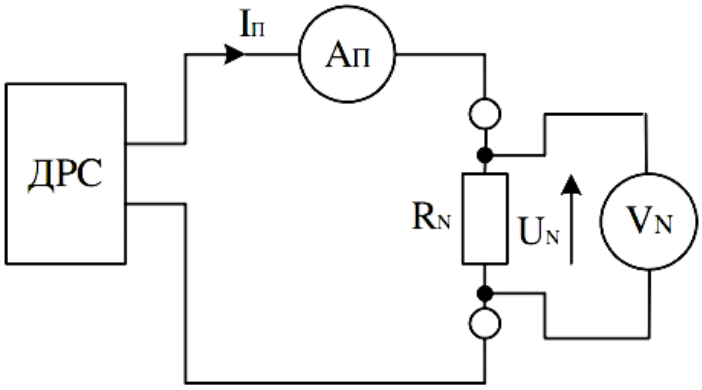
Мета роботи: ознайомитися із методикою повірки приладів прямої дії. Перевірити на відповідність даних приладів визначеному класу точності.

Обладнання та матеріали: джерело живлення змінного струму із регульованою напругою типу ВС-24М; зразкові прилади (вольтметр та амперметр) класу точності 0,2, 0,5, 1,0; робочі прилади класу точності 1,5, 2,5, 4,0; зразкові резистори; з'єднувальні провідники.

Теоретичні відомості

Повірку приладів на відповідність вимогам ДСТУ проводять шляхом порівняння показів із зразковими приладами. В даній роботі при виявленні відповідності приладу визначеному класу точності, прилад проходить не всі встановленні ДСТУ випробування.

Повірку технічних амперметра та вольтметра за відсутності відповідних зразкових приладів можна проводити з використанням непрямих методів вимірювань. Наприклад повірку технічного амперметра можна здійснити за відсутності зразкового амперметра використовуючи відповідні схеми повірки (рис. 6.1).



$$\Delta = I_{П} - \frac{U_N}{R_N}$$

$$\delta_{N_{гр}} = \pm\left(\delta_{V_{N_{гр}}} + \delta_{R_{N_{гр}}}\right)$$

Рисунок 6.1 – Схема повірки амперметра непрямим методом:
A_n – покази робочого приладу; A_N – покази зразкового приладу;
R_N – зразковий резистор

Зразковим засобом вимірювальної техніки (засобом вимірювань) називається засіб, який використовується для повірки інших засобів вимірювальної техніки (вимірювань) і затверджений як зразковий.

Зразкові засоби вимірювань – це затверджені в установленому порядку

міри, вимірювальні прилади або ж вимірювальні перетворювачі, які призначені для повірки та градуювання за ними інших засобів вимірювальної техніки.

За точністю зразкові засоби поділяються на чотири розряди (вищої, високої, середньої та низької точності), а засоби, які відповідають найвищому ступеню повірчої схеми, називаються вихідними зразковими засобами вимірювань.

Повірочна схема – нормативний документ, що регламентує метрологічну підпорядкованість засобів вимірювальної техніки, які використовуються для передавання розміру одиниці фізичної величини від еталона або вихідного зразкового засобу вимірювальної техніки до інших засобів вимірювальної техніки із встановленням методів та похибок передавання.

Основні вимоги до зразкових засобів вимірювань, які використовуються для повірки робочих засобів вимірювань у промислових умовах.

1. Клас точності зразкового засобу вимірювання повинен бути вищим на декілька класів за повіряємий засіб.

2. Діапазон вимірювання зразкового засобу вимірювань повинен перевищувати діапазон робочого засобу або ж дорівнювати йому.

3. Зразковий засіб вимірювань повинен мати свідоцтво про своєчасну атестацію із зазначенням дати повірки, класу точності та заводського номера.

Хід роботи:

1. Ознайомитись із приладами, що використовують в роботі. Скласти перелік приладів, записати їх паспортні дані в таблицю 6.1.

Таблиця 6.1 – Технічні характеристики приладів

№	Назва приладу	Діапазон вимірювань	Клас точності	Положення для використання	Система, до якої належить прилад	Ізоляційна міцність
1						
2						
3	Резистор	2 кОм	0,1	–	–	–

2. Визначити межі вимірювань та ціну поділок приладів (дані записати в таблицю 6.1).

3. Зібрати схеми повірки, доповісти викладачу.

4. Подати напругу на схему для повірки амперметра.

5. Прогріти прилад номінальним струмом.

6. Виключити напругу і перевірити чи повернулась стрілка на нульову позначку. При необхідності коректором встановити стрілку на нульову позначку.

7. Стрілку приладу, який повіряється послідовно встановити на всі

поділки шкали, спочатку при збільшенні вимірювальної величини, потім при зменшенні. Слідкувати за показами приладу. За зразковим приладом встановити істинне значення струму.

8. Обчислити абсолютні, приведені похибки та варіацію показів за формулами.

Абсолютна похибка:

$$\Delta = X_{П} - X_{I} \tag{6.1}$$

Приведена похибка у відсотках:

$$\gamma = \frac{\Delta}{X_{N}} \times 100\% \tag{6.2}$$

де X_I – покази зразкового приладу;

$X_П$ – покази повіряємого приладу;

$X_{ПН}$ – покази при збільшенні;

$X_{ПС}$ – покази при зменшенні;

X_N – нормуюче значення повіряємого приладу.

Поправка:

$$-\Delta = X_{П} - X_{I} \tag{6.3}$$

Варіація показів у відсотках:

$$\gamma_{ВАР} = \frac{X_{ПН} - X_{ПС}}{X_{N}} \times 100\% \tag{6.4}$$

9. Результати показів та обчислень занести до таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Покази приладів

№	Покази приладів				Абсолютна похибка, Δ		Приведена похибка, γ		Варіація показів $\gamma_{ВАР}$
	Повіряємого, ($X_П$)		Зразкового, (X_I)						
	При збільшенні струму, А	При зменшенні струму, А	При збільшенні напруги, В	При зменшенні напруги, В	При збільшенні струму, А	При зменшенні струму, А	При збільшенні струму, %	При зменшенні струму, %	
1.									
2.									
3.									
4.									
5.									

10.Скласти звіт про виконану роботу.

Контрольні питання

1. Що називається класом точності? Які способи вираження класу точності ЗВТ Вам відомі?

2. Які є класи точності ЗВТ? Які з них відповідають технічним та зразковим ЗВТ?

3. Що являє собою зразковий та технічний ЗВТ? В яких випадках використовуються ті та інші ЗВТ?

4. Які вимоги висуваються до зразкових ЗВТ?

5. В чому полягає суть методу повірки приладів з використанням зразкових ЗВТ?

6. Що являє собою повірочна схема?

7. Накресліть схеми повірки амперметрів та вольтметрів з використанням прямих методів вимірювань.

8. Накресліть схеми повірки амперметрів та вольтметрів з використанням непрямих методів вимірювань.

9. Для яких класів точності ЗВТ перевіряють похибку та варіацію показів кожної їх оцифрованої позначки шкали а для перевіряють похибку та варіацію показів на 5-ти рівномірно розподілених позначках шкали?

10. Які операції проводяться на підготовчому етапі повірки ЗВТ?

11. Які операції проводяться під час повірки ЗВТ?

12. Що таке варіація показів ЗВТ та як вона визначається?

13. Наведіть залежність, яка відображає взаємозв’язок між класами точності ЗВТ та їх межами вимірювань, що дає змогу визначити необхідний клас точності зразкового ЗВТ.

14. Яким чином на основі варіації показів ЗВТ визначається метрологічна справність ЗВТ?

15. Що являє собою метрологічно справний ЗВТ?

Лабораторна робота №7
ПОВІРКА ЛІЧИЛЬНИКА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Мета роботи: засвоїти порядок повірки лічильника електричної енергії.

Прилади та обладнання: ватметр 1 кВт, кл. 0,5; вольтметр 300 В, кл. 0,5; амперметр 5А, кл. 0,5; навантаження 1 група по 5 ламп; лабораторний автотрансформатор; реостат (потенціометр) більше 500 Ом, 2 А; перемикач на 1 напрямок і 2 положення.

Теоретичні відомості

В основу класифікації застосовуваних методів повірки покладено ознаки, відповідно до яких засоби вимірювання можуть бути повірені:

– без використання компаратора (приладу порівняння), тобто безпосереднім звіренням повіреного засобу вимірювання з зразковим засобом вимірювань того самого виду;

– звіренням повіреного засобу вимірювань з зразковим засобом вимірювань того самого виду за допомогою компаратора;

– прямим вимірюванням повіреним вимірювальним приладом величини, відтвореної зразковою мірою;

– прямим вимірюванням зразковим вимірювальним приладом величини, відтвореної засобом, який підлягає повірці;

– непрямим вимірюванням величини, що відтворюється мірою або вимірюється приладом, що піддають повірці.

Метод безпосереднього звірення двох засобів вимірювань без застосування компаратора або яких-небудь інших проміжних приладів. Цей метод широко застосовується при повірці різних засобів вимірювань. Наприклад, в області електричних й магнітних вимірювань цей метод застосовують при визначенні метрологічних характеристик вимірювальних приладів безпосередньої оцінки призначених для вимірювання струму, напруги, частоти і т.д.; в області вимірювання механічних величин, зокрема, тиску. Основою методу служить одночасне вимірювання одного і того ж значення фізичних величин X аналогічним за родом вимірюваної величини повіреним і зразковим приладами. При повірці даним методом встановлюють необхідне значення X, потім порівнюють показання повіреного приладу X з показаннями X_0 зразкового і визначають їх різницю. Різниця дорівнює абсолютній похибці повіреного приладу, яку приводять до нормувального значення X_n для отримання приведеної похибки γ яка визначається залежністю (7.1):

$$\gamma = \frac{\Delta}{X_n} \cdot 100\% \qquad (7.1)$$

Метод непрямих вимірювань величини. При реалізації цього методу про дійсний розмір міри та вимірюваної повіреним приладом величини судять на підставі прямих вимірювань декількох величин, пов'язаних з шуканою величиною, певною залежністю. Метод застосовується тоді, коли дійсні значення величин, відтворені повіреним засобом вимірювань, неможливо визначити прямим вимірюванням або коли непрямі вимірювання більш прості або більш точні в порівнянні з прямими. На підставі прямих вимірювань і за їх даними виконують розрахунок. Розрахунком, заснованим на певних залежностях між шуканою величиною і результатами прямих вимірювань, визначають значення величини, тобто знаходять результат непрямого вимірювання. Наприклад, визначають систематичну складову похибки електричного лічильника активної енергії за допомогою ватметра і секундоміра. Похибка повіреного лічильника (%) знаходять за формулою 7.2:

$$\sigma = \frac{W_n - W_0}{W_0} \cdot 100\%, \qquad (7.2)$$

де W_o – дійсне значення електричної енергії за показами зразкових приладів;

W_n – значення електричної енергії за показами лічильника, який перевіряється.

Для визначення значення W_n необхідно знати постійну лічильника C, яка зазвичай не вказується. Але на лічильнику зазначено число обертів диска А, відповідне енергії 1 кВт.год Постійна C = 3600*1000/А [Вт.с/об], а виміряна повіреним лічильником енергія рівна $W_n=CN$. Якщо за показаннями зразкового ватметра встановити дійсне значення потужності і підтримувати її незмінною протягом часу, обумовленого по зразковому секундоміром, то дійсне значення енергії W_o можна визначити розрахунком за формулою $W_o=P_o t_o$ У практиці повірки для розрахунку похибки частіше застосовують формулу (7.3):

$$\sigma = \frac{t_н - t_0}{t_0} \cdot 100\%, \qquad (7.3)$$

де $t_н$ – нормальний час повіреного лічильника, тобто час, за який диск правильно працюючого лічильника повинен зробити N обертів при заданій потужності P;

P – покази (сума показів) зразкових ватметрів, Вт.

Число обертів N вибирають таким, щоб при даній потужності P на показах секундоміра t було не менше 50 с, а відносна похибка вимірювання часу не перевищувала допустимої:

$$t_н = \frac{C \cdot N}{P} = \frac{360 \cdot 1000 \cdot N}{A \cdot P}. \qquad (7.4)$$

При повірці лічильника методом непрямого вимірювання енергії зразковим ватметром і секундоміром сумарна похибка зразкових засобів вимірювань складається з похибок зразкових ватметра і трансформатора струму, похибки секундоміра і суб'єктивних похибок, викликаних помилками повірника при пуску і зупинці секундоміра. Остання досягає 0,3 с, тобто при часі вимірювання $t = 50$ с складає 0,6 %. Отже, в порівнянні з складовими похибки: ватметра 0,2-0,3 %; трансформатора струму 0,1 %; секундоміра 0,1 ... 0,2%, помилка повірника суттєво впливає на точність показів, а тому ГОСТ 8.259–77 передбачає, що при кожному навантаженні повинно бути виконано два спостереження. Це роблять двічі, відраховуючи число оборотів, вимірюючи час двома секундомірами. За дійсне значення часу для даного навантаження приймають середнє арифметичне двох спостережень. Якщо значення похибки лічильника, визначене за результатами двох спостережень, близько до гранично допустимої, то проводять додатково два спостереження при даному навантаженні і обчислюють середнє арифметичне чотирьох спостережень, яке і є остаточним. Таким чином, при виконанні повірки методом непрямих вимірювань величин, необхідно враховувати той факт, що кінцевий результат непрямого вимірювання завжди спотворений складовими похибками прямих вимірювань. Реалізація методів повірки здійснюється комплектною або поелементною повіркою.

Порядок проведення роботи

1. Скласти схему, показану на рисунку 7.1. Ця схема дозволяє виконати повірку лічильника електричної енергії.

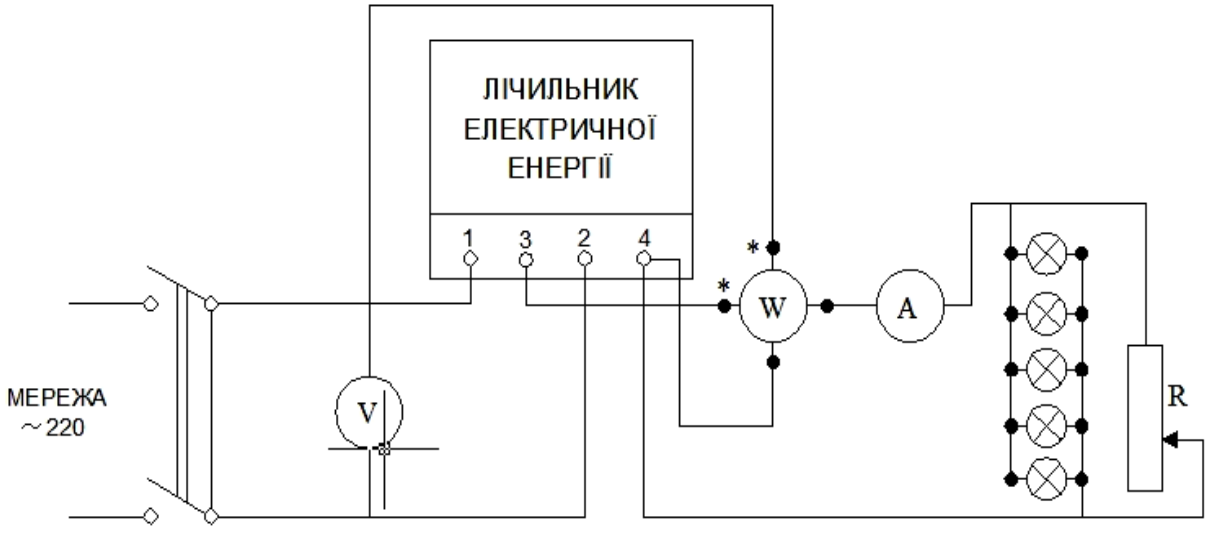


Рисунок 7.1 – Схема повірки однофазного лічильника електроенергії НІК 2102: 1 – фаза мережі; 2 – нуль мережі; 3 та 4 – фаза та нуль навантаження

2. Після перевірки і вмикання схеми керівником виконати повірку лічильника електричної енергії використовуючи формули, які наведені в теоретичних відомостях.

3. Зробити висновок про придатність лічильника.

Контрольні питання

1. Поясніть зміст виразу метрологічна справність засобу вимірювання?

2. Які прилади необхідні для повірки лічильника електричної енергії?

3. За якою похибкою виражається клас точності лічильника електричної енергії?

4. Наведіть вирази для визначення класу точності лічильника електричної енергії.

Лабораторна робота №8
ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ КОНТАКТНИМ МЕТОДОМ

Мета роботи: ознайомитися з методами та технічними засобами, які використовуються при вимірюванні температури контактним методом, а також з будовою і принципом дії термометра ЭТП–М і навчитись практично з ним працювати.

Прилади та обладнання: термометр ЭТП–М; набір насадок для вимірювання температури; об'єкти вимірювань температури.

Теоретичні відомості

1. Призначення термометра ЭТП–М:

1.1. Термометр ЭТП–М призначений для вимірювання температури металевих поверхонь, неагресивних рідин і газів.

1.2. Прилад за стійкістю і впливом температури та вологості оточуючого повітря належить до приладів II групи ДСП ГОСТ 12997–87.

2. Основні технічні характеристики:

Діапазон вимірювань, °С	–30 – +120
Основна похибка, °С	1,25
Ціна поділки, °С	1,0
Час повного вимірювання, с	не більше 180
Живлення постійним струмом, напругою, В	6,0
Габаритні розміри, мм	114х204х120
Маса, кг	1,9

Межі вимірювання термометра ЭТП–М і номери контактів перемикача В3 представлено в таблиці 8.1.

Таблиця 8.1 – Межі вимірювання термометр ЭТП–М і номери контактів перемикача В3

Межі вимірювань, °С	Номери контактів перемикача В3											
	1а	2а	3а	4а	5б	6б	7б	8б	9в	10в	11в	12в
Від –30 до +20	X	X			X	X			X	X		
Від +20 до +70	X		X		X		X		X		X	
Від +70 до +120	X			X	X			X	X			X

3. Принцип дії та будова:

3.1. Термометр ЭТП–М працює за принципом одинарного неврівноваженого моста постійного струму. Принципова електрична схема представлена на рисунку 8.1.

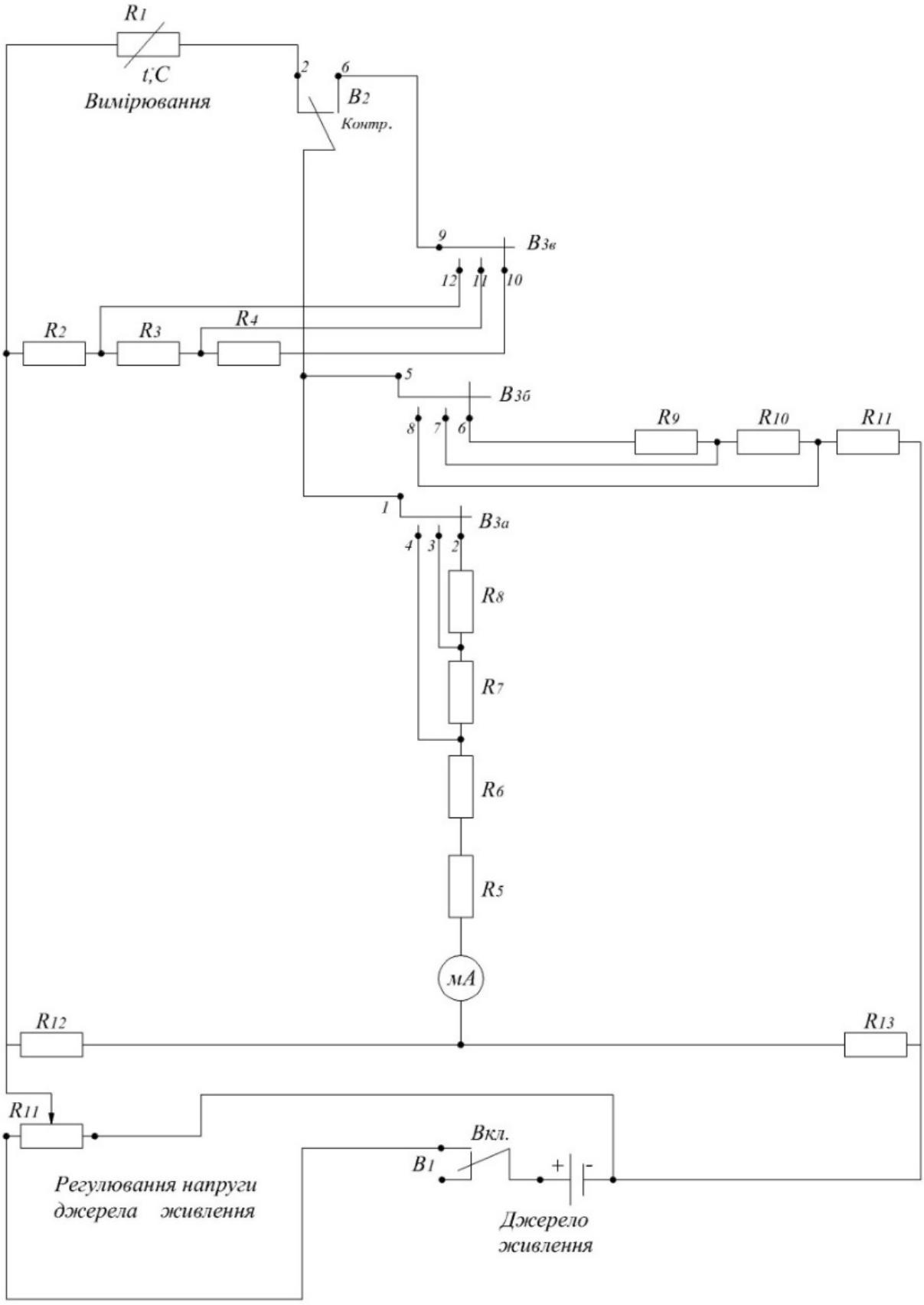


Рисунок 8.1 – Схема електрична принципова приладу ЭТП –М

Резистори R12, R13 – це постійні плечі моста. Перемикач В3 здійснює перехід з однієї межі вимірювання температури на іншу шляхом вмикання в інші плечі і діагональ мостової схеми відповідних резисторів.

На межі «20» вмикаються резистори R4, R9, R8, на межі «70» вмикаються R3, R10, R7, на межі «120» вмикаються резистори R2, R11, R6. Тумблером В2 в плече мостової схеми при контролі підключається один із резисторів R2, R3, R4 в залежності від вибраної межі, а при вимірюванні підключається терморезистор R1, опір якого залежить від вимірювальної температури. Регулювання напруги здійснюється змінним резистором R14.

При розбалансовуванні мостової схеми, викликаної зміною опору терморезистора R1 вимірювальної температури, в діагоналі моста виникає струм, який фіксується вказівником на градусній шкалі мікроамперметра в мкА.

3.2. Термометр ЭТП–М виконаний в металевому прямокутному корпусі. На внутрішній поверхні відкидної кришки, яка служить для захисту лицевої

панелі від механічних пошкоджень, розміщені первинний перетворювач і насадки.

Органи керування (рис. 8.2) розміщені на лицевій панелі, встановленій у корпус, у нижній частині якого передбачена касета для розміщення елементів живлення. Для переносу термометр оснащений пасом.

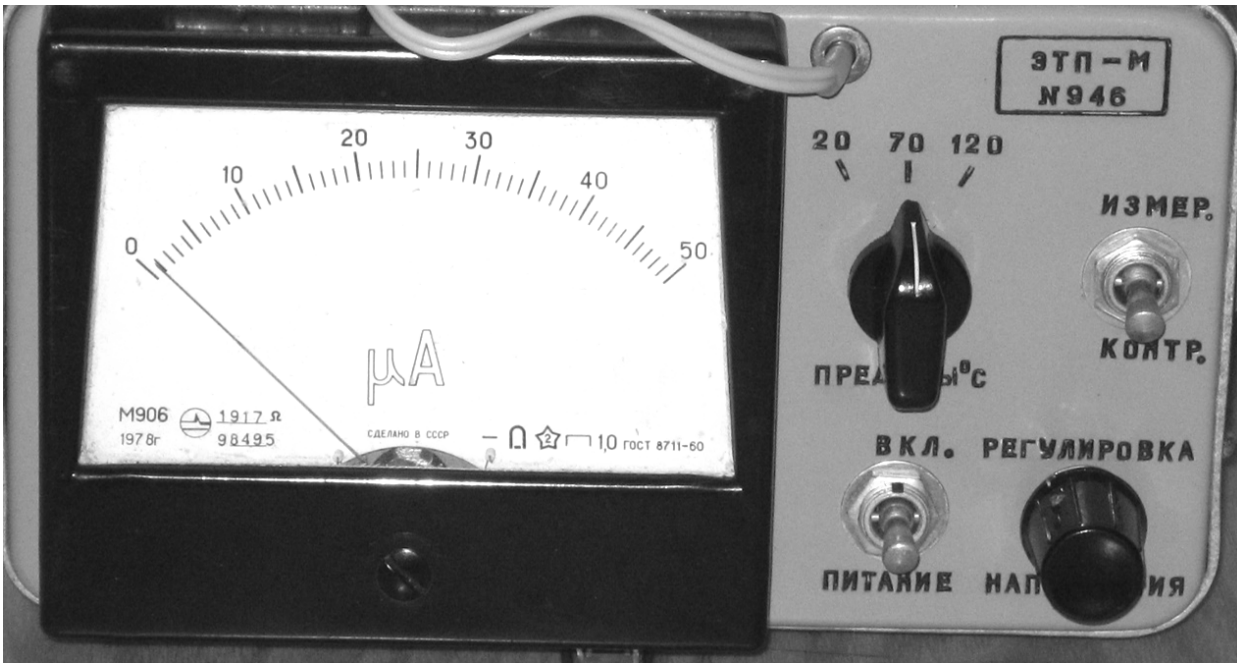


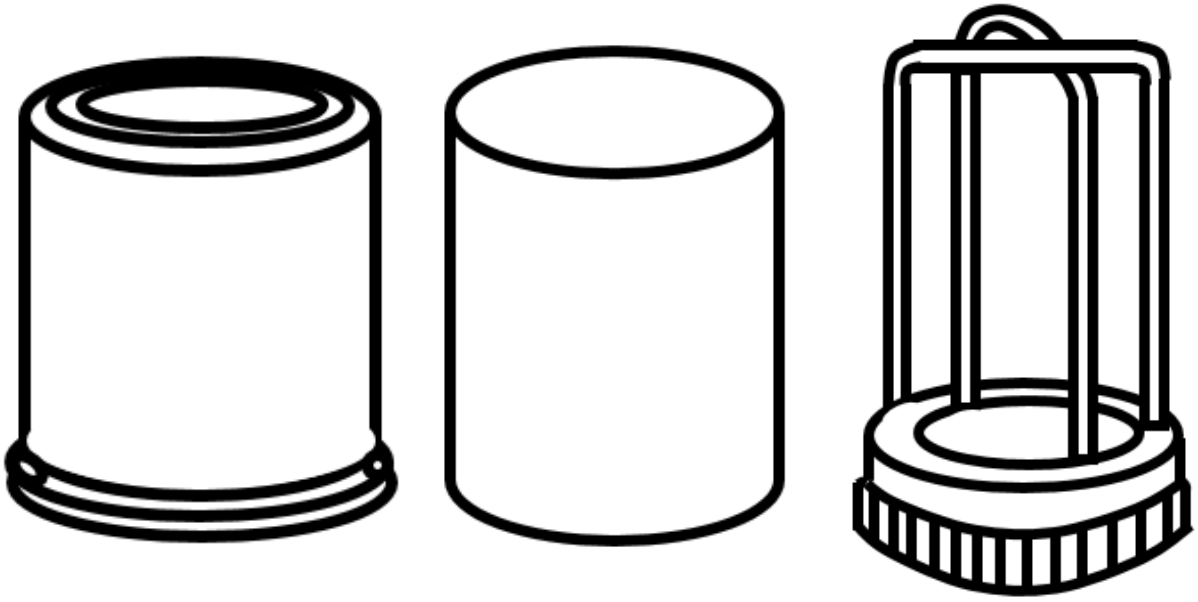
Рисунок 8.2 – Панель приладу

4. Порядок роботи.

4.1. Приступаючи до роботи з приладом необхідно вивчити інструкцію.

4.2. Підготовте прилад до експлуатації – встановіть на первинний перетворювач відповідну насадку (рис. 8.3) і розмістіть її в середовище, температуру якого потрібно виміряти (місця для вимірювання температури

поверхні вибирайте з радіусом заокруглення не менше 40 мм; занурення первинного перетворювача з насадкою для вимірювання температури рідини виконуйте на глибині не більше 80 мм; перед вимірюванням температури поверхні на диск первинного перетворювача нанесіть краплю гліцерину чи чистого нейтрального машинного масла).



а) б) в)

Рисунок 8.3 – Типи насадок: а) насадка для вимірювання температури металевих поверхонь; б) насадка для вимірювання температури рідин; в) насадка для вимірювання температури газів

4.3. Поверніть ручку «РЕГУЛИРОВКА НАПРЯЖЕНИЯ» проти годинникової стрілки до упору.

4.4. Встановіть перемикач «ПРЕДЕЛЫ ^{o}C» на потрібну межу вимірювання.

4.5. Встановіть тумблер в положення «КОНТР».

4.6. Встановіть тумблер «ПИТАНИЕ» в положення «ВКЛ».

4.7. Покажчик термометра, ручкою «РЕГУЛИРОВКА НАПРЯЖЕНИЯ», встановіть на кінцеву позначку температури відповідної межі.

4.8. Встановіть тумблер в положення «ИЗМЕР». Відхід покажчика термометра за діапазон показів шкали вказує на неправильно вибрану межу вимірювання.

4.9. За шкалою термометра за градуювальним графіком (рис.8.4) визначте значення вимірювальної температури.

4.10. Після закінчення вимірювань виключити термометр тумблером «ПИТАНИЕ».

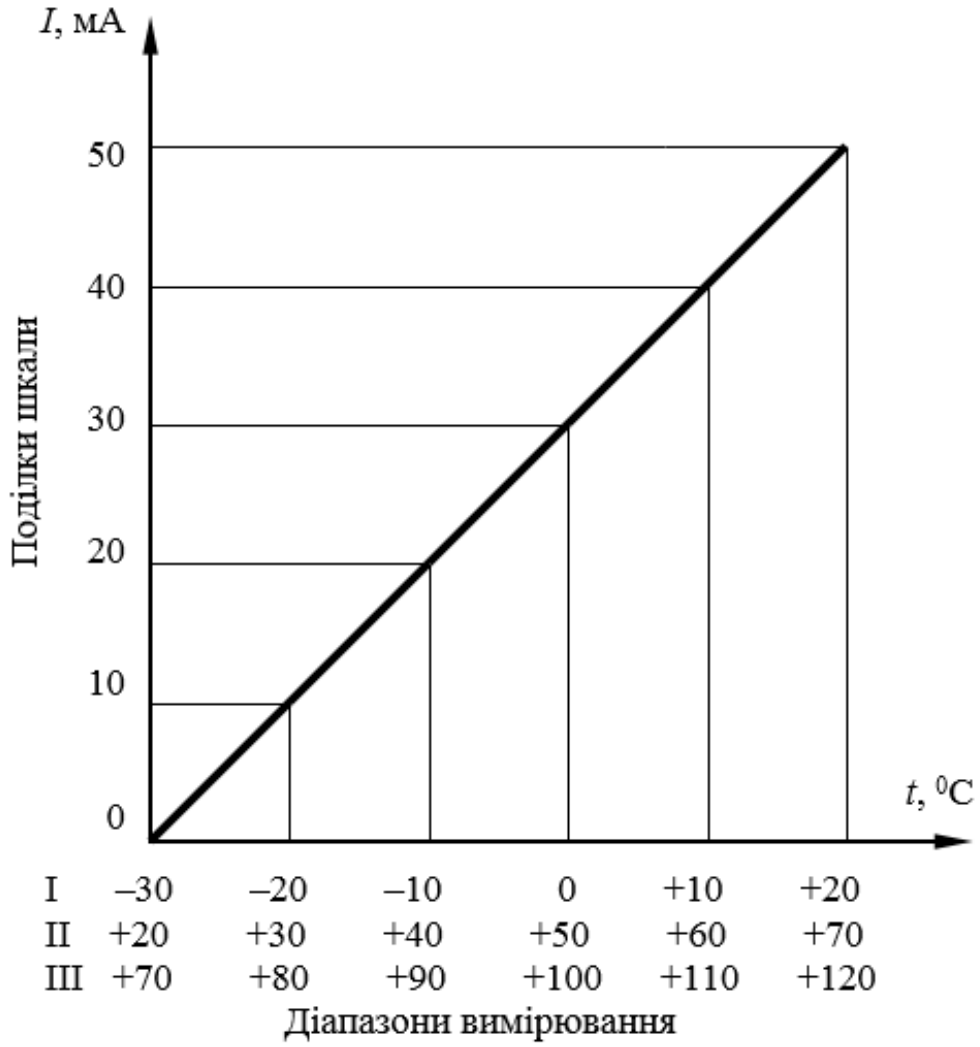


Рисунок 8.4– Градуювальний графік

Обробка результатів досліджень

Для отримання при лабораторних вимірюваннях найбільш достовірних результатів відлік показів приладу проводиться за одних і тих самих умов за можливістю певне число разів і із знайденого ряду значень вимірювальної величини після виключення систематичних і грубих похибок визначається більш точне середнє арифметичне її значення $t_{ср}$, яке є кінцевим результатом вимірювання. Ця величина знаходиться за формулою (8.1):

$$t_{ср} = \frac{t_1 + t_2 + ... + t_n}{n}, \qquad (8.1)$$

де $t_1, t_2, \ ... \ t_n$ – ряд значень вимірювальної величини;

n – число відрахувань показів приладу.

Результати вимірювань записати у таблицю 8.2.

Таблиця 8.2 – Результати вимірювань

№ досліду	Діапазон	Кількість поділок шкали	Температура t, °С	Відхилення e_i
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
6.				
7.				
8.				

Значення $t_1, t_2, \ldots t_n$ включають в себе не тільки випадкові похибки, вплив яких на ступінь відхилення $t_{ср}$ від дійсного значення t тим менше, чим більше число окремих вимірювань n є в ряду, так як згідно теорії похибок при великому числі вимірювань випадкові похибки, які рівні за абсолютною величиною, але різні за значенням, зустрічаються однаково часто і тому взаємознищуються.

Відхилення e окремих значень вимірювальної величини від $t_{ср}$ знаходиться за формулами із виразів (8.2):

$$\left.\begin{aligned} e_1 &= t_1 - t_{ср}; \\ e_2 &= t_2 - t_{ср}; \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots \\ e_n &= t_n - t_{ср}. \end{aligned}\right\} \qquad (8.2)$$

При правильному визначенні $t_{ср}$ алгебраїчна сума відхилень e повинна дорівнювати нулю, тобто

$$\sum e = 0. \qquad (8.3)$$

У практичних умовах зазвичай оцінюють точність кінцевого результату вимірювання $t_{ср}$ шляхом визначення абсолютних значень середньої квадратичної похибки σ, ймовірної похибки ρ і найбільш можливої (граничної) похибки λ за формулами (8.4-8.6):

$$\sigma = k\sqrt{\frac{e_1^2 + e_2^2 + \ldots + e_n^2}{n(n-1)}}; \qquad (8.4)$$

$$\rho = v\sqrt{\frac{e_1^2 + e_2^2 + \ldots + e_n^2}{n(n-1)}}; \qquad (8.5)$$

$$\lambda = m\sqrt{\frac{e_1^2 + e_2^2 + ... + e_n^2}{n(n-1)}}. \qquad (8.6)$$

Значення коефіцієнтів у формулах (8.4) – (8.6) вибираються залежно від величини (n–1) за таблицею 8.3 (складена за даними В. І. Романовського).

Таблиця 8.3 – Значення коефіцієнтів похибок вимірювання

n–1	v	k	m	n–1	v	k	m
1	1,000	1,84	400,0	11	0,697	1,05	3,9
2	0,816	1,28	22,0	12	0,695	1,04	3,8
3	0,765	1,20	9,0	13	0,694	1,04	3,7
4	0,741	1,14	6,6	14	0,692	1,04	3,6
5	0,727	1,11	5,7	15	0,691	1,03	3,6
6	0,718	1,09	5,1	16	0,690	1,03	3,5
7	0,711	1,08	4,7	17	0,689	1,03	3,5
8	0,706	1,07	4,4	18	0,688	1,03	3,5
9	0,703	1,06	4,2	19	0,688	1,02	3,4
10	0,700	1,05	4,0	20	0,687	1,02	3,4

Результат вимірювання:

$$t = t_{ср} \pm \rho .$$

Контрольні питання

1. Призначення приладу ЭТП – М.
2. Технічні характеристики термометра ЭТП – М.
3. Принцип дії термометра ЭТП – М.
4. Які є типи насадок для вимірювання температури?
5. Для чого призначений градуювальний графік?

Лабораторна робота №9
ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕРМОПАРИ

Мета роботи: ознайомитися з методом вимірювання температури за допомогою термопари. Вивчити будову термопари і термоелектричного мілівольтметра.

Прилади та обладнання: термопара типу хромель-алюмель, пірометричний мілівольтметр, джерело тепла.

Теоретичні відомості

Дія термоелектричних пірометрів базується на властивості металів і сплавів створювати термоелектрорушійну силу ЕРС, яка однозначно залежить від температури місця з'єднання (спаю) двох різнорідних провідників, що утворюють так звану термопару чи первинний прилад пірометра. Вторинним приладом, який вимірює термоелектрорушійну силу, що розвиває термопара, є чутливий електровимірювальний прилад. Діапазон вимірюваних термоелектричними пірометрами температур лежить у межах – 50-1800 ^{o}C.

Термоелектричні пірометри широко використовуються в енергетичних установках для вимірювання температури підігрітої пари, димових газів, металу труб, котлів та інших частин обладнання тощо. Позитивними властивостями їх є велика межа вимірювання, висока чутливість, незначна інерційність, відсутність стороннього джерела струму і легкість здійснення дистанційної передачі показів завдяки електричному принципу дії.

Термоелектричні пірометри виготовляють різних класів точності та бувають показуючими і самопишучими. Останні частіше всього є багатоточковими приладами. Явище термоелектрики, яке широко застосовують для вимірювання температури і ряду інших неелектричних величин, полягає у тому, що у замкнутому контурі, який складається із двох різнорідних провідників, безперервно проходить електричний струм, якщо місця спаювання цих провідників мають різну температуру.

Сутність виникнення ЕРС – концентрація в міжмолекулярному просторі провідника вільних електронів, які знаходяться в одиниці об'єму, залежить від роду провідника та його температури.

Схема термопари з вимірювальним приладом показана на рисунку 9.1. Місце з'єднання двох різнорідних термоелектродів 1, яке розміщується в зоні вимірювання, називається робочим спаєм, а місця з'єднання термоелектродів з провідниками – вільними спаями 2 та 3. Як вимірювальний прилад 4 може використовуватися термоелектричний мілівольтметр або потенціометр.

Для отримання порівняно високих значень ЕРС вибір термоелектродів при виготовленні термопар виконується таким чином, щоб у парі з платиною один із них створював позитивну, а інший негативну ЕРС.

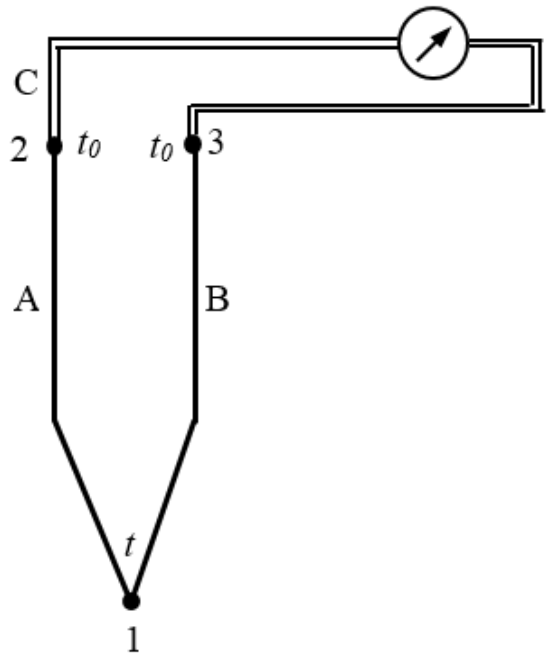


Рисунок 9.1 – Схема термопари з вимірювальним приладом

Термопари, які отримали практичне застосування, розділяють в основному на дві групи: із дорогоцінних і недорогоцінних металів чи сплавів. У таблиці 9.1 вказано найбільш поширені типи термопар, межі вимірювань ними температури і середнє значення ЕРС, яке розвивається при різниці температур між робочим і вільними кінцями 100 °С. При назві термопар першим зазвичай вказується позитивний термоелектрод.

Таблиця 9.1 – Поширені типи термопар

Назва	Тип	Градуювання	Границі вимірювання температур при тривалому застосуванні, ^{0}С		Верхня границя вимірювання температур при короткочасному застосуванні, ^{0}С	Середня ЕРС на 100^{0}С різниці температур, мВ
			нижній	верхній		
Платинородій-платинова (10% родія)	ТПП	ПП-1	–20	1300	1600	1,04
Платинородієва (30 та 6% радія)	ТПР	ПР-30/6	300	1600	1800	0,90
Хромель-алюмелева	ТХА	ХА	–50	1000	1300	4,03
Хромель-копелева	ТХК	ХК	–50	600	800	8,03

Термопари типів ТПП, ТПР, ТХА і ТХК включені у державний стандарт. Для достатнього надійного забезпечення однорідності складу термоелектродів вони мають стандартне градуювання (рис. 9.2).

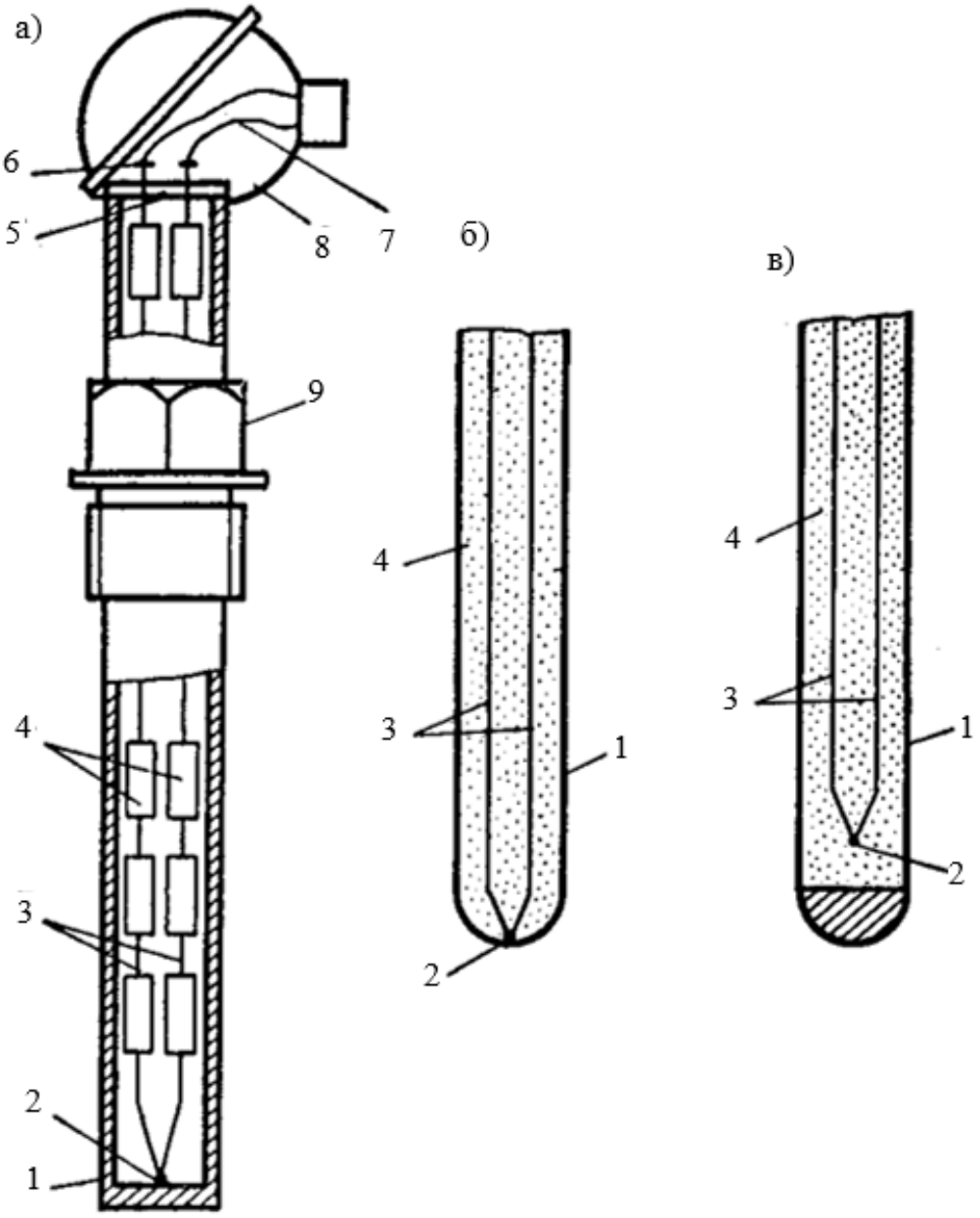


Рисунок 9.2 – Конструкція термоелектричних термометрів

Термопари із дорогоцінних металів і сплавів: платинородій-платинова типу ТПП і платинородієва типу ТПР використовують головним чином для вимірювання високої температури (вище 1000 °С), так як вони володіють великою термостійкістю.

Термопари із недорогоцінних металів і сплавів: хромель-алюмелева типу ТХА і хромель-копелева типу ТХК – використовують для вимірювання порівняно невисокої температури (до 1000 °С). Ці термопари розвивають значні ЕРС, що є великою їх перевагою.

На рисунку 9.2 показана будова стандартного термоелектричного термометра. В жорсткій захисній гільзі 1 розміщені термоелектроди 3 з надітими на них ізоляційними бусами 4. Спай 2 торкається дна захисної гільзи чи може бути ізольований від нього за допомогою керамічного наконечника. До термоелектродів в головці 8 гвинтами 6 на розетці 5 під'єднуються подовжуючі дроти 7. Захисна гільза в складенні вводиться в об'єкт вимірювання і закріплюється на ньому за допомогою штуцера 9. Для забезпечення надійного контакту спай 2 виготовляють зварюванням, рідше паянням чи скручуванням (для високотемпературних термопар). Захисну гільзу 1 виконують у вигляді циліндричної чи конічної трубки із газонепроникних матеріалів діаметром приблизно 15-25 мм і довжиною в залежності від потреби об'єкта вимірювання від 100 до 2500-3500 мм. Матеріалом для захисної гільзи зазвичай є різні сталі, для більш високих температур використовуються гільзи із тугоплавких з'єднань, а також кварц і фарфор. Діаметр термоелектродів складає 2-3 мм, крім термоелектродів платинової групи, діаметр яких 0,5 мм, що зв'язано з їх високою вартістю. Стандартні термопари випускають одинарними, подвійними і поверхневими – для вимірювання температури стінок об'єкта, коли доступ в середину об'єкта затруднений чи неможливий.

В даний час широке застосування знаходять термоелектричні перетворювачі кабельного типу (рис. 9.2 б, в).

В тонкостінній оболонці 1 розміщені термоелектроди 3, які ізольовані один від одного, а також від стінки оболонки термостійким керамічним порошком 4. Робочий спай 2 може мати контакт з оболонкою (рис. 9.2, б) чи ізольований від неї (рис. 9.2, в). Оболонку виконують із високолегованої нержавіючої сталі із зовнішнім діаметром 0,5-6 мм довжиною 10-30 м. Завдяки вказаним розмірам кабельні термоелектричні термометри є дуже гнучкими при достатній механічній міцності. Такі термоелектричні перетворювачі можна використовувати в інтервалі температур від – 50 до 300 ^{o}C при тиску 40 МПа. Вибір відповідних конструкцій термопар здійснюється в залежності від конкретних умов вимірювання.

В якості засобів вимірювань, які працюють в комплекті з термоелектричними перетворювачами, використовують мілівольтметри магнітоелектричної системи, потенціометри і нормуючі перетворювачі.

Пірометричний мілівольтметр є чутливим приладом магнітоелектричної системи. Робота його заснована на взаємодії магнітного поля, що утворюється провідником, по якому проходить електричний струм, створений термопарою, з магнітним полем постійного магніту, який знаходиться у приладі.

Будова пірометричного мілівольтметра показана на рисунку 9.3. Підковоподібний постійний магніт 1 із високолегованої сталі (хромистої, нікель-алюмінієвої чи кобальтової) оснащений полюсними наконечниками 2 з циліндричною виточкою, між якими нерухомо закріплене циліндричне осердя 3. В кільцевому повітряному зазорі шириною близько 2 мм, утвореному плоскими наконечниками і осердям, які виготовлені із м'якої литої сталі,

розміщені дві бокові (активні) сторони прямокутної рухомої рамки 4, яка складається із 100-300 послідовних витків ізольованого мідного чи алюмінієвого дроту діаметром 0,07-0,08 мм. Рамка, яка жорстко скріплена зі стрілкою 5, утворює рухому частину приладу, що може повертатися навколо осі осердя завдяки вставленим у рамку з торцевих сторін двох стальних кернів 6, які упираються на закріплені у стійці 7 агатові підп'ятники 8. Біля опорних кернів діаметром близько 1 мм з кутом заточування 60^0 розміщені дві плоскі спіральні пружини 9 із фосфористої бронзи, внутрішні кінці яких закріплені до рамки, а зовнішні біля верхньої пружини – до осі важеля 10 і нижньої до штифта нерухомої стійки. З цими ж пружинами з'єднані обидва кінці обмотки рамки і два затискачі 11, які служать для включення приладу у ланцюг термопари. Послідовно з рамкою включений додатковий манганіновий резистор (котушка) 12. У вільному простірі між полюсними наконечниками розміщені немагнінові вкладиші 13. Стрілка приладу, яка виконана із тонкої алюмінієвої трубки, зрівноважується двома пересувними противагами 14, які знаходяться на двох балансувальних вусиках з нарізкою. Завдяки противагам центр рухомої частини розміщується на осі осердя (рамки).

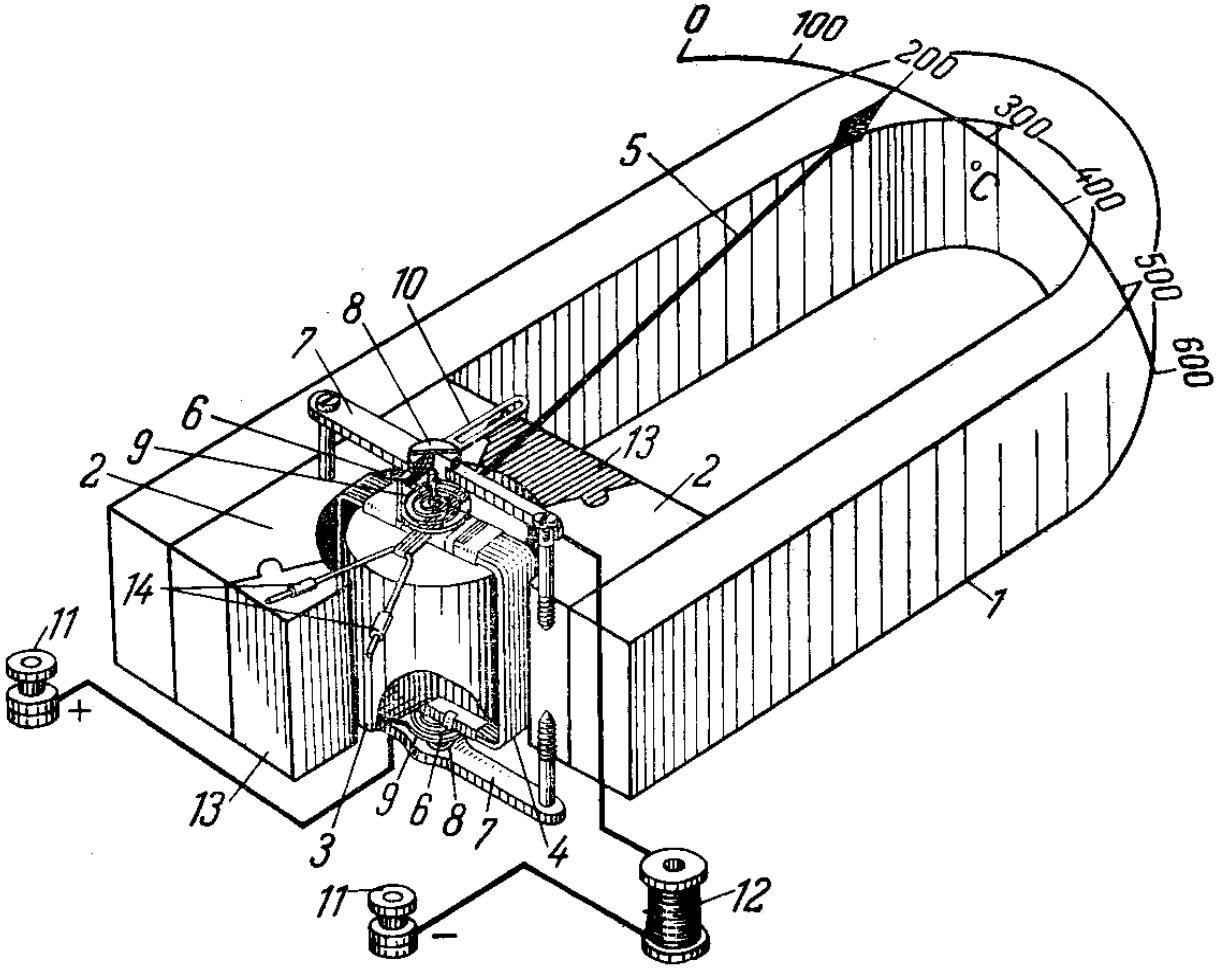


Рисунок 9.3 – Будова пірометричного мілівольтметра

При вмиканні мілівольтметра в ланцюг термопари через рамку, резистор і спіральні пружини проходить струм, що викликає появу обертового моменту, який призводить до повороту рамки і стрілки навколо осердя. Одночасно із переміщенням рамки відбувається закручування спіральних пружинок, які створюють протидіючий момент, величина якого із мірою збільшення кута повороту рамки поступово зростає і приводить рухому частину у стан рівноваги. Таким чином, кут повороту рамки (стрілки) приладу, рівний куту закручування пружинок, залежить від сили струму, яка у свою чергу залежить від ЕРС термопари.

Хід роботи

1. Записати марку термопари експериментальної установки (рис. 9.4). Встановити, які термоелектроди застосовані у термопарі. З таблиці 9.1 виписати характеристики термопари. З каталога виписати характеристики термопари вимірювальної установки.

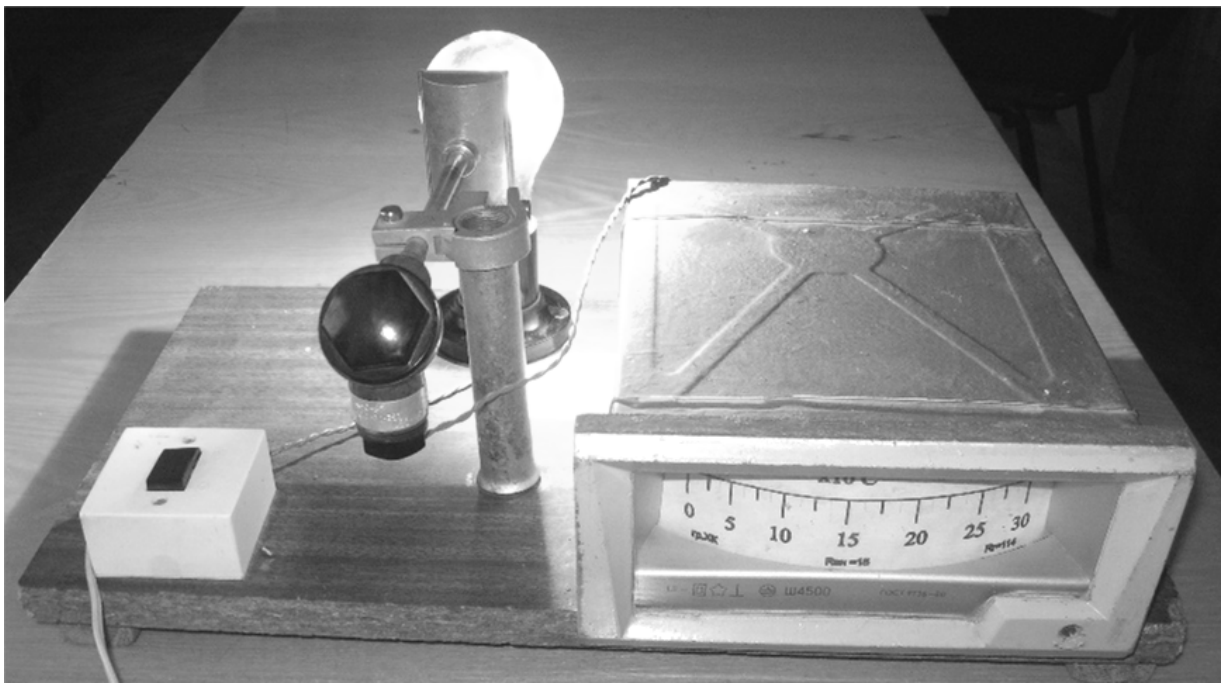


Рисунок 9.4 – Експериментальна установка для вимірювання температури

2. Витягнути корпус приладу разом з передньою панеллю. Ознайомитись з будовою термоелектричного мілівольтметра.

3. Встановити термопару на стійці установки таким чином, щоб віддаль між джерелом теплоти і чутливим елементом термопари була не більше 2 мм.

4. Вилкою з’єднувача включити установку в мережу змінного струму. Включити вимикач. При цьому загоряється лампа розжарювання. Виміряти температуру лампи розжарювання через кожні 10 секунд. Дані записати у таблицю 9.2.

Таблицю 9.2 – Зміна температури лампи розжарювання у процесі нагрівання

Час t, с	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Температура T, °С									

5. За результатами вимірювання (таблиця 9.2) побудувати графік динамічної залежності температури лампи розжарювання від часу.

6. Зняти кінцевий показ температури. Виключити вимикач і дати лампі охолонути. Повторити вимірювання температури ще 5-6 разів.

5. Одержані результати занести в таблицю 9.3.

Таблиця 9.3 – Результати вимірювання температури

№ досліду	Температура t, °С	Середнє значення температури $t_{ср}$, °С	Відхилення e_i
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			
6.			
7.			

Обробка результатів досліджень

Для отримання при лабораторних вимірюваннях найбільш достовірних результатів відлік показів приладу проводиться за одних і тих самих умов за можливістю певне число разів і із знайденого ряду значень вимірювальної величини після виключення систематичних і грубих похибок визначається більш точне середнє арифметичне її значення $t_{ср}$, яке є кінцевим результатом вимірювання. Ця величина знаходиться за формулою:

$$t_{ср} = \frac{t_1 + t_2 + ... + t_n}{n}, \qquad (9.1)$$

де $t_1, t_2, \ldots t_n$ – ряд значень вимірювальної величини;

n – число відрахувань показів приладу.

Результати вимірювань записати у таблицю 9.2.

Значення $t_1, t_2, \ldots t_n$ включають в себе не тільки випадкові похибки, вплив яких на ступінь відхилення $t_{ср}$ від дійсного значення t тим менше, чим більше число окремих вимірювань n є в ряду, так як згідно теорії похибок при великому числі вимірювань випадкові похибки, які рівні за абсолютною величиною, але різні за значенням, зустрічаються однаково часто і тому взаємознищуються.

Відхилення e окремих значень вимірювальної величини від $t_{ср}$

знаходиться за формулою із виразів (9.2):

$$\left.\begin{aligned} e_1 &= t_1 - t_{ср};\\ e_2 &= t_2 - t_{ср};\\ &\dots\dots\dots\dots\\ e_n &= t_n - t_{ср}. \end{aligned}\right\} \qquad (9.2)$$

При правильному визначенні $t_{ср}$ алгебраїчна сума відхилень e повинна дорівнювати нулю, тобто

$$\sum e = 0. \qquad (9.3)$$

У практичних умовах зазвичай оцінюють точність кінцевого результату вимірювання $t_{ср}$ шляхом визначення абсолютних значень середньої квадратичної похибки σ, ймовірної похибки ρ і найбільш можливої (граничної) похибки λ за формулами (9.4-9.6):

$$\sigma = k\sqrt{\frac{e_1^2 + e_2^2 + \dots + e_n^2}{n(n-1)}}; \qquad (9.4)$$

$$\rho = v\sqrt{\frac{e_1^2 + e_2^2 + \dots + e_n^2}{n(n-1)}}; \qquad (9.5)$$

$$\lambda = m\sqrt{\frac{e_1^2 + e_2^2 + \dots + e_n^2}{n(n-1)}}. \qquad (9.6)$$

Значення коефіцієнтів у формулах (9.4)-(9.6) вибираються залежно від величини (n–1) за таблицею 8.8 (складена за даними В.І. Романовського).

Результат вимірювання:

$$t = t_{ср} \pm \rho.$$

Контрольні питання

1. Що являє собою термопара?
2. Які Вам відомі типи термопар?
3. Для чого використовується пірометричний мілівольтметр при вимірюванні температури з використанням термопари?
4. Який фізичний ефект покладено в основу роботи термопар?
5. На чому ґрунтується потенціометричний метод вимірювання е.р.с.?
6. Будова і принцип роботи пірометричного мілівольтметра.
7. Що являють собою термометричні перетворювачі кабельного типу?

Лабораторна робота №10
ВИМІРЮВАННЯ ТВЕРДОСТІ СТАЛЕЙ

Мета роботи: ознайомитись з методами та засобами вимірювання твердості сталей. Вивчити будову, призначення та принцип роботи електроакустичного твердоміра ТЭА–5.

Прилади та обладнання: твердомір електроакустичний ТЭА–5; міри твердості; дослідні зразки.

Теоретичні відомості

Твердість є механічною характеристикою матеріалу або поверхні деталі.

Твердість визначають в результаті лабораторних випробувань зразків матеріалів або деталей. Методи визначення твердості пов'язані з оцінкою здатності матеріалу чинити опір проникненню в її поверхню іншого тіла під дією сили.

Твердість (НВ – за Брінелем; HRA, HRB,HRC – за Роквеллом; HV – за Віккерсом) – умовна величина, виміряна відповідними приладами (твердомірами), яка характеризує опір заглиблювання в поверхню матеріалу стандартного індентора.

Твердість матеріалу – дуже важливий показник, оскільки багато механічних характеристик можуть бути обчислені через твердість, а визначення твердості не вимагає руйнування виробу і може бути легко виконане за допомогою стандартних приладів. Переведення одиниць твердості, одержаних в результаті вимірювань, можна здійснити за допомогою графіків (рис. 10.1).

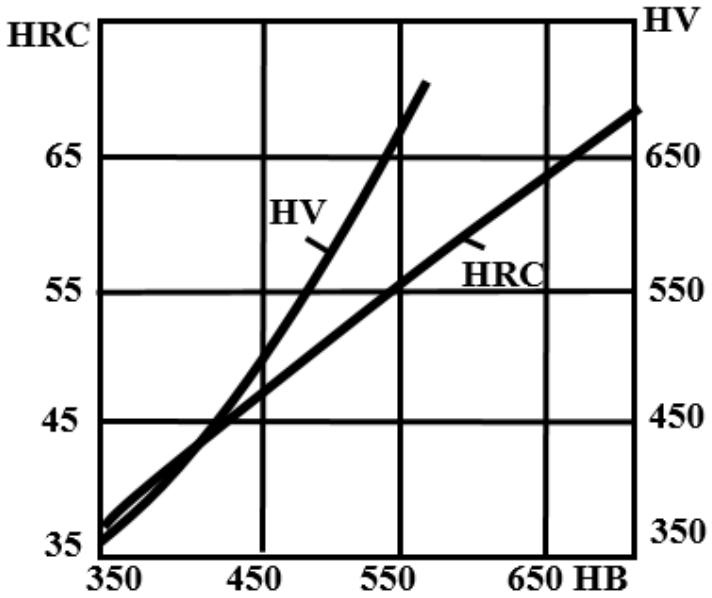


Рисунок 10.1 – Графіки для переведення одиниць твердості

Твердоміри в залежності від їх принципу дії можуть бути різними: наприклад, механічними або електроакустичними.

В механічних твердомірах замірюють слід від втиснення алмазних кульки (НВ), конуса (HR) або піраміди (HV) і в залежності від нього визначають твердість.

В електроакустичних твердо-мірах твердість випробуваної поверхні знаходиться в функціональній залежності від резонансної частоти коливань стержня з наконечником, що втискається в деталь, які збуджуються при цьому змінним струмом.

Твердомір електроакустичний ТЭА–5

1. Призначення

1.1. Твердомір електроакустичний ТЭА–5 призначений для вимірювання твердості сталей із дрібнозернистою структурою у цехових і лабораторних умовах.

Будова ТЭА–5 дозволяє застосовувати його для контролю твердості великогабаритних виробів і деталей складної конфігурації. Прилад ТЭА–5 може бути використаний в механізованих і автоматичних установках.

1.2. Робочі умови застосування твердоміра:

– температура навколишнього повітря від 283 до 308 °К (від 10 до 35 °С.);

– відносна вологість повітря від 30 до 80 %;

– живлення від однофазної мережі змінного струму напругою $\left(220^{+22}_{-33}\right)$В і частотою (50±1) Гц.

2. Технічні характеристики

2.1. Габаритні розміри, мм

– електронного блоку:	240х280х290;
– перетворювача	діаметр 40х210;
– пристрою для калібрування	195х235х265

2.2. Маса, кг:

– приладу без упаковки	11,8;
у тому числі	
– електронного блоку	8,5;
– перетворювача	0,8;
– пристрою для калібрування	2,5

2.3. Потужність, яка споживається твердоміром від мережі змінного струму, не перевищує 50 Вт.

2.4. Час встановлення робочого режиму з моменту включення твердоміра не більше 30 хв.

2.5. Діапазон вимірювань твердості 20-70 HRC.

2.6. Межі допустимої похибки ± 5 %.

2.7. Похибка вимірювання знаходиться в допустимих межах при

відхиленні від перпендикулярності осі перетворювача відносно вимірювальної поверхні на 5°.

2.8. Статична сила на інденторі, створювана в перетворювачі, $9{,}8^{+0,29}_{-0,98}$ Н $\left(1000^{+30}_{-100}\ гс\right)$.

2.9. Час одного вимірювання не більше 5 с.

2.10. Похибка встановлення меж класифікації твердості не більше ±1 HRC.

2.11. Напруга постійного струму, що прикладається із зовні до контактів роз'єму електронного блоку твердоміра, повинна бути не більше 24 В, сила струму 100 мА (характер опору навантаження активний). Команди керування твердоміра: ВИМІРЮВАННЯ, КЛАСИФІКАТОР, КОНТРОЛЬ ЗБУДЖЕННЯ, ТВЕРДІСТЬ МЕНША, ТВЕРДІСТЬ НОРМАЛЬНА, ТВЕРДІСТЬ БІЛЬША.

2.12. Середнє напрацювання на відмову не менше 1000 год. (при виході із ладу алмазного наконечника він підлягає заміні).

2.13. Твердомір зберігає свої технічні характеристики при неперервній роботі протягом 8 год.

2.14. Електроакустичний твердомір ТЭА–5 складається з блоку електронного 1, пристрою для калібрування 2, перетворювача 3, з'єднувача 4 (рис. 10.2).

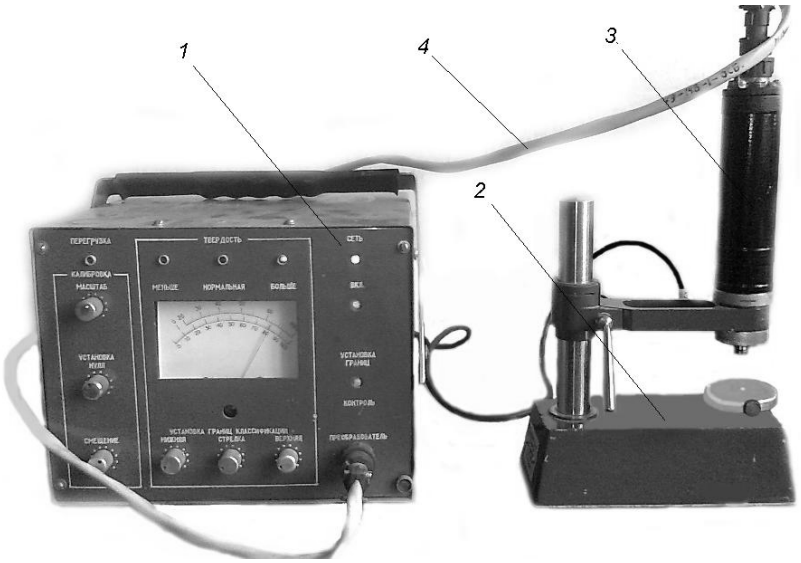


Рисунок 10.2 – Твердомір електроакустичний ТЭА–5

3. Будова, регулювання і робота твердоміра

3.1. Будова і принцип роботи перетворювача.

Магнітострикційний стержень 1 (рис. 10.3) жорстко закріплений в масі 2. У вільний кінець стержня впаяна спеціальна оправка з алмазним наконечником 3. Поблизу з'єднання маси 2 до стержня 1 закріплений п'єзоелемент 4. Концентрично зі стержнем 1 розміщена котушка збудження 5, яка закріплена в магніті 6. Маса 2 оснащена пластмасовими антифрикційними

втулками 7 для забезпечення її переміщення відносно корпуса 8 перетворювача. Пружина 9, яка встановлена між масою 2 і гайкою 10, створює необхідну статичну силу на наконечнику 3. У вихідному (перед контролем) стані маса 2 фіксується відносно корпуса 8 упором 11. Положення (виліт) наконечника 3 відносно обойми 12 регулюється її переміщенням у корпусі 8. Після регулювання обойма фіксується гайкою 16.

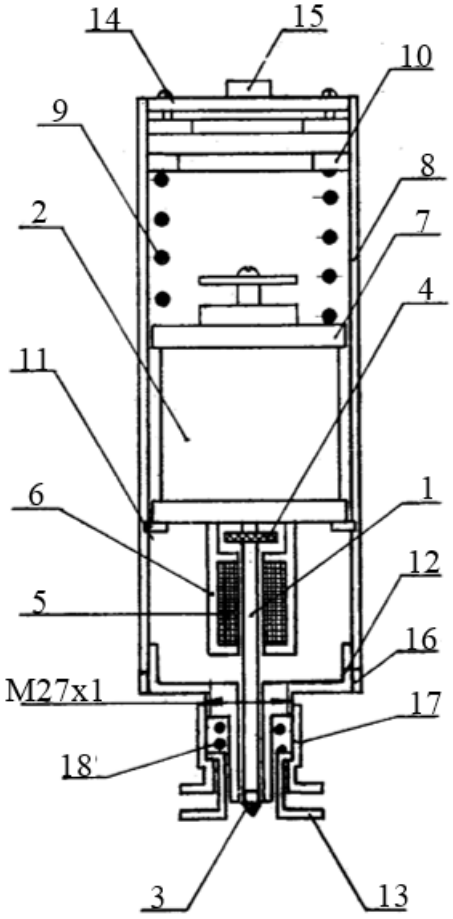


Рисунок 10.3 – Схема перетворювача

Для зручності встановлення перетворювача перпендикулярно до поверхні контрольованого об’єкта існує спеціальна опора 13. У кришці 14 розміщений роз’єм 15, до якого підключається з’єднувач, який з’єднує перетворювач з електронним блоком (на рис. 10.3 не показаний).

У процесі контролю наконечник 3 вдавлюється у випробувальний матеріал. Зовнішнє зусилля прикладається до корпуса 8 перетворювача. При цьому стержень 1 і маса 2 переміщається вгору на величину вильоту, а на наконечник 3 діє статична сила, що створюється масою 2 і пружиною 9. Твердість випробувального матеріалу заходиться у функціональній залежності від резонансної частоти коливань магнітострикційного стержня 1, який збуджується змінним струмом котушки 5. Магніт 6 призначений для покращення технічних характеристик перетворювача.

3.2. Регулювання перетворювача:

1. Виліт наконечника перетворювача повинен бути рівним 1+0,5 мм. Для вимірювань твердості на увігнутих поверхнях виліт має бути збільшений до 3±0,5 мм. Рекомендується в цьому випадку калібрування здійснювати на зразках з подібною увігнутістю;

2. Перевірка вильоту наконечника перетворювача проводиться наступним чином. Встановити перетворювач у пристрій для калібрування твердоміра. Покласти на вимірювальний столик пристосування будь-яку міру твердості. Повільно підняти столик пристрою до торкання наконечника поверхні міри. За допомогою набору щупів №4 ГОСТ 882–75 виміряти зазор «*е*» між поверхнею міри твердості і обоймою (рис. 10.4). Якщо зазор не відповідає встановленій вимозі, необхідно провести його регулювання.

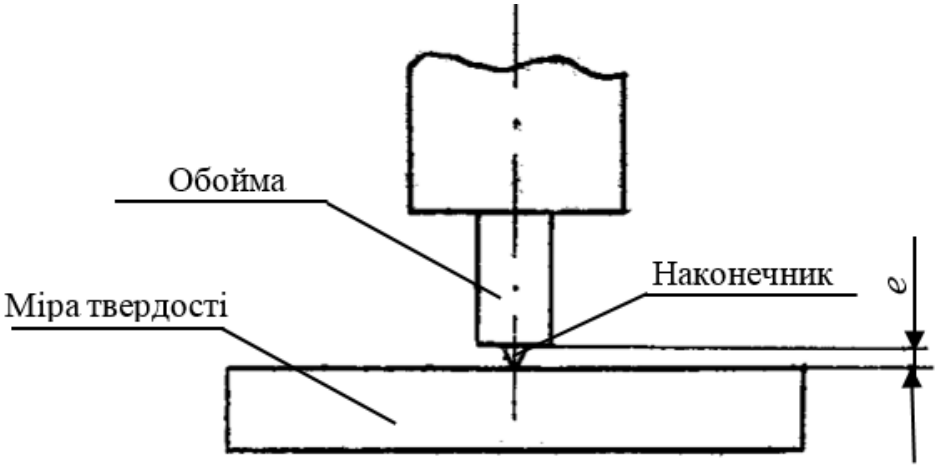


Рисунок 10.4 – Схема вимірювання вильоту наконечника

4. Підготовка твердоміра до роботи. Порядок роботи

4.1. Переконатися зовнішнім оглядом у цілісності електронного блоку і перетворювача. Тумблер СЕТЬ повинен бути у виключеному положенні.

4.2. Підключити з’єднувач 4 (рис. 10.2) до роз’ємів перетворювача і до електронного блоку, який знаходиться на лицьовій панелі, а з’єднувач 2 до роз’єму, що знаходиться на задній панелі електронного блоку.

4.3. Вилкою з’єднувача (рис. 10.2) включити прилад у мережу змінного струму.

4.4. Включити тумблер СЕТЬ. При цьому загорається лампочка СЕТЬ.

4.5. Дати приладу прогрітися протягом 30 хв.

4.6. Відкалібрувати твердомір у наступній послідовності:

1. Встановити перетворювач у пристрій для калібрування.

2. Встановити тумблер роду робіт електронного блоку твердоміра в положення КОНТРОЛЬ;

3. Встановити стрілку покажчика твердості за допомогою ручки

УСТАНОВКА НОЛЯ на нуль (суміщений з 10 поділкою безрозмірної шкали).

4. На вимірювальний столик пристрою для калібрування встановити міру низької твердості (для калібрування використовувати зразкові міри типу МТР-1,2 згідно ГОСТ 9031-75. Номінали твердості 25±5, 45±5, 65±5 HRC).

5. Підняти плавно столик з мірою твердості до упору в перетворювач.

6. Встановити стрілку покажчика твердості за допомогою ручок КАЛИБРОВКА-МАСШТАБ чи КАЛИБРОВКА-СМЕЩЕНИЕ на значення, що відповідає числу твердості, яке зазначене на мірі.

7. Опустити столик пристрою для калібрування.

8. Установити на вимірювальний столик міру з високої твердістю. Підняти столик до упору в обойму 12 перетворювача (рис. 10.2).

9. Якщо покази покажчика твердості не відповідають числу твердості, яке зазначене на даній мірі, то ручкою КАЛИБРОВКА-МАСШТАБ встановлюють відповідність.

10. Повторювати операції, які зазначені в п.п. 4-9 доти, поки покази на покажчику твердості будуть відповідати значенню, яке зазначене на мірі низької твердості з похибкою не більше ±5 %, а для міри з високою твердістю не більше ніж ± 3 %.

11. Провести вимірювання твердості в трьох близьких точках міри номіналу 45±5 HRC.

Визначити виміряну твердість як середнє із трьох замірів за формулою (10.1):

$$H = \frac{H_1 + H_2 + H_3}{3}. \qquad (10.1)$$

Обчислити абсолютну похибку вимірювання за формулою (10.2):

$$\Delta H = H - Hм, \qquad (10.2)$$

де *Нм* – значення твердості, яке зазначене на базовій мірі, HRC.

Визначити відносну похибку в процентах за формулою (10.3):

$$\delta = \frac{H - Hм}{Hм} \cdot 100\%. \qquad (10.3)$$

Обчислене значення «δ» повинно бути не більше ±5 %. Перевірка діапазону вимірювання забезпечується застосуванням комплекту зразкових мір твердості типу МТР-1 за ГОСТ 9031–75 при повірці похибки приладу.

4.7. При необхідності встановити межу класифікації для вимірювальної деталі. Для цього:

1. Встановити перемикач роду робіт у положення УСТАНОВКА ГРАНИЦ.

2. Ручкою СТРЕЛКА встановити стрілку покажчика твердості на значення твердості, яке відповідає нижній межі.

3. Ручкою НИЖНЯЯ встановити загоряння світлового індикатора МЕНШЕ (на межу НОРМАЛЬНАЯ і МЕНЬШЕ).

4. Ручкою СТРЕЛКА встановити стрілку покажчика твердості на значення твердості, яке відповідає верхній межі.

5. Ручкою ВЕРХНЯЯ встановити загоряння світлового індикатора БОЛЬШЕ (на межі між НОРМАЛЬНАЯ і БОЛЬШЕ).

6. Встановити перемикач роду робіт у положення КОНТРОЛЬ. Тепер при значеннях твердості виміряних виробів менше встановленої нижньої межі буде засвічуватися світловий індикатор МЕНШЕ, при значеннях твердості більше встановленої верхньої межі буде засвічуватися індикатор БІЛЬШЕ, а при значенні твердості, між цими межами буде засвічуватися світловий індикатор НОРМАЛЬНАЯ.

7. При необхідності роботи вручну від'єднати перетворювач від пристрою для калібрування і під'єднати до нього сервісні елементи – деталі 13, 17 і 18 (рис. 10.3).

У процесі контролю перетворювач опорою 13 (рис. 10.3) встановлюється на деталь, яка перевіряється, і потім виконується вимірювання.

4.8. При вимірюваннях забороняється вдаряти алмазним наконечником об міру твердості чи деталь – можна пошкодити алмаз, і прилад буде непридатний для роботи. Крім того, мати на увазі, що ударне, чи різке прикладення сили викликає більш глибоке проникнення індентора в матеріал і покази будуть нижче дійсної твердості. Наконечник потрібно плавно і повільно наближати до зіткнення з випробувальним матеріалом і далі вдавлювати його до упору випробовуваного виробу в обойму 12 (рис. 10.2) перетворювача.

4.9. Проведення вимірювань на грубих (подряпаних) поверхнях збільшує помилку вимірювань. Зазначена в п. 2.6 похибка відповідає вимірюванням на поверхнях з шорсткістю 0,32 мкм (за ГОСТ 2789-73), тобто на рівні контрольних мір твердості.

4.10. У процесі контролю перетворювач повинен бути розміщений вертикально і перпендикулярно до контрольованої поверхні в точці вимірювання (відхилення не більш 5°). Великі відхилення можуть збільшити похибку вимірювання, обговорену в п. 2.7.

4.11. При вимірюванні твердості покази рахуються за основною шкалою покажчика твердості після зупинки стрілки приладу.

4.12. Твердість контрольованої ділянки поверхні визначається як середнє арифметичне значення результатів декількох послідовних вимірювань в обмеженій зоні.

4.13. З метою підвищення достовірності результатів вимірювання потрібно проводити калібрування на мірах, виготовлених з того ж матеріалу, що і деталі, які підлягають контролю.

4.14. При необхідності визначення твердості в одиницях відмінних від

HRC можна використовувати безрозмірну шкалу покажчика 0-100 од.

Обробка результатів досліджень

1. Здійснити вимірювання твердості трьох деталей в трьох близьких точках поверхні, одержати значення H_1, H_2, H_3.

2. Визначити середнє значення твердості H за формулою (10.1).

3. Обчислити абсолютну та відносну похибки вимірювання за формулами (10.2) та (10.3).

4. Результати вимірювань записати у таблицю 10.1.

Таблиця 10.1 – Результати вимірювань

№ досліджуваної деталі	Твердість, HRC				Абсолютна похибка ΔH, HRC	Відносна похибка δ, %
	H_1	H_2	H_3	H		
1.						
2.						
3.						

Контрольні питання

1. Сфера використання твердоміра ТЕА-5.
2. Будова та принцип роботи твердоміра ТЕА-5.
3. Для чого в приладі ТЕА-5 використовується перетворювач?
4. З якою метою проводиться калібрування приладу?
5. Порядок проведення калібрування.
6. Як поділяються твердоміри за принципом дії?
7. Що таке міра твердості?
8. Для чого застосовуються міри твердості при калібруванні?

Лабораторна робота №11
ПРИЛАД ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ШОРСТКОСТІ ТА ХВИЛЯСТОСТІ ПОВЕРХОНЬ. ПРОФІЛОГРАФ-ПРОФІЛОМЕТР, МОДЕЛЬ 201

Мета роботи: ознайомитися з методами визначення шорсткості та хвилястості поверхонь. Вивчити призначення, будову, принцип дії та порядок роботи профілографа-профілометра моделі 201.

Прилади та обладнання: профілограф-профілометр моделі 201, міри шорсткості, дослідні зразки.

Теоретичні відомості

11.1 Визначення шорсткості поверхні

Найбільш уживаний параметр якості деталей – точність лінійних розмірів її поверхонь і їх взаємного просторового розташування. Ці параметри стандартизовані й достатньо забезпечені метрологічно. У широкому наборі характеристик якості деталей важливе місце займають параметри, що описують властивості їхніх поверхонь.

Для повного обліку характеристик поверхні, що впливають на спрацювання з'єднань, у техніці використовується широкий набір параметрів. Частина з них стандартизована, частина ж перебуває на стадії апробації і визначається лабораторними методами. Нижче подано основні характеристики якості поверхні деталей.

Геометричні характеристики охоплюють дві підгрупи параметрів – шорсткість і хвилястість поверхні.

Шорсткість – це сукупність нерівностей з відносно малими кроками по базовій довжині. Шорсткість поверхні містить у собі стандартні параметри, регламентовані ГОСТ 2789-73 «Шорсткість поверхні. Параметри і характеристики», а також ряд нестандартних характеристик, що широко застосовуються як у дослідницьких роботах, так і в практиці. Стандартні характеристики – це середнє арифметичне відхилення профілю Ra, висота нерівностей профілю по десятьох точках Rz, найбільша висота нерівностей $R\max$, середній крок нерівностей S_m, крок нерівностей по вершинах S, відносна довжина профілю t_p. Ці параметри мають достатнє метрологічне забезпечення в нашій країні і за кордоном.

Нестандартні параметри – відстань від лінії виступів до середньої лінії R_p, середній радіус мікронерівностей $\rho_м$, кут нахилу $\alpha_м$ мікронерівностей щодо середньої лінії, число виступів на базовій довжині M та інші. Ці параметри визначаються за профілограмами шорсткої поверхні.

Шорсткість поверхонь деталей визначається мікронерівностями, які з'являються в результаті виготовлення (обробки) цих поверхонь. Для кількісної оцінки шорсткості ДСТУ 2452-94 встановлює шість параметрів: висотних Ra, Rz, $R\max$, крокових S_m, S_i та відносну опорну довжину профілю

t_p. Переважно рекомендується використовувати параметр *Ra* – середнє арифметичне відхилення профілю в межах базової довжини, мкм:

$$Ra = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|y_i\right|, \tag{11.1}$$

де y_i – відхилення профілю, мкм.

Допускається використовувати параметр *Rz* – середня висота нерівностей по 10 точках. Це сума середніх абсолютних значень висоти п'яти найбільших виступів та глибини п'яти найбільших западин профілю в межах базової довжини, мкм. (рис. 11.1):

$$Rz = \frac{1}{5}\left(\sum_{i=1}^{5}\left|H_{i\max}\right| + \sum_{i=1}^{5}\left|H_{i\min}\right|\right). \tag{11.2}$$

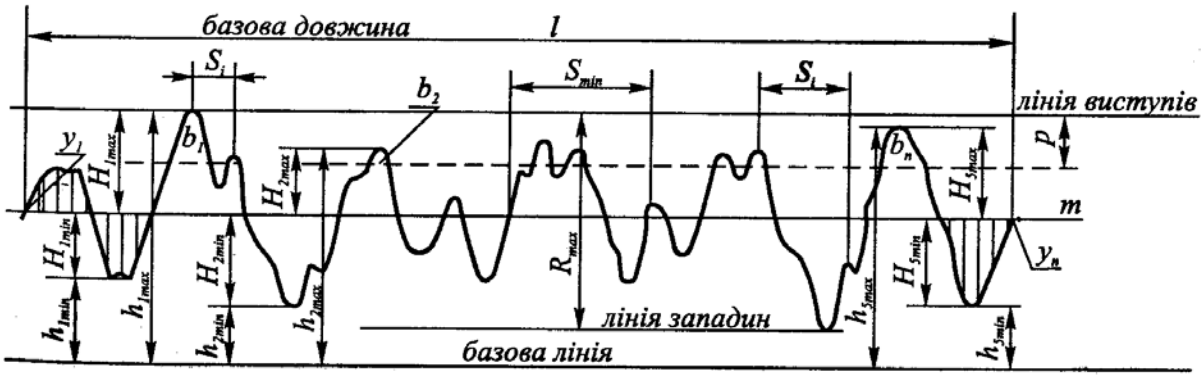


Рисунок 11.1 – Визначення параметрів шорсткості в межах базової довжини

Значення параметрів *Ra* та *Rz* вибирають з рядів таблиці (ГОСТ 2789–73). Переважно використовують такі значення параметрів: 400; 200; 100; 50; 25; 12,5; 6,3; 3,2; 1,6; 0,8; 0,4; 0,2; 0,1; 0,05; 0,025; 0,012.

Значення параметра шорсткості вказується над (або під) умовним знаком, який передбачений ГОСТ 2.309-83. Цей стандарт встановлює три умовних знаки для позначення шорсткості поверхні на кресленні:

⩘ – для позначення шорсткості поверхонь, що утворюються видаленням шару металу (точіння, фрезерування, свердління, травлення);

⩘ – для позначення шорсткості поверхонь, що утворюються без видалення шару металу (лиття, штампування, прокатування), або поверхонь, які не обробляються за цим кресленням;

✓ – для позначення шорсткості поверхонь, вид обробки яких конструктором не встановлений.

У разі необхідності кожен із знаків може мати поличку. Біля умовного знака можна вказати (крім параметрів шорсткості) базову довжину,

позначення напряму нерівностей та інші додаткові дані. Значення параметра шорсткості слід вказувати обов'язково. Інші дані вказують у разі необхідності. Якщо в позначенні є тільки параметр шорсткості, то використовують знак без полички.

Значення параметра R_a вказують без символу – $\overset{3,2}{\nabla}$, $\overset{6,3}{\nabla}$, а параметра R_z – $\overset{R_z40}{\nabla}$, $\overset{R_z80}{\nabla}$.

Хвилястість є сукупністю виступів і впадин, які періодично повторюються з взаємним розміщенням значно більшим, ніж у нерівностей, що утворюють шорсткість. Крок хвилястості містить у собі кілька базових довжин, які використовуються для вимірювання шорсткості. Стандартні параметри хвилястості, обговорені в рекомендації СЕВ з стандартизації РС 395І-73 «Хвилястість поверхні. Терміни, визначення, параметри» – це максимальна висота хвилястості W_{max}, середня висота хвилястості по десятьох точках W_z, середній крок хвилястості S_w, радіус заокруглення вершини хвилі R_w та інші (аналогічні *Rmax* і R_p параметри некруглості H_{max} і H_p).

Механічні характеристики поверхневого шару регламентуються рядом стандартів, наприклад, ГОСТ 20495-75 «Зміцнення металевих деталей поверхневою хіміко-термічною обробкою. Характеристики і властивості дифузійного шару. Терміни і визначення» та іншими. У числі характеристик – поверхнева твердість шару, поверхнева крихкість шару, деформаційне зміцнення, залишкові напруги та їхній знак. Ці характеристики оцінюють такими параметрами як мікротвердість поверхні, ступінь наклепу, ступінь деформації зерен, статичне перекручування кристалічних ґраток. Методи вимірювання параметрів – це металографічні і рентгеноструктурні випробування.

Перераховані параметри і характеристики поверхневого шару деталей дозволяють повною мірою визначити властивості спряжень, при яких може бути досягнута їх максимальна довговічність, тобто якість виробу взагалі.

11.2 Профілограф-профілометр, модель 201

11.2.1 Призначення

Профілограф-профілометр, модель 201 (рис. 11.2), є високочутливим вимірювальним приладом для визначення шорсткості і хвилястості поверхні виробів зі сталі, чавуна, кольорових металів і сплавів, а також неметалевих деталей і всіляких покрить без ушкодження їхньої поверхні.

Визначення шорсткості поверхні виконується за допомогою:

– запису у збільшеному масштабі електротермічним способом на електротермічному папері в прямокутних координатах профілю мікронерівностей поверхні в межах від 5 по 14 клас включно за ГОСТ 2789–89;

– показуючого стрілочного приладу за параметром *Ra* (середнє арифметичне відхилення мікронерівностей від середньої лінії профілю) у межах від 5 по 12 клас включно.

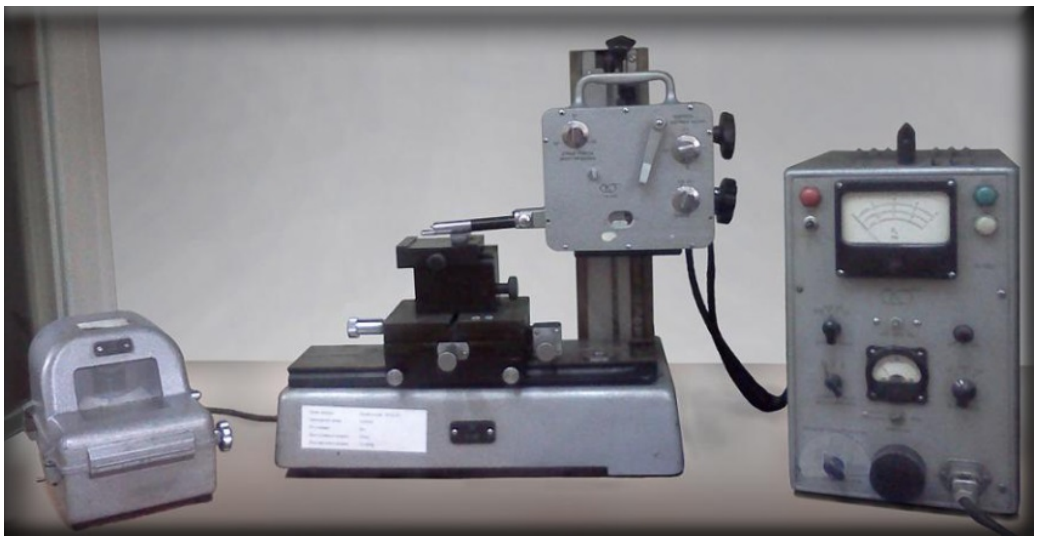


Рисунок 11.2 – Профілограф-профілометр, модель 201

Прилад дозволяє виконувати перевірку плоских, циліндричних, конічних та інших поверхонь, як зовнішніх, так і внутрішніх, перетин яких у площині вимірювання є прямою лінією.

Прилад дає можливість здійснити вимірювання з різними величинами базової довжини, тобто з відсіченням нерівностей із кроками більше встановлених базових довжин 0,08; 0,25; 0,8 і 2,5 мм при довжині траси інтегрування 1,6; 3,2 і 6 мм.

Можливість перевірки з різними довжинами траси інтегрування значно розширює експлуатаційні можливості приладу. Найбільша довжина ходу давача (при записі) може бути встановлена у розмірі до 40 мм, що дозволяє проводити перевірку хвилястості з великим кроком.

11.2.2 Технічна характеристика

1. Межі вимірювання:

– за показуючим приладом, 5-12 кл. ГОСТ 2789–89;

– при записі профілограми 5-14 кл. ГОСТ 2789–89.

2. Критерій оцінки *Ra* ГОСТ 2789–89.

3. Похибка показів за показуючим приладом ±10%.

4. Похибка вертикального збільшення ±4%.

5. Вертикальне збільшення: 1000; 2000; 4000; 10000; 20000; 40000; 100000 і 200000.

6. Горизонтальне збільшення від 2 до 4000 (18 ступенів).

7. Вимірювальне зусилля голки, не більше 0,1 гс.

8. Градієнт зусилля не більше 0,0005 гс/мкм.

9. Запис – електротермічний в прямокутній системі координат.

10. Ширина запису – 80 мм.

11. Найбільша робоча довжина траси ощупування при записі – 40 мм.

12. Довжина траси інтегрування для показуючого приладу: 1,6; 3,2; 6,0 мм.

13. Величини базових довжин: 0,08; 0,25; 0,8 і 2,5 мм (відсічення кроку).

14. Швидкість трасування профілографа: 0,2; 1,0 і 10 мм/хв.

15. Швидкість трасування профілометра – 7 мм/сек.

16. Максимальний крок нерівностей, який реєструється при записі профілограми:

– з тороїдальною опорою – 2,5 мм;

– із плоскою опорою – 3,5 мм;

– із пристосуванням для перевірки хвилястості – 20 мм.

17. Найменший діаметр отвору, що перевіряється:

– при глибині до 10 мм – 8 мм;

– при глибині до 100 мм – 20 мм;

– при глибині до 125 мм – 45 мм;

– при вимірюванні з пристосуванням для перевірки хвилястості при глибині до 10 мм – 4 мм.

18. Радіус голки, що ощупує, $0{,}01^{+0{,}002}$ або $0{,}002^{+0{,}002}$.

19. Радіус опори (опора змінна): R_1=50 мм; R_2=∞

20. Габарити блоків у мм:

– стійка 500х290х525;

– записуючий прилад 325х215х185;

– електронний блок 246х466х430.

21. Вага приладу – 80 кг.

22. Прилад живиться від мережі змінного струму 50 герц, 127 В і 220 В.

23. Похибка, введена пристосуванням для перевірки хвилястості, на довжині переміщення датчика 40 мм не більше 0,5 мкм.

11.2.3 Принцип дії

Дія приладу заснована на принципі ощупування досліджуваної поверхні алмазною голкою з дуже малим радіусом заокруглення і перетворення коливань голки у зміни напруги індуктивним методом.

На рисунку 11.3 представлена блок-схема приладу.

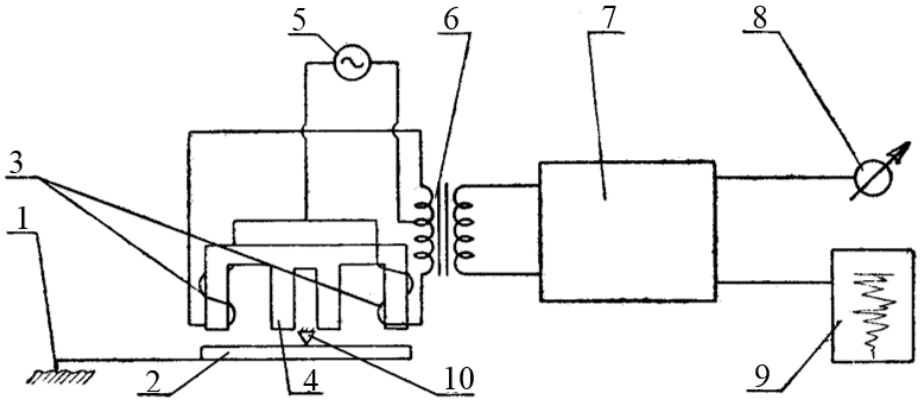


Рисунок 11.3 – Блок-схема приладу

Електрична частина приладу містить давач, електронний блок 7 із показуючим приладом 8 і записуючий прилад 9. Магнітна система давача складається зі здвоєного Ш-подібного осердя 4 із двома котушками 3. Котушка

давача і дві половини первинної обмотки диференціального вхідного трансформатора 6 утворюють балансовий міст, живлення якого здійснюється від генератора звукової частоти 5. При переміщенні давача відносно досліджуваної поверхні алмазна голка 1, ощупуючи нерівності поверхні, виконує коливання, приводячи в коливний рух якір 2. Коливання якоря змінюють повітряні зазори між якорем 2 і осердям 4 і, тим самим, викликають зміни напруги на виході диференціального трансформатора 6. Отримані зміни напруги підсилюються електронним блоком 7, на вихід якого підключаються показуючий чи записуючий прилади 8 або 9.

11.2.4 Опис приладу

Прилад складається із самостійно виконаних блоків (рис. 11.4):

1. Стійки 1 з кареткою.
2. Універсального столика 2.
3. Давача 3.
4. Мотопривода 4.
5. Електронного блоку 5 з показуючим приладом.
6. Записуючого приладу 6.

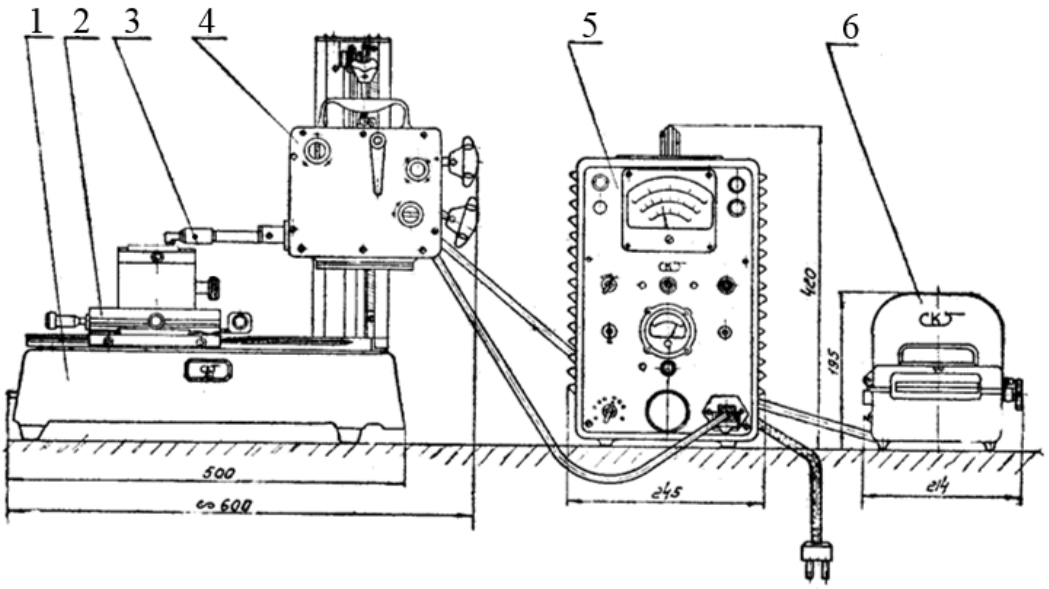


Рисунок 11.4 – Профілограф-профілометр, модель 201

Мотопривод 4 (рис. 11.4) із закріпленим на ньому давачем 3, переміщається по стійці за допомогою рейки і шестерні. Тонке встановлення давача у робоче положення виконується мікрометричною парою, яка вбудована в каретку мотопривода.

На основі стійки 1 кріпиться столик 2, що дозволяє переміщати випробувану деталь у двох взаємо-перпендикулярних напрямках і здійснювати поворот.

Стійка 1 має вузол нівелювання, який дозволяє встановлювати столик 2 з випробувальною деталлю паралельно траєкторії руху давача. До приладу

додається призма зі знімним столиком для перевірки циліндричних деталей і плоских деталей невеликих розмірів, а також інші пристосування, що розширюють область застосування приладу.

11.2.5 Давач

Ланкою, що ощупує випробувану поверхню і перетворює коливання голки, які відповідають нерівностям випробувальної поверхні, в електричні імпульси, є давач.

Конструкція давача представлена на рисунку 11.5. Ощупування виконується алмазною голкою 1. Голка розташована на кінці коромисла 2, що качається на ножовій опорі 3.

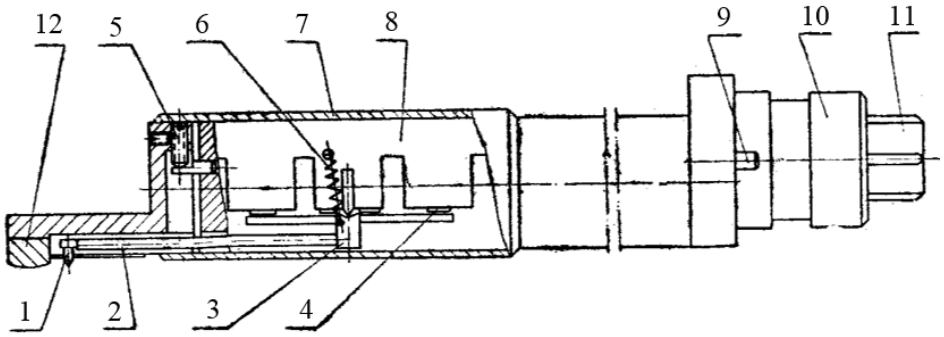


Рисунок 11.5 – Конструкція давача

На цьому ж коромислі закріплений якір 4.

Зусилля голки на випробувальну поверхню регулюється за допомогою пружинок 6, що компенсують неврівноваженість плечей коромисла. Зусилля голки установлюється величиною не більше 0,1 гс.

Магнітна система жорстко закріплюється в корпусі давача 8 і зовні закривається екраном 7. До штока мотопривода давач кріпиться за допомогою циліндра 10 (рис. 11.5) і стопориться гвинтом 9 (рис. 11.6).

Фіксація давача здійснюється штифтом 9 (рис. 11.5). Включення давача в схему приладу здійснюється за допомогою вилки 11 роз’єму при закріпленні давача до штока. Тиск опори 12 давача регулюється пружиною, яка розташована в мотоприводі. Зусилля впливу опори на випробувальну поверхню встановлюється не більше 50 гс. У тих випадках, коли необхідно зусилля впливу опори зменшити, необхідно використовувати спеціальне пристосування, що складається з підвісу з пружинками й обойми. Підвіс кріпиться в каретці мотопривода гвинтом 7 (рис. 11.8), обойма жорстко закріплюється на давачі, при цьому регулювання зусилля здійснюється переміщенням повзуна підвісу з пружинками відносно обойми, на якій закріплюються вільні кінці пружинок.

Давач укомплектовується змінними опорами, призначеними для різних робіт.

1. Дві опори для перевірки плоских, зовнішніх циліндричних поверхонь і отворів діаметром понад 8 мм на глибину до 12 мм.

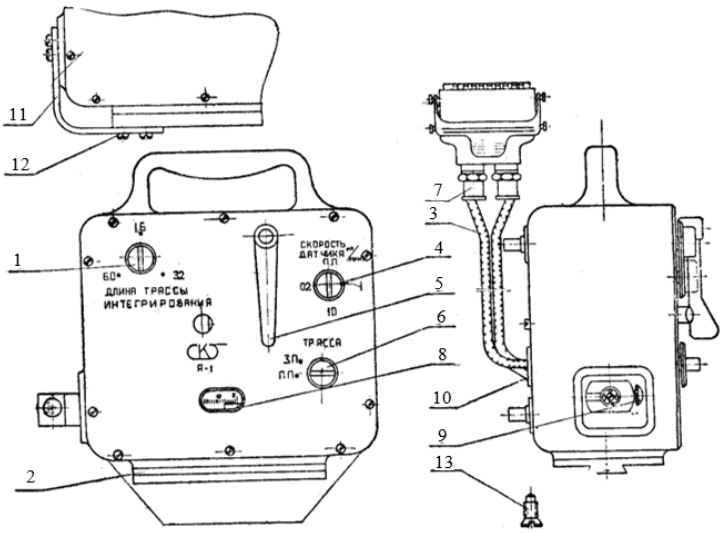


Рисунок 11.6 – Мотопривод

2. Для перевірки деталей малих розмірів призначена опора з опорним гвинтом, що базується поза випробувальною поверхнею.

Кріплення опори до корпуса 8 (рис. 11.4) давача виконується чотирма гвинтами. Зміну опори варто здійснювати викруткою, яка додається до приладу. Регулювання опори здійснюється гвинтом 5 (рис. 11.5) при відстопорених гвинтах, що кріплять опору.

Установка давача в початкове робоче положення на всіх ступенях збільшення приладу виконується вертикальним переміщенням давача 3 (рис. 11.4) з мотоприводом 4 по стійці.

11.2.6 Мотопривод

Переміщення давача з постійною швидкістю здійснюється за допомогою мотопривода (рис. 11.6). Схема мотопривода представлена на рисунку 11.7.

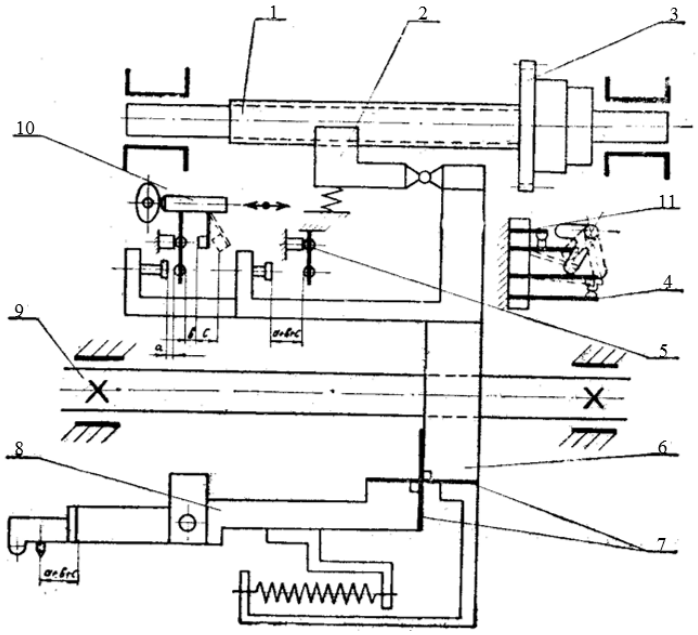


Рисунок 11.7 – Схема мотопривода

Давач жорстко кріпиться до штока 8 (рис. 11.7) мотопривода. Шток 8 кріпиться до корпуса 6 штока на пружинному хресті 7. Корпус штока при роботі приладу переміщається по качалці 9.

Переміщення штока і давача здійснюється від електродвигуна через коробку швидкостей, шестірню 3, ходовий гвинт 1 і маткову гайку 2. Маткова гайка шарнірно закріплена на корпусі штока 6.

Робочий рух штока здійснюється зліва направо з чотирма різними швидкостями.

Швидкість давача при записі профілограм шорсткості поверхні 0,2 і 1,0 мм/хв, хвилястості – 10 мм/хв і при роботі показуючого приладу – 0,7 мм/сек. Одержання 4-х різних швидкостей забезпечується коробкою швидкостей. Переключення коробки швидкостей здійснюється поворотом маховика 4 (рис. 11.6). Попереднє переміщення (зведення) давача справа вліво виконується поворотом важеля 5 (рис. 11.6) уліво. Відведення цього важеля вправо замикає контакт 4 (рис. 11.7), що включає електродвигун. Вимикання електродвигуна в кінці ходу давача здійснюється розмиканням контакту 5 (рис. 11.7), включеного в ланцюг електродвигуна послідовно з першим контактом 4.

Залежно від роботи приладу як профілографа чи профілометра зведення здійснюється на різну величину: для профілометра до 10-12 мм, для профілографа – до 40 мм.

Величина зведення встановлюється маховичком 6 (рис. 11.6), причому для профілометра риска маховичка повинна збігатися з рискою «ПП», а для профілографа з рискою «ЗП».

Визначення величини зведення і положення давача виконується через оглядове вікно по шкалі і покажчику 8 (рис. 11.6).

При роботі в якості профілометра після зведення давача покажчик повинен збігатися з 25-30 діленням шкали 8 (рис. 11.6).

Визначення шорсткості поверхні за показуючим приладом здійснюється з трьома різними довжинами трас інтегрування: 6; 3,2 і 1,6 мм. Переключення довжини траси інтегрування виконується маховичком 1 (рис. 11.6). Уся траса (рис. 11.6) при роботі показуючого приладу складається із 3-х ділянок: «а» – попереднього ходу – 1-3 мм; «в» – робочого ходу (довжина вимірювання) – 1,6; 3,2 і 6 мм і «с» – завершального ходу – 1 мм. Підключення мотопривода до електронного блоку здійснюється за допомогою 14-контактного роз'єму 7 (рис. 11.6).

11.2.7 Стійка з кареткою

Вузлом, на якому розміщуються мотопривод з давачем і випробуваною деталлю, є стійка (рис. 11.8).

Вузол стійки складається з основи 19, на якій кріпиться стіл 4, стійка 16 з корпусами каретки 8 і 15. Мотопривод кріпиться на корпусі 8 (рис. 11.8) каретки чотирма гвинтами 12 (рис. 11.8) і спеціальними напрямними штирями 3 (рис. 11.6) і переміщається по стійці 16 (рис. 11.8) за допомогою рейки 17 і шестерні 11 з маховиком 13.

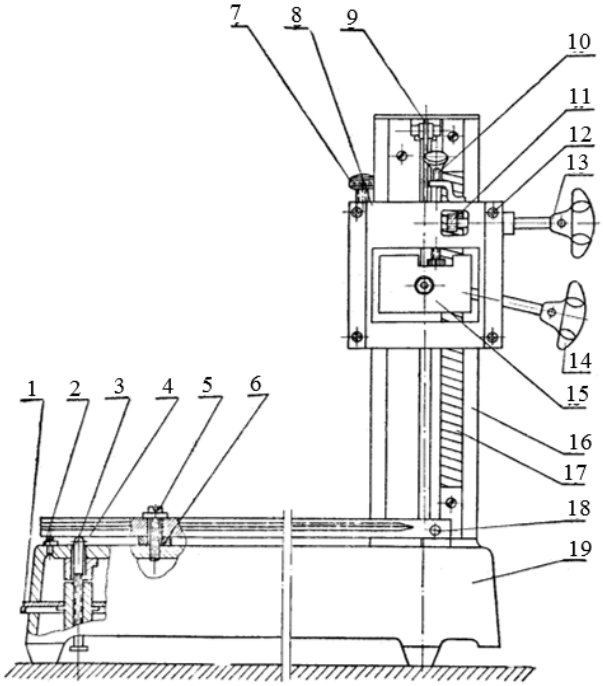


Рисунок 11.8 – Стійка

Стіл 4 (рис. 11.8) одним кінцем насаджений на вісь 18, навколо якої він може повертатися, а іншим кінцем спирається на гвинт 2 вузла нівелювання. За допомогою диска 1 стіл можна нахиляти, встановлюючи випробувану поверхню паралельно траєкторії руху давача. Каретка мотопривода складається з двох корпусів: зовнішнього 8 і внутрішнього 15, з'єднаних між собою мікрометричною парою 10. При встановленні давача для вимірювання (опускання і підйом) каретка переміщується по стійці маховиком 13, після чого стопориться маховиком 14. При необхідності більш точної установки давача на випробувальну деталь користуються мікрометричною подачею. Переміщення в цьому випадку здійснюється за допомогою маховика 10. При цьому внутрішній корпус каретки повинен бути застопорений маховиком 14.

При транспортуванні стіл 4 закріплюється на основі 19 за допомогою гвинта 5 і гумової прокладки 6.

11.2.8 Записуючий прилад

Записуючий прилад є самописним магнітоелектричним міліамперметром постійного струму і використовується для запису мікронерівностей випробувальної поверхні. Запис виконується електротермічним способом на електротермічному діаграмному папері (ширина запису 80 мм) у прямокутній системі координат з вертикальним збільшенням від 1000 до 20000 (8 ступенів) при 18 горизонтальних збільшеннях (від 2 до 4000). Магнітна система 2 (рис. 11.9) приладу разом з опорною плитою 3 і сектором 15 кріпиться до корпуса 4 шарнірно в центрах 7. Сектор 15 спирається на планки, утворюючи вузьку циліндричну щілину (для паперу) з ложем 6. Рух паперової стрічки 10 здійснюється від електродвигуна за допомогою двох (ведучого і притискного) валиків 11 і 8.

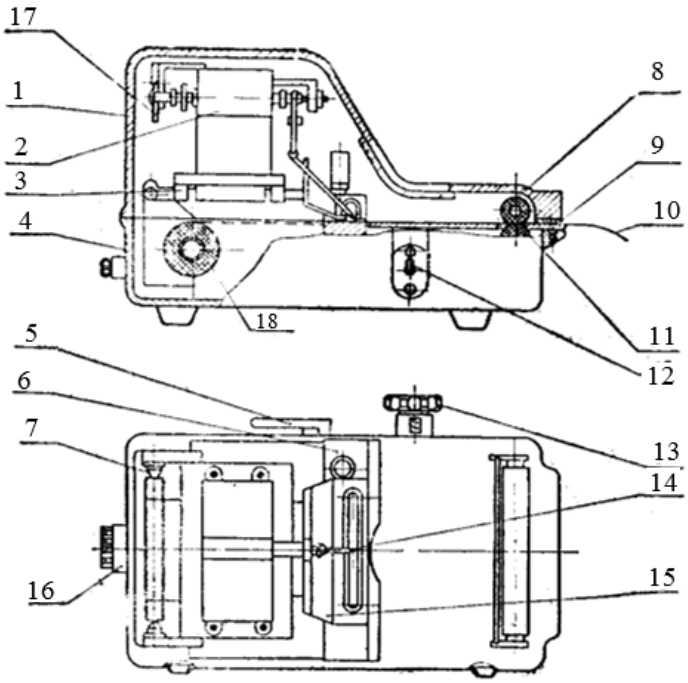


Рисунок 11.9 – Записуючий прилад

Для зручності відриву стрічки (після запису) у кришці приладу вбудований ніж 9. Паперова стрічка переміщується з 6-ма різними швидкостями: 20, 40, 80, 200, 400, 800 мм/хв, що в сполученні зі швидкостями трасування давача забезпечує горизонтальне збільшення від 2 до 4000. Переключення швидкостей здійснюється маховичком 13.

Установка пера на середину паперу, при відключеному приладі, виконується коректором 17. Зверху прилад має відкидну засклену кришку 1 (рис. 11.9). Закривання кришки здійснюється ексцентриковим замком 5.

Прилад має блокувальну кнопку, включену в ланцюг постійної напруги 300-350 В, яка подається на перо 14, що підвішене шарнірно у центрах до рамки приладу. Цей ланцюг замикається тільки при закритій кришці. Струм у ланцюзі 2 мА.

Вмикання і вимикання руху паперової стрічки виконується вимикачем 12. Одночасно цим вимикачем відключається висока напруга, яка подається на перо. Записуючий прилад підключається до електронного блоку за допомогою 6-контактного роз’єму 16.

11.2.9 Показуючий прилад

Оцінка шорсткості поверхні виконується за параметром *Ra* (середнє арифметичне відхилення мікронерівностей від середньої лінії профілю) з 5 по 12 клас включно. Шкала показуючого приладу представлена на рисунку 11.10.

В якості показуючого приладу 3 (рис. 11.11) використовується мікроамперметр постійного струму типу М24.

Включення і відключення приладу виконується за допомогою контактів 10 (рис. 11.7), вбудованих у мотопривод і зв’язаних із трасою. Довжина траси, що відтинається цими контактами, дорівнює: 6, 3,2 чи 1,6 мм.

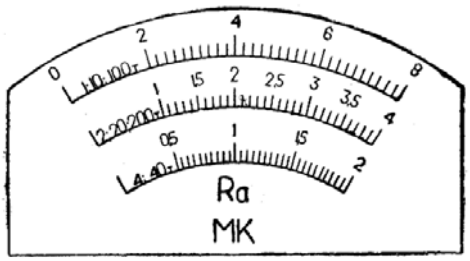


Рисунок 11.10 – Шкала показуючого приладу

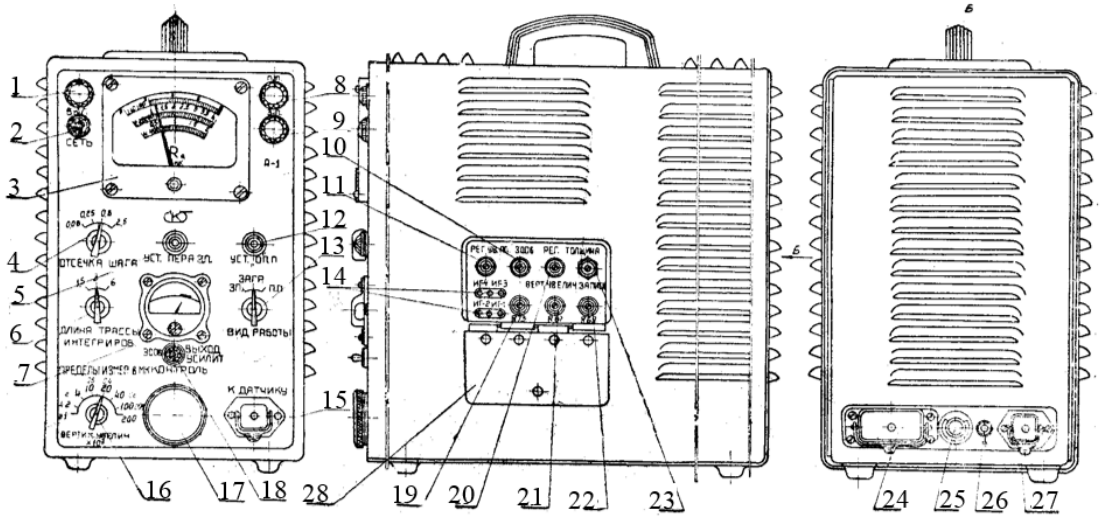


Рисунок 11.11 – Показуючий прилад

Відлік показів приладу виконується за шкалою після того, як стрілка приладу 3 (рис. 11.11) автоматично зупиниться. Повернення стрілки показуючого приладу також автоматичне при зведенні давача замиканням контактів 11 (рис. 11.7), вбудованих у мотопривод.

Суміщення стрілки приладу з «0» шкали виконується за допомогою обертання ручки 12 (рис. 11.11). Шкала показуючого приладу показана на рисунку 11.9.

Значення величин мікронерівностей відраховується за шкалою, що відповідає встановленому ручкою 16 вертикальному збільшенню (рис. 11.12). Цифрування шкали дано для збільшень: 1, 2 і 4 тис. – у масштабі 1:1; для збільшень: 10; 20 і 40 тис. – у масштабі 1:10; для збільшень 100 тис. – у масштабі 1:100.

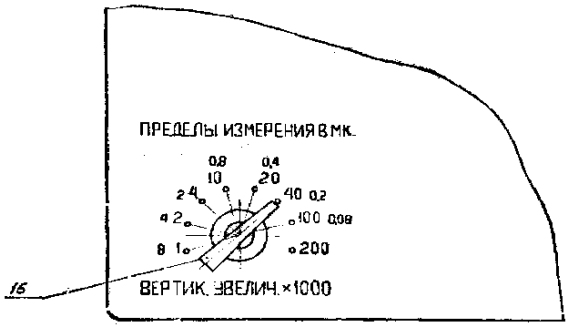


Рисунок 11.12 – Межі вимірювання

Визначення класу шорсткості поверхні виконується відповідно до ГОСТ 2789 –89, виписка з якого приведена в таблиці 11.1.

Таблиця 11.1 –Класи шорсткості поверхні

Клас точності	*Ra*, мкм
12	більше 0,020 до 0,040
11	більше 0,040 до 0,08
10	більше 0,08 до 0,16
9	більше 0,16 до 0,32
8	більше 0,32 до 0,63
7	більше 0,63 до 1,25
6	більше 1,25 до 2,5
5	більше 2,5 до 5,0

11.2.10 Робота на приладі

Перед роботою прилад необхідно прогріти протягом 20 хвилин. Прогрівання необхідно проводити з давачем, встановленим у робоче положення.

11.2.10.1 Використання приладу як профілографа

При записуванні нерівностей із кроком до 2-2,5 мм можливе застосування звичайної тороїдальної опори з радіусом 50 мм.

У випадку записування нерівностей із кроком до 4 мм необхідно застосовувати опору з плоскою опорною поверхнею.

У тих випадках, коли потрібно виконати запис нерівностей із кроком більше 4-х мм, потрібно використовувати опору з опорним гвинтом, з установкою її на проміжну прямолінійну деталь чи застосовувати пристосування для перевірки хвилястості.

Робота на записуючому приладі виконується у наступній послідовності.

1. Закріпити давач на мотоприводі, для чого необхідно вставити давач у шток мотопривода так, щоб штифт 9 (рис. 11.5) давача ввійшов у паз штока мотопривода, і застопорити давач гвинтом 9 (рис. 11.6).

2. Встановити деталь в пристосуванні на універсальному столику.

3. Встановити давач на випробувальну поверхню. Установка давача виконується вертикальним переміщенням мотопривода з давачем по стійці. Для цього необхідно маховиком 14 (рис. 11.8) відстопорити каретку з мотоприводом та, обертаючи маховик 13, установити давач на випробувальну поверхню. Застопорити каретку на стійці маховиком 14.

Для більш точної установки давача на випробувальну деталь встановлення варто виконувати обертанням маховика 10 (рис. 11.8). При цьому внутрішній корпус каретки повинен бути застопорений маховиком 14 (рис. 11.8).

Обертання маховиків 10 і 13 (рис. 11.8) здійснюється доти, поки стрілка контрольного приладу 7 (рис. 11.11) не буде знаходитися в ділянці нижнього прямокутника, причому тумблер 18 (рис. 11.11) повинен знаходитися в

положенні «вихід підсилювача». Необхідно, щоб обертання маховика 13 (рис. 11.8) за годинниковою стрілкою, а маховика 10 проти годинникової стрілки (при підйомі мотопривода) викликало переміщення стрілки контрольного приладу 7 (рис. 11.11) зліва направо, при цьому деталь буде знаходитися з правої сторони паперової стрічки, тобто напрямок поглиблення поверхні буде йти зліва на право.

4. Встановити необхідне вертикальне збільшення від 1 до 200 тис. поворотом перемикача 16 (рис. 11.11).

5. Поворотом перемикача 4 (рис. 11.6) установити швидкість трасування давача 0,2 чи 1,0 мм/хв.

6. Обертанням маховика 13 (рис. 11.9) записуючого приладу встановити необхідну швидкість переміщення паперу залежно від необхідного горизонтального збільшення (таблиця 11.2).

Таблиця 11.2 – Залежність швидкостей давача і паперу записуючого приладу

Швидкість давача, мм/хв	Швидкість паперу, мм/хв					
	20	40	80	200	400	800
Горизонтальне збільшення						
0,2	100	200	400	1000	2000	4000
1,0	20	40	80	200	400	800
10	2	4	8	20	40	80

7. Перемикач 13 (рис. 11.11) встановити в положення «ЗП» – записуючий прилад.

8. При значному відхиленні пера записуючого приладу із середини паперової стрічки, відстопоривши каретку маховичком 14 (рис. 11.8), обертанням маховика 13 (рис. 11.8) і ручки 5 (рис. 11.11) установити його у необхідне положення. Після цього поворотом маховика 14 (рис. 11.8) зафіксувати положення каретки з мотоприводом на стійці.

9. Включити записуючий прилад, поставивши перемикач 12 (рис. 11.9) в положення «Включено».

10. Включити рух давача, відвівши важіль 5 (рис. 11.6) вправо до упору.

Паралельність руху давача відносно вимірюваної поверхні, що забезпечує запис мікронерівностей без значного нахилу до поздовжніх ліній паперу, установлюється маховиком 1 (рис. 11.8) вузла нівелювання. Після закінчення вимірювання перемикач 13 (рис. 11.11) установити в положення «ЗАГР» – загрублено, перемикач 12 (рис. 11.9) у положення «ВЫКЛ» – виключено.

11.2.10.2 Використання приладу як профілометра

1. Встановити прилад на основі чи в пристосуванні.

2. Установити необхідну межу вимірювання від 8 до 0,08 мкм поворотом перемикача 16 (рис. 11.11). (див. на приладі ряд цифр, зафарбованих червоною

фарбою).

3. Маховичок 6 (рис. 11.6) встановити на «ПП»– показуючий прилад.

4. Поворотом важеля 5 (рис. 11.6) уліво до упору перевести давач у ліве положення. При цьому стрілка показуючого приладу 3 (рис. 11.11) повинна повернутися на «0» шкали. У випадку розбіжності стрілки з «0» шкали, її необхідно встановити. Встановлення стрілки на «0» виконується рукояткою 12 (рис. 11.11).

5. Встановити давач на поверхню, що досліджується. Встановлення давача здійснюється вертикальним переміщенням мотопривода з давачем при обертанні маховика 13 (рис. 11.8). Маховик обертати доти, поки стрілка контрольного приладу 7 (рис. 11.11) не буде, знаходитися біля нижнього прямокутника. Під час вимірювання стрілка не повинна виходити з цієї ділянки. При цьому перемикач 18 (рис. 11.11) повинен знаходитися в положенні «выход усилителя».

6. Повернути перемикач 4 (рис. 11.6) мотопривода так, щоб стрілка вказувала на індекс «ПП» – показуючий прилад; при цьому повинна відчуватися фіксація собачки і автоматично включатися швидкість 0,7 мм/сек для показуючого приладу.

7. Установити перемикач 1 (рис. 11.6) у положення обраної довжини траси інтегрування відповідно: 1,6; 3,2 чи 6 мм.

8. Перемикач 13 (рис. 11.11) встановити в положення «ПП» – показуючий прилад.

9. Встановити перемикач 6 (рис. 11.11) у положення, що відповідає обраній довжині траси інтегрування 1,6; 3,2 чи 6 мм.

10. Перемикачем 4 (рис. 11.11) установити необхідну базову довжину відсічення кроку (0,08; 0,25; 0,8 чи 2,5 мм).

11. Поворотом маховика 14 (рис. 11.8) зафіксувати положення каретки з мотоприводом на стійці.

12. Включити рух давача, відвівши важіль 5 (рис. 11.6) вправо до упору. Паралельність руху давача відносно вимірювальної поверхні встановлюється маховиком 1 (рис. 11.8) вузла нівелювання, контроль паралельності здійснюється приладом 7 (рис. 11.11).

13. Після зупинки стрілки показуючого приладу провести відлік.

Після закінчення вимірювання перемикач 13 (рис. 11.11) установити в положення «ЗАГР» – загрублено.

При всіх операціях по встановленню зразка і підготовці до вимірювання чи запису перемикач 13 (рис. 6.10) повинен стояти в положенні «ЗАГР».

11.2.10.3 Вказівки до виконання вимірювань

1. При встановленні давача на поверхню, що перевіряється, рекомендується для уникнення поломки голки давача піднімати трубку рукою й обережно опускати на досліджувану поверхню. Те ж саме рекомендується виконувати при переведенні давача вліво. Встановлення і знімання давача необхідно виконувати при виключеному електронному блоці [тумблер 2 (рис. 6.11) повинен займати положення «выключен»].

2. Якщо при записі профілограми середня лінія профілю систематично відхиляється убік, що означає непаралельність траси давача відносно досліджуваної поверхні, слід установити вимірювальну поверхню паралельно трасі давача обертанням диска 1 (рис. 11.8) вузла нівелювання приладу на необхідну величину.

3. Для заміни використаного рулону паперу новим необхідно:

а) відкрити кришку записуючого приладу 1 (рис. 11.9);

б) підняти вимірювальний механізм 2, відкинувши його на центрах 7 до його фіксації засувкою;

в) зняти котушку 18 (рис. 11.9) із залишком рулону діаграмного паперу, піднімаючи її до верху і подаючи на себе;

г) зняти з котушки залишок паперу і шпулю;

д) встановити новий рулон діаграмного паперу до упора в бурт котушки так, щоб напис на папері профілограф заводу «Калибр» був ліворуч.

4. У проміжках між вимірюваннями, коли прилад не вимкнений, давач рекомендується встановлювати на яку-небудь поверхню так, щоб стрілка контрольного приладу 7 (рис. 11.11) знаходилася в межах великого прямокутника шкали.

5. При вимиканні приладу на тривалий час давач рекомендується знімати з приладу щоб уникнути випадкових ударів.

Контрольні питання

1. Що являє собою шорсткість поверхні?
2. Що являє собою хвилястість поверхні?
3. Для чого призначений профілометр-профілограф моделі 201?
4. Принцип роботи профілометра-профілографа.
5. З яких основних блоків складається профілометр-профілограф моделі 201?
6. Принцип роботи давача.
7. Для чого призначений мотопривод?
8. Принцип роботи показуючого приладу.
9. Принцип роботи записуючого приладу.

Лабораторна робота №12
ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ПНЕВМОЕЛЕКТРОКОНТАКТНІ

Мета: ознайомитися з будовою і призначенням перетворювачів пневмоелектроконтактних і навчитись визначати параметри пневматичної вимірювальної системи при практичних вимірюваннях розмірів деталей.

Прилади та обладнання: перетворювач пневмоелектроконтактний моделі 249; стійка мікрокаторна; контрольне сопло Ø1,5 мм; редуктор тиску повітря з стабілізатором; пневмотрубки; з'єднувальний кабель.

Теоретичні відомості

12.1 Призначення

Перетворювачі пневмоелектроконтактні сильфонні диференціальні служать для перетворення величини вимірювального тиску, пов'язаного з контрольованим параметром, у переміщення стрілки щодо шкали перетворювача і в електричний дискретний сигнал.

Перетворювачі пневмоелектроконтактні призначені для автоматизації і механізації засобів контролю лінійних розмірів основаних на пневматичному методі вимірювань.

Перетворювачі можуть бути використані в контрольних автоматах, приладах активного контролю, механізованих вимірювальних пристроях, світлосигнальних приладах тощо.

На рисунку 12.1 показаний перетворювач пневмоелектроконтактний моделі 249.

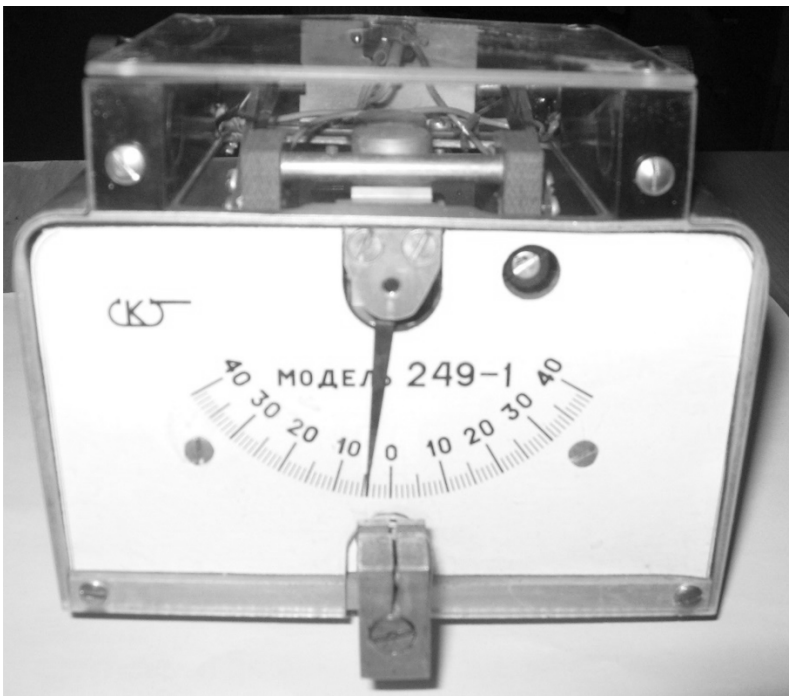


Рисунок 12.1 – Перетворювач пневмоелектроконтактний модель 249–1

Перетворювачі дозволяють контролювати граничні відхилення розмірів, різницю чи суму двох розмірів, а також відхилення форми.

Перетворювачі, залежно від зміни вимірювального тиску в камерах (перепаду тиску), що відповідає переміщенню стрілки між крайніми відмітками шкали, випускаються в двох виконаннях: зі зміною вимірювального тиску 0,02-0,04 МПа і 0,04-0,06 МПа.

Перетворювачі зі зміною вимірювального тиску 0,02-0,04 МПа дозволяють одержати більш високу чутливість у порівнянні з перетворювачами зі зміною вимірювального тиску 0,04-0,06 МПа при тих самих пневматичних параметрах, а при одній і тій же чутливості забезпечують менший час спрацьовування. Однак, контроль виробів з великими допусками такими перетворювачами здійснювати не слід.

У цих випадках рекомендується застосовувати перетворювачі зі зміною вимірювального тиску 0,04-0,06 МПа.

Час спрацьовування визначено при робочому тиску 0,15 МПа, діаметрі вимірювального сопла 2 мм, діаметрах отворів вхідних сопел, що відповідають ціні поділки 0,2-2 мкм, об'ємі вимірювальної камери 58 $см^3$ (порожнина сильфонів – 20 $см^3$, приєднувальна трубка: довжина 3 м, внутрішній діаметр – 4 мм).

Перетворювачі пневмоелектроконтактні моделі 249 застосовуються для граничного контролю деталей з розсортовуванням на три групи (перетворювачі мають два граничних контакти).

12.2 Технічні характеристики

12.2.1 Тип – пневматичний.

12.2.2 Зміна вимірювального тиску, час спрацьовування, число контактів і число груп сортування приведені в паспорті приладу.

12.2.3 Робочий тиск, МПа – 0,15±0,05.

12.2.4 Число поділок шкали – 80 (±40).

12.2.5 Довжина поділки шкали, мм – 1.

12.2.6 Відношення ціни поділки шкали до ціни поділки барабанчика настроювального гвинта – 1:2.

12.2.7 Ціна поділки шкали, мкм – 0,2...2.

12.2.8 Діапазон показів, мкм – 16-160.

12.2.9 Нестабільність спрацьовування, Па (мм вод. ст.), не більше 100(10).

12.2.10 Зсув настроювання після 15000 спрацьовувань протягом 8 годин, Па (мм вод. ст.), не більше ±100(10).

12.2.11 Похибка настроювання, Па (мм вод. ст.), не більше ±100(10).

12.2.12 Похибка зворотного ходу, у поділках шкали – 0,8.

12.2.13 Габаритні розміри, мм, не більше

– ширина – 100;

– висота – 102;

– довжина – 132.

12.2.14 Маса, кг, не більше 2,03.

Примітка. 1. Під лінійністю шкали перетворювача за тиском розуміється відношення в % максимального прогину по горизонталі характеристики “показ за шкалою – зміна вимірювального тиску в сильфонах” відносно прямої, що з’єднує крайні точки цієї характеристики, до горизонтальної проекції цієї характеристики.

2. Перерахування нестабільності спрацьовування, похибки настроювання і зсуву настроювання в лінійних величинах в мм, проводиться за формулою (12.1):

$$\delta = \frac{\alpha \cdot \delta s}{\delta h}, \qquad (12.1)$$

де α – нормована величина нестабільності спрацьовування, похибки настроювання чи зміщення настроювання в Па;

δs – діапазон показів у мм, рівний добутку ціни поділки на число поділок шкали;

δh – зміна вимірювального тиску в Па, що відповідає діапазону показів δs.

12.3 Будова і принцип роботи

12.3.1 Принципова схема

Принципова схема перетворювача пневмоелектроконтактного показана на рисунку 12.2. До корпуса розподілювача повітря 6 закріплені чутливі елементи – сильфони 5. Вільні кінці сильфонів жорстко зв’язані стяжками 4 і 7. Останні за допомогою планок 3 закріплені на плоскопружинному паралелограмі 2. Сильфони разом із пружинами плоскопружинного паралелограма утворюють пружну систему перетворювача. Хід пружної системи обмежений упорами 1. З пружною системою зв’язаний відліковий пристрій, що складається з валика 25 зі стрілкою 24. Для зменшення тертя валик 25 закріплений у кронштейні 26 на центрах у годинникових каменях. Через валик 25 перекинута капронова нитка 23, один кінець якої закріплений на барабані 22, інший розтягнутий пружинкою 27. Гвинт 21 з лівою різьбою кріпить барабан 22, при повороті якого можна змінювати положення стрілки відлікового пристрою за шкалою при настроюванні перетворювача. На планках 3 за допомогою плоских пружин 8 закріплені рухомі контакти 9, що переміщаються разом із пружною системою. Регульовані контакти 10 служать для контролю граничних розмірів деталі. Амплітудний контакт перетворювача 12 установлений на фторопластових призмах 13, закріплених на стяжках 7. До призм 13 амплітудний контакт притискається пружинкою 14 через фторопластову п’яту 15. Навпроти торців амплітудного контакту розташовані з однієї сторони нерухомий контакт 11, з іншої сторони регульований контакт 16.

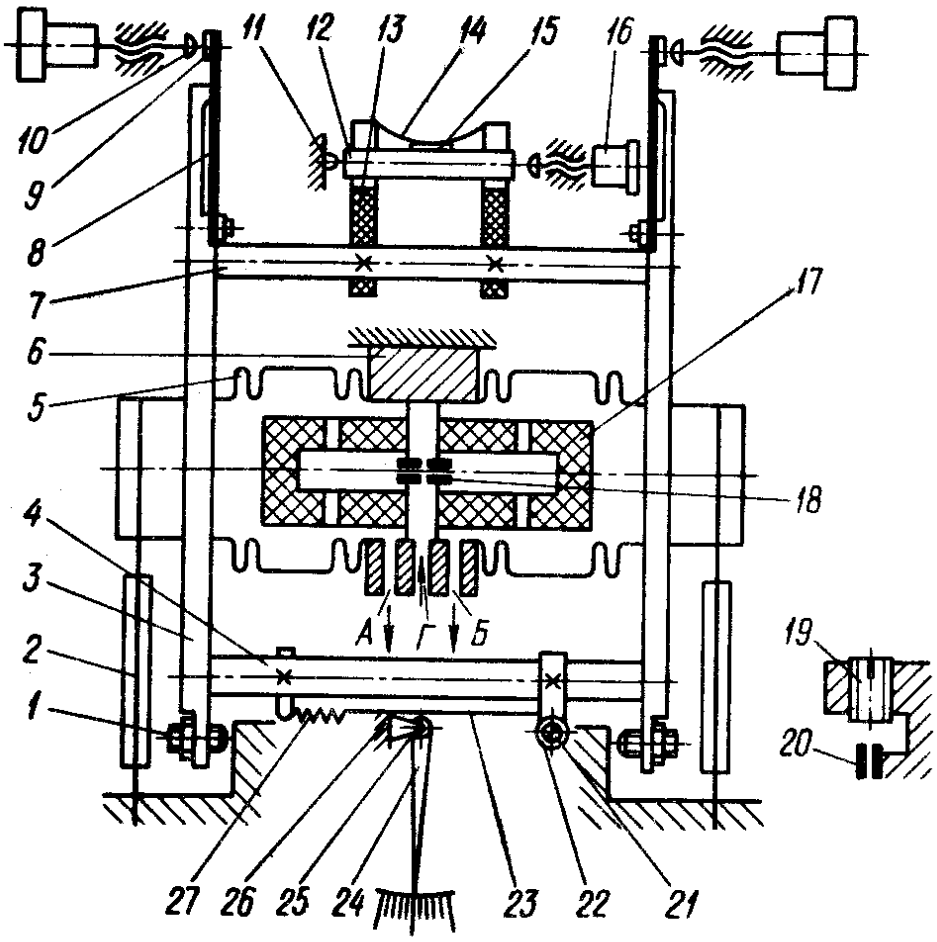


Рисунок 12.2 – Принципова схема перетворювача пневмоелектроконтактного

Регульований контакт 16 потрібен для установки діапазону вимірювань при контролі амплітудних розмірів деталі.

Контакти 9-12 і 16 включаються в електричний ланцюг.

Вільні порожнини сильфонів, трубки, що підводять повітря і канали вимірювального оснащення, утворюють вимірювальну камеру.

Для зменшення часу спрацьовування перетворювача у внутрішніх порожнинах сильфонів встановлені пробки 17, що скорочують об’єм вимірювальної камери.

У корпусі розподільника повітря 6 встановлені вхідні сопла 18.

Канал «Г» перетворювача з’єднується з вузлом підготовки повітря.

Для випадків недиференціальних вимірювань розмірів передбачений вентиль протитиску, що підключається до каналу «А». Вентиль протитиску типу сопло-заслінка складається із сопла 20 і регульованої п’яти 19. До каналу «Б» підключається вимірювальне оснащення.

При диференціальних вимірюваннях вимірювальне оснащення приєднується до двох каналів перетворювача «А» і «Б».

Робота перетворювача пневмоелектроконтактного (рис. 12.2)

відбувається наступним чином.

Повітря від вузла підготовки повітря, де воно ретельно очищається від мастила і механічних домішок і стабілізується за тиском (робочий тиск H), підводиться до каналу «Г» корпуса розподільника 6.

Пройшовши вхідні сопла 18, повітря надходить у порожнини сильфонів. При роботі перетворювача за схемою з протитиском повітря з лівого сильфона виходить в атмосферу через зазор між торцями п'ятки і сопла вентиля протитиску.

У порожнині цього сильфона утворюється постійний тиск $h_н$ (тиск протитиску). Повітря із порожнини правого сильфона підводиться до вимірювального оснащення і через вимірювальний зазор S виходить в атмосферу. У порожнині цього сильфона створюється вимірювальний тиск h, величина якого однозначно пов'язана зі значенням контрольованого параметра. Таким чином, положення рухомої системи перетворювача, а відповідно і переміщення стрілки, визначається різницею вимірювального тиску і постійного протитиску.

Вентиль протитиску дозволяє змінювати тиск $h_н$ при настроюванні для переміщення стрілки перетворювача на середину шкали.

При диференціальних вимірюваннях рухома система перетворювача переміщається під дією різниці вимірювальних тисків у сильфонах. Витрати повітря через вимірювальне оснащення, а відповідно, і вимірювальний тиск будуть визначатися співвідношенням площ прохідних перерізів вхідного і вимірювального сопел і величиною робочого тиску. На рисунку 12.3 представлена графічна залежність між значенням вимірювального тиску (h) і вимірювального зазору (S) – характеристика пневматичного вимірювального пристрою.

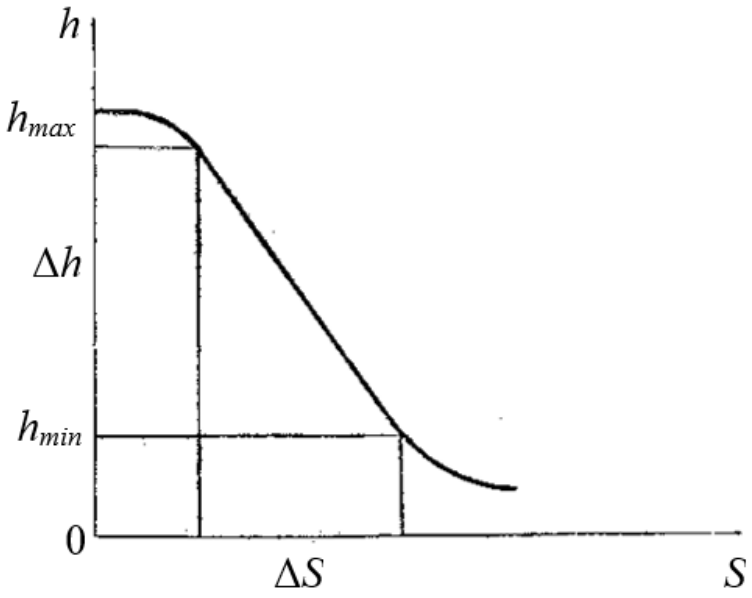


Рисунок 12.3 – Графічна залежність між значеннями вимірювального тиску (h) і вимірювального зазору (S)

Частина характеристики, яка використовується для роботи вимірювальної системи, називається робочою ділянкою. Робоча ділянка зазвичай розташовується в межах прямолінійної ділянки характеристики, вихід за межі якої призводить до нелінійної шкали відлікового пристрою. Збільшення H, діаметра отвору вимірювального сопла d_2 і зменшення діаметра вхідного сопла d_1 збільшують чутливість (кут нахилу характеристики), а збільшення d_1 і зменшення d_2 і H діє у зворотному напрямку. Чим вища чутливість пневматичної частини вимірювального пристрою, тим менше його діапазон показів ΔS (прямолінійна ділянка характеристики).

При вимірюванні граничних розмірів рухомі контакти, переміщаючись разом з рухомою системою перетворювача, по черзі замикаються з регульованими контактами 10, налаштованими на границі допуску контрольованого параметра.

На відміну від граничних контактів амплітудний контакт не скріплений жорстко з рухомою системою перетворювача, а має можливість проковзувати відносно її в призмах 13. Від мимовільного зсуву амплітудний контакт утримується силою пружинки 14. При амплітудних вимірюваннях вимірювальна деталь переміщається відносно вимірювальних сопел. За цикл вимірювання вимірювальний тиск досягає екстремальних значень. Похибка форми, обумовлена різницею найбільшого і найменшого розміру за цикл вимірювання, відповідає різниці тисків $h^{max}–h^{min}$.

При відсутності деталі на вимірювальній позиції з безконтактним оснащенням вимірювальний тиск мінімальний і амплітудний контакт 12 упирається в нерухомий контакт 11. У процесі вимірювання амплітудний контакт 12 впирається в регульований контакт 16 і проковзує відносно рухомої системи перетворювача доти, поки величина вимірювального тиску не стане зменшуватися. При зменшенні вимірювального тиску від максимального значення амплітудний контакт рухається разом з рухомою системою перетворювача в бік нерухомого контакту. Чи торкнеться амплітудний контакт нерухомого контакту 11 залежить від форми деталі (наприклад, овальності). Якщо відбудеться дотик, то деталь буде забракована, якщо ж дотику не буде, то деталь є придатною.

Контакти 11, 16 рекомендується включати в мережеві ланцюги електронного реле, яке повинно спрацьовувати тільки після почергового спрацьовування обох контактів у процесі вимірювання.

Можливе включення перетворювача в ланцюг, що має дві сигнальні лампочки, кожна з яких запалюється від замикання відповідного контакту.

У цьому випадку сигналом браку є почергове запалювання обох лампочок.

Правильність геометричної форми чи взаємного розташування поверхонь можна контролювати без амплітудного контакту при роботі перетворювача за схемою диференціальних вимірювань, вимірюючи різницю розмірів у двох перетинах деталі. Однак, отримана різниця розмірів може виявитися не найбільшою, тому що розмір контролюється тільки у визначених

перетинах, кутова відстань між якими може не відповідати найбільшій різниці розмірів. Це зауваження актуальне як у випадках нерухомої, так і обертової у процесі контролю деталі.

12.3.2 Вузол підготовки повітря

Разом з перетворювачем пневмоелектроконтактним використовується вузол підготовки повітря, призначений для ретельного очищення стиснутого повітря і стабілізації його тиску.

Вузли підготовки повітря містять у собі фільтри і стабілізатори.

Міра забруднення повітря безпосередньо впливає на результати вимірювання, знижує надійність і термін служби пневматичних приладів.

Наліт мастила, пилу і вологи на внутрішніх стінках вхідних і вимірювальних сопел, попадання твердих часток в отвори сопел і вимірювальний зазор змінюють характеристику перетворювача і приводять до похибок вимірювання.

Стабілізатор тиску повітря знижує тиск повітря, що надходить із пневматичної мережі, до заданої величини і забезпечує незалежність показів перетворювача від зміни витрати повітря і нестабільності тиску джерела стиснутого повітря (мережі живлення).

Найбільш раціональним компонуванням вузла для підготовки повітря є блок фільтра зі стабілізатором.

Для роботи з перетворювачем рекомендується блок фільтра зі стабілізатором тиску повітря до приладів для контролю лінійних розмірів ФСВ-1-337 ГОСТ 14683–89, що призначений для застосування в пневматичних пристроях із сумарною витратою повітря не більш 100 л/хв.

Іноді, замість блоку фільтра зі стабілізатором можна застосовувати окремі вузли: фільтр повітря ФВ6-1-312 ГОСТ 14266– 89 і стабілізатор тиску повітря СВ6-1-335 чи СВ6-2-328 ГОСТ 14682–89, що мають максимальну витрату повітря 100 л/хв.

Знання максимальної витрати повітря при вимірюванні дозволяє правильно розрахувати потрібну кількість стабілізаторів за їхньою пропускною здатністю.

Значення витрати повітря Q для вимірювальних зазорів S, що відповідають кінцю і середині прямолінійної ділянки характеристики вимірювального пристрою, і максимальної витрати повітря при повністю відкритих соплах вимірювального оснащення, що визначається діаметром вхідного сопла d_1, приведені в паспорті перетворювача.

Витрата повітря через перетворювач при диференціальній схемі вимірювання не перевищує подвоєної витрати повітря в кінці прямолінійної ділянки, при недиференціальній схемі вимірювання не перевищує витрати повітря в кінці прямолінійної ділянки плюс витрата повітря через вентиль протитиску, що відповідає середині прямолінійної ділянки характеристики витрат.

У багатьох випадках можна використовувати один стабілізатор для живлення групи перетворювачів, що дозволяє зменшити їхні габарити, але

створює певні незручності при налагодженні і експлуатації перетворювачів. Наприклад, не можна регулювати чутливість перетворювача зміною робочого тиску, неприпустимі незалежне настроювання і робота перетворювачів. Через можливі коливання сумарної витрати повітря зростає нестабільність робочого тиску, що приводить до збільшення похибки вимірювання. У випадку складних диференціальних вимірювань одночасно декількома перетворювачами, наприклад, контроль двох діаметрів і їхньої різниці за допомогою трьох перетворювачів, усі вони повинні живитися від одного стабілізатора тиску.

12.3.3 Вимірювальне оснащення

Конструкція, форма і розміри вимірювального оснащення залежать від виду вимірювання (зовнішнє чи внутрішнє) і способу вимірювання (контактний чи безконтактний). Найбільше поширення знайшов безконтактний спосіб вимірювання, наприклад, при вимірюванні легко деформованих деталей (тонкостінні труби, листи тощо), деталей із м'яких матеріалів (титан, мідь, бабіт, гума) чи навпаки, деталей з дуже твердих матеріалів – термооброблена кераміка, твердий сплав, які викликають дуже швидке спрацьовування контактних наконечників.

Вимірювальне оснащення в найпростішому вигляді являє собою сопло вимірювальне, пневматичну пробку, скобу чи кільце. Розміри робочої частини вимірювальних сопел приведені на рисунку 12.4 і в таблиці 12.1 – для сопла з циліндричним отвором і на рисунку 12.5 – для щілинного сопла.

Таблиця 12.1 – Розміри робочої частини вимірювального сопла

d_2, мм		D=0,020 мм		L±0,1	l
Номінальний	Граничне відхилення	Для манометричних приладів високого тиску з одним вимірювальним соплом	У решті випадків	Номінальна	
1,0	+0,010	3,0	2,0	2	1
1,5		2,3	3,0		
2,0		3,0	4,0	4	2

Підвідний канал сопла (рис. 12.4) повинний бути таким же, як і в іншій частині повітропроводу вимірювальної камери, а саме для перетворювачів з діаметром вхідних сопел $d_1 \geq 1{,}2$ мм рівним 4 мм; для перетворювачів з діаметром вхідних сопел $d_1 < 1{,}2$ мм рекомендується робити підвідний канал сопла d рівним 3-3,5 мм.

Призначення d більше зазначених величин (4 і 3 мм) призводить до погіршення динамічних властивостей перетворювача внаслідок зростання об'єму вимірювальної камери.

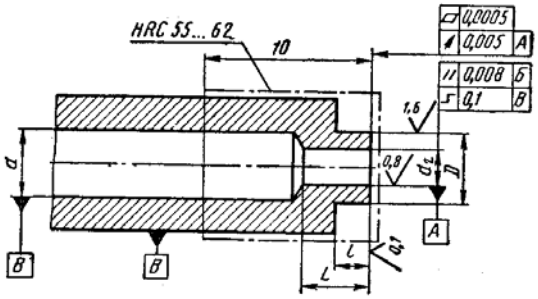


Рисунок 12.4 – Розміри робочої частини вимірювального сопла. Матеріал: сталь 95Х18 ГОСТ 5949–75. Невказані граничні відхилення розмірів: отворів $H14$, валів $h14$, решти $\pm \frac{IT14}{2}$

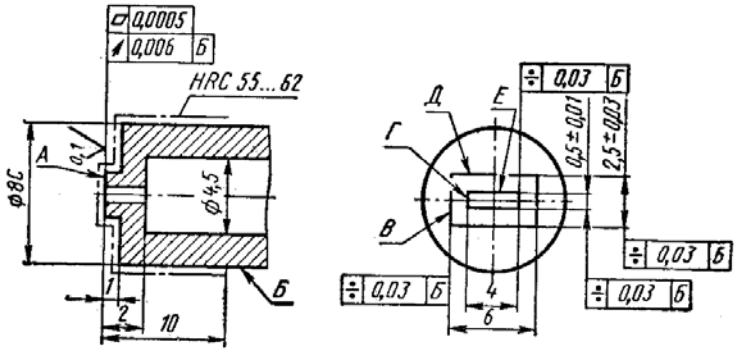


Рисунок 12.5 – Розміри робочої частини щілинного вимірювального сопла 0,5х3,0 ГОСТ 5949–75. Матеріал: сталь 95Х18 ГОСТ 5949–75. Невказані граничні відхилення розмірів: отворів H14, валів h14, решти $\pm \frac{IT14}{2}$

Довжина прямолінійної ділянки характеристики пневматичного вимірювального пристрою на деяких режимах змінюється в залежності від діаметра сопла D.

Рекомендується використовувати вимірювальне оснащення з діаметром сопел, рівним 2 мм.

Щілинні сопла застосовуються для контролю отворів з вузькими поясками і контролю глухих отворів.

На рисунках 12.6 і 12.7 приведені принципові схеми вимірювання різних параметрів деталі. Малі отвори можна виміряти методом витікання, пропускаючи повітря безпосередньо через отвори, вимірюючи тим самим не діаметр отвору, а його площу.

Такий спосіб особливо придатний для перевірки сопел форсунок, карбюраторних жиклерів тощо, тому що дозволяє визначити пропускну здатність отвору з урахуванням впливу таких факторів, як шорсткість поверхні стінок отвору з урахуванням впливу, довжини отвору, величини і форми фасок на торцях отворів, геометричної форми. Вплив перерахованих вище факторів створює значні похибки вимірювання, тому цей спосіб мало придатний для вимірювання отворів, що сполучаються з іншими деталями.

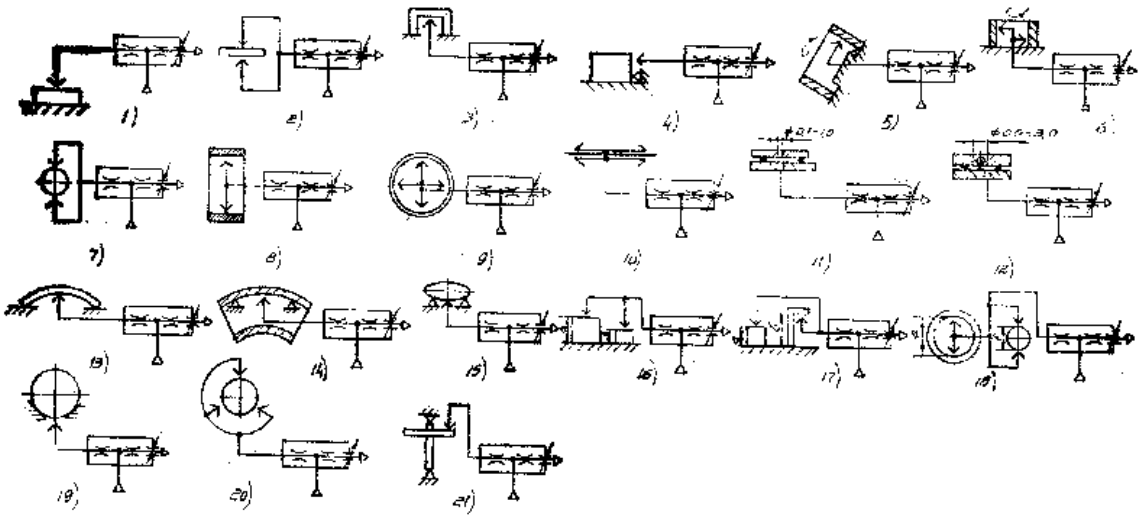


Рисунок 12.6 – Приклади вимірювання різних параметрів з допомогою перетворювача, який працює за диференціальною схемою вимірювання: 1–висоти; 2–товщини; 3–глибини; 4–неперпендикулярності; 5,6–неперпендикулярності торця осі отвору; 7–діаметру вала; 8–діаметру отвору; 9–середнього діаметра; 10–діаметра дроту; 11–малих отворів методом вичерпування; 12–малих отворів за допомогою проміжного тіла; 13–кривизни; 14–непрямолінійності твірної і викривлення осі; 15–відхилення від сферичної форми поверхні; 16–суми двох розмірів (а–в); 19–биття і огранки; 20–огранки; 21–биття торця

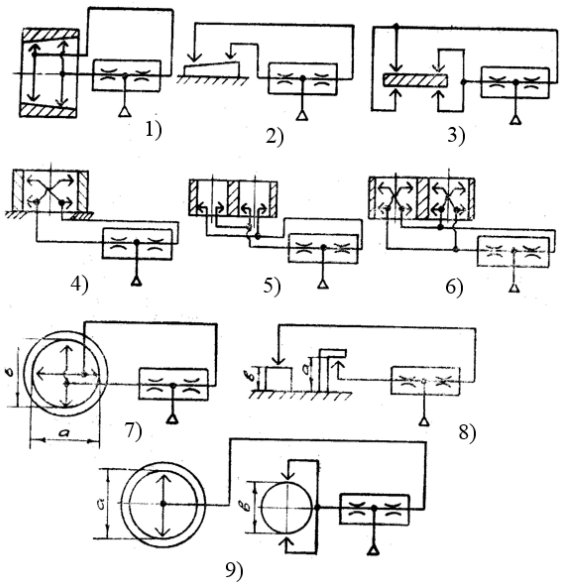


Рисунок 12.7 – Приклади вимірювання різних параметрів з допомогою перетворювача, який працює за диференціальною схемою вимірювання: 1–конусності; 2–нахилу; 3–різнотовщинності; 4–неперпендикулярності торця осі отвору; 5–відстані між осями отворів; 6–непаралельності осей двох отворів; 7–овальності як різниці діаметрів а–в; 8–різниці двох розмірів а–в; 9–різниці двох діаметрів а–в

Для визначення можливості вимірювання малих отворів методом витікання потрібно керуватися орієнтовними формулами (12.2-12.3):

$$D_{\min} = 2\sqrt{d_2\left(S_{cp} - \frac{\Delta S}{2}\right)}; \tag{12.2}$$

$$D_{\max} = 2\sqrt{d_2\left(S_{cp} + \frac{\Delta S}{2}\right)}, \tag{12.3}$$

де D_{min} і D_{max} – мінімальний і максимальний діаметри контрольованого отвору.

Для зниження похибки вимірювання при вимірюванні отворів вище 0,5 мм у них вводять проміжне тіло: калібровані кульки чи дротики.

Як проміжне тіло краще використовувати кульку, тому що вона дозволяє виміряти отвір у будь-якому січенні, виявляти конусність і бочкоподібність отвору, крім того його легше центрувати відносно отвору, що перевіряється.

При вимірюванні отворів за допомогою проміжного тіла діаметр проміжного тіла визначається за орієнтовною формулою (12.4):

$$d = \sqrt{D_{\min}^2 - 4d_2\left(S_{cp} - \frac{\Delta S}{2}\right)}. \tag{12.4}$$

Найбільший контрольований розмір дорівнює:

$$D_{\max} = \sqrt{D_{\min}^2 + 4d_2\Delta S}\,. \tag{12.5}$$

Контроль діаметрів більше 3 мм цим способом складно здійснити, тому що створення оптимальних прохідних перерізів стає можливим лише при малих зазорах.

Разом з перетворювачем може застосовуватися наступне вимірювальне оснащення:

а) сопло вимірювальне 300.0.00.3.00 – 01, діаметр отвору сопла 1,0 мм.
– 03, діаметр отвору сопла 1,5 мм.
– 05, діаметр отвору сопла 2,0 мм.

б) пробки пневматичні за ГОСТ 14864–89 для вимірювання наскрізних і глухих отворів з номінальними розмірами від 3 до 160 мм модель 334 і 347 разом з встановлювальними кільцями модель 346 за ГОСТ 14865–89.

Пробки пневматичні моделі 347 виготовляються зі сталі ШХ15СГ ГОСТ 801–80 для вимірювання отворів діаметром від 3 до 160 мм чи зі сталі 95Х18 ГОСТ 5949–85 для отворів діаметром від 6 до 16 мм, а моделі 334 – армовані твердим сплавом і виготовляються для вимірювання отворів діаметром від 8 до 160 мм.

У конструкціях контрольних пристосувань можуть застосовуватися

перетворювачі первинні пневматичні контактні осьової дії, модель 303, які дозволяють розширити межу вимірювання до 1,0 мм, коли малі габарити (діаметр корпуса 6 мм, довжина 31 мм) дозволяють легко вбудовувати їх у контрольні пристосування чи перетворювачі первинні пневматичні контактні бокової дії, модель 304, що представляють собою сопло-заслінку з важільною передачею 1:1 і 1:2.

Найбільше поширення знайшов безконтактний спосіб вимірювання, особливо при контролі отворів.

При безконтактному способі вимірювання на покази приладу впливає шорсткість поверхні вимірюваної деталі, тому вимірювати деталі із шорсткістю поверхні $Ra \geq 0{,}63$ мкм не рекомендується, оскільки виникають істотні додаткові похибки.

Вплив шорсткості може бути враховано введенням поправки, яка дорівнює різниці показів між встановлюваними мірами, що мають шорсткість $Ra \leq 0{,}08$ мкм, і атестованими робочими деталями тих самих розмірів, що і встановлювальні міри.

Контактний спосіб вимірювання виключає вплив шорсткості поверхні вимірюваної деталі на результати вимірювання.

12.4 Електронне реле

Для підсилення, запам’ятовування і розмноження сигналів, що надходять від перетворювача, можуть бути використані універсальні електронні реле: командне, модель 224, і сигнальне, модель 225. Використання цих реле, тобто робота перетворювача при напрузі 12 В і силі струму 0,2 мА, сприяє збереженню точності та довговічності роботи контактів перетворювача.

Реле складається із блоку живлення і від 1 до 5 приставок.

На виході командної приставки виведені по 3 перемикаючі групи, на виході сигнальної приставки виведені по 1 перемикаючій групі на кожну команду для комутації зовнішніх ланцюгів у різних системах контролю лінійних розмірів.

Кожна приставка реле має кнопкові перемикачі для переключення схеми в негативний і позитивний стан, а також для підключення амплітудних чи граничних контактів.

Схема приставок передбачає розрив ланцюга контактів перетворювача від зовнішнього ланцюга, наприклад, командоаппарата, тому що в контрольно-вимірювальних автоматах для виключення помилкових спрацьовувань вимірювальний струм включається тільки після установки контрольованої деталі на вимірювальну позицію.

12.5 Підготовка перетворювача і порядок роботи

12.5.1 Вивчити паспорт на перетворювач.

12.5.2 Встановити перетворювач у місці зручному для спостереження й обслуговування.

Перетворювач не повинен піддаватися великим ударам і вібраціям. Вібрація в діапазоні частот від 25 Гц з амплітудою коливання не більше 0,1 мм.

12.5.3 Закріпити перетворювач на основі за допомогою двох гвинтів М5х16 ГОСТ 7805–80.

12.5.4 Відкрутіть гвинти на бокових стінках, що захищають механізм перетворювача від ушкодження при транспортуванні.

12.5.5 Підключіть перетворювач до електричної схеми через роз'єм, який встановлений на задній стінці перетворювача.

Норми точності перетворювачів повинні забезпечуватися при роботі на змінному (частотою 50 Гц) струмі напругою до 50 В і силі струму до 0,2 мА при включенні перетворювача в електричний ланцюг з активним навантаженням.

При включенні перетворювача в ланцюг з індуктивним навантаженням контактів для запобігання контактів від спрацювання потрібно застосовувати елементи, призначені для гасіння іскр. Наприклад, ланцюг шунтують напівпровідниковим діодом.

12.5.6 Підключіть перетворювач до вузла підготовки повітря і вимірювального оснащення, для чого:

– відкрутіть гайки на з'єднанні кінцевому;

– зніміть пробки, що закривають отвори на з'єднанні кінцевому;

– надягніть на штуцери повітропідвідні шланги і закріпіть їх гайками.

Замість повітропроводів для підключення до вузла підготовки повітря, вимірювального оснащення і вентиля протитиску застосовується трубка ПВХ ТУ 6-01-02-120-83, а для підключення вузла підготовки повітря до пневматичної мережі застосовується полівінілхлоридна трубка МРТУ 6-05-1342-70 рецептура 38.

До верхнього з'єднання кінцевого підключається трубка з внутрішнім діаметром Ø6 мм і товщиною стінки 1,5 мм від вузла підготовки повітря.

До середнього і нижнього з'єднання кінцевого підключається трубка з внутрішнім діаметром Ø4 мм і товщиною стінки 1,5 мм від вимірювального оснащення.

При недиференціальних вимірюваннях до нижнього з'єднання кінцевого підключіть вентиль протитиску, для чого:

– вийміть заглушку;

– зніміть трубку з нижнього з'єднання кінцевого і встановіть на нього пробку;

– вкрутіть замість заглушки 4 вентиль протитиску.

12.5.7 Зробіть вибір параметрів пневматичних вимірювальних систем за таблицею 12.2 для вимірювання розміру деталі з заданим допуском.

Установіть в перетворювач вхідні сопла, отвори яких d_2 вибираються залежно від необхідного діапазону вимірювання і передатного відношення. Причому весь діапазон вимірювання повинний розташовуватися в області прямолінійної ділянки характеристики пневматичного вимірювального пристрою і займати як можна більшу частину цієї ділянки. Діапазон вимірювання вибирається рівним контрольованому допуску плюс 5 мкм на неточність установки початкового зазору у кожного вимірювального сопла, що працює від одного вхідного сопла.

При визначенні параметрів перетворювача потрібно, щоб зміна вимірювального тиску в межах вибраного діапазону була меншою чи дорівнювала зміні вимірювального тиску на робочому ході сильфонів перетворювача.

Ціна поділок шкали визначається за формулою (12.6):

$$i = \frac{\Delta S}{n_{вим}} = \frac{\Delta S}{n \cdot \dfrac{\Delta h}{\Delta h_{ср}}}, \qquad (12.6)$$

де $n=80$ – число поділок шкали перетворювача;

$\Delta h_{ср}$ – середнє значення зміни вимірювального тиску на перетворювачі;

$n_{вим.}$ – число поділок шкали перетворювача, що відповідає діапазону показів.

При диференціальних вимірюваннях чутливість кожної вимірювальної вітки повинна бути однаковою.

Для багатосоплового вимірювального оснащення вимірювальний зазор, що відповідає середині прямолінійної ділянки для кожного вимірювального сопла, може бути орієнтовно визначений за манометричними і витратними характеристиками, які подані у галузевих керівних технічних матеріалах БВ-ОРТМ-32-72.

Вимірювальні зазори для односоплового оснащення подано в таблиці 12.2.

12.5.8 За витратними характеристиками, наведеними в таблиці 12.3, у відповідності до вибраних параметрів пневматичної системи знайдіть витрати повітря через сопло, що відповідає середині прямолінійної ділянки характеристики.

12.5.9 Визначте час спрацьовування перетворювача. При контролі постійного в часі розміру час спрацьовування перетворювача є його динамічною характеристикою.

У таблиці 12.4 подані експериментальні значення часу спрацьовування.

Зазначені у таблиці 12.4 величини є максимальними при таких параметрах пневматичного вимірювального пристрою. Час спрацьовування подано для перетворювача з об’ємом вимірювальної камери рівним 58 см^3.

Таблиця 12.2 – Параметри і характеристики перетворювача

d_1, мм	d_2, мм	H, МПа	Прямолінійна ділянка характеристики ΔS, мкм	Вимірювальний зазор, який відповідає середині прямолінійної ділянки $S_{ср}$, мкм	Вимірювальний тиск, який відповідає середині прямолінійної ділянки $h_{ср}$, МПа	Чутливість K, $\frac{МПа}{мкм}\cdot 10^4$	Зміна вимірювального тиску на прямолінійній ділянці Δh, МПа
0,5	2,0	0,10	16	32	0,0655	18,80	0,0301
		0,15	20	35	0,0990	24,60	0,0492
		0,20	28	38	0,1205	30,00	0,0840
0,6	2,0	0,10	24	40	0,0710	12,50	0,0300
		0,15	28	49	0,0975	16,70	0,0468
		0,20	36	52	0,1300	19,70	0,0709
0,7	2,0	0,10	30	50	0,0750	8,00	0,0240
		0,15	24	62	0,1050	11,20	0,0269
		0,20	32	70	0,1350	14,20	0,0454
0,8	2,0	0,10	22	99	0,0590	6,20	0,0136
		0,15	42	109	0,0870	8,20	0,0344
		0,20	40	85	0,1455	10,20	0,0408
1,0	2,0	0,10	44	118	0,0730	3,80	0,0167
		0,15	50	115	0,1160	4,40	0,0220
		0,20	84	142	0,1420	6,00	0,0504
1,2	2,0	0,10	44	162	0,0765	2,36	0,0104
		0,15	60	180	0,1100	3,40	0,0204
		0,20	90	185	0,1480	4,20	0,0378
1,5	2,0	0,10	80	210	0,0810	1,33	0,0106
		0,15	60	190	0,1270	1,96	0,0118
		0,20	64	237	0,1620	2,51	0,0161
1,8	2,0	0,10	170	235	0,0875	0,75	0,0127
		0,15	190	255	0,1310	1,18	0,0224
		0,20	110	240	0,1790	1,43	0,0157

Час спрацьовування перетворювача прямо пропорційний об’єму вимірювальної камери і обернено пропорційний квадрату діаметра вхідного сопла. При інших об’ємах вимірювальної камери час спрацьовування може бути розрахований за формулою (12.7):

$$\tau = 0{,}017 \cdot t_{табл} \cdot V, \qquad (12.7)$$

де τ – час спрацьовування приладу в сек.;

$t_{табл}$ – час спрацьовування перетворювача, за таблицею 12.4;

V – об'єм вимірювальної камери в см^3.

Таблиця 12.3 –Витратні характеристики пневматичних вимірювальних систем

d_1, мм	H, МПа	Витрати повітря, л/хв								
		які відповідають кінцю прямолінійної ділянки характеристики				які відповідають середині прямолінійної ділянки характеристики				Через повністю відкриті сопла
		d_2, мм								
		1,0	1,5	2,0	0,5х3,0	1,0	1,5	2,0	0,5х3,0	
0,5	0,10	3,1	3,6	3,6	3,7	2,4	2,9	3,0	2,9	4,5
	0,15	4,7	4,8	5,1	4,9	4,5	4,4	4,2	3,2	5,6
	0,20	5,7	6,0	6,6	6,6	5,3	5,4	5,7	5,2	6,9
0,6	0,10	5,2	5,6	5,2	5,0	4,4	5,1	4,4	4,0	6,3
	0,15	6,5	7,6	7,2	6,8	5,9	7,0	6,3	6,0	8,0
	0,20	8,6	8,4	8,7	8,9	7,6	7,2	7,8	6,9	9,7
0,7	0,10	9,9	7,4	6,9	6,8	6,1	6,9	5,7	5,6	9,0
	0,15		10,0	9,3	8,6	8,7	9,2	6,1	7,8	12,0
	0,20	10,5	11,4	11,7	11,6	10,1	10,8	10,5	10,2	14,7
0,8	0,10	7,9	9,0	10,2	9,0	7,4	8,3	9,9	7,7	13,5
	0,15	10,4	12,8	13,8	11,2	9,3	11,8	12,9	8,0	17,9
	0,20	13,0	15,0	15,0	13,9	11,9	13,8	13,3	12,5	22,5
1,0	0,10	9,7	13,2	14,4	13,2	8,9	12,9	12,6	11,0	20,4
	0,15	13,4	17,0	21,6	17,1	12,3	15,0	15,6	14,3	25,9
	0,20	15,3	21,9	24,0	22,5	13,5	18,2	21,9	18,5	32,0
1,2	0,10		15,7	18,0	16,8		14,8	17,5	14,5	30,0
	0,15		24,0	25,8	24,7		20,5	23,7	23,0	37,8
	0,20		30,4	35,1	29,2		25,0	28,8	26,2	45,0
1,5	0,10		21,0	25,8	19,5		19,1	23,1	15,8	38,1
	0,15	–	30,8	30,2	25,5	–	27,5	24,3	21,2	48,6
	0,20		39,2	41,7	32,4		35,2	38,1	27,5	58,5
1,8	0,10			29,4				26,7		46,5
	0,15		–	45,3	–		–	36,0	–	63,0
	0,20			48,6				41,1		78,0

Таблиця 12.4 – Експериментальні значення часу спрацьовування

H, МПа	d_1, мм							
	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2	1,5	1,8
	Час спрацьовування, сек							
0,10	5,3	3,5	3,0	2,6	1,8	1,10	0,65	0,45
0,15	6,8	5,3	4,0	3,4	2,2	1,45	0,72	0,50
0,20	7,7	6,0	4,4	7,7	2,5	0,65	0,95	0,66

12.5.10 Зробіть градуювання шкали.

Приєднаєте вимірювальне оснащення до перетворювача. Встановіть вимірювальні зазори, визначені раніше за таблицею 12.2.

Для цієї мети на вимірювальну позицію встановлюється деталь з атестованими розмірами.

Вимірювальний зазор між торцем сопла і деталлю, що перевіряється, може бути виставлений за допомогою щупа ГОСТ 882–84.

Більш точно вимірювальний зазор може бути встановлений за величиною вимірювального тиску, що відповідає розміру налаштовувальної деталі за допомогою технічного манометра МТИ-160 кл. 1, P=0,25 МПа ГОСТ 8625–89, підключеного до вимірювальної камери. Якщо в подальшому буде проводитися градуювання шкали перетворювача, то в залежності від необхідної точності можуть бути застосовані зразкові манометри типу МО класів 0,16; 0,25 за 0,4 за ГОСТ 6521–82.

Необхідний вимірювальний тиск визначається за формулою (12.8):

$$h = h_{ср} + K\left(L_{ср} - L\right), \tag{12.8}$$

де h – шуканий вимірювальний тиск, МПа;

$h_{ср}$ – вимірювальний тиск, що відповідає середині прямолінійної ділянки характеристики, МПа;

K – чутливість перетворювача, МПа/мкм;

$L_{ср}$ – розмір деталі, при якому вимірювальний тиск повинний дорівнювати h;

L – атестований розмір деталі.

Різниця $I_{ср}$–I повинна бути виражена в мкм. Значення h можна визначити також за графіками, приведеними у БВ-ОРТМ-32-82.

12.5.11 Здійсніть налаштовування перетворювача.

Помістіть на вимірювальну позицію установочну міру, що відповідає одному з граничних розмірів. Обертаючи відповідний настроювальний контакт, установіть його в таке положення, щоб при багаторазових вимірюваннях установочної міри, у перетворювача приблизно в 50% випадків замикалися контакти, а в інших 50% не замикалися. Аналогічно налаштовується перетворювач на другий граничний розмір. У тих випадках, коли він працює в заданому циклі, наприклад, у контрольному автоматі, налаштовування його повинно виконуватися в тому ж циклі, тобто

установочна міра встановлюється на вимірювальній позиції автомата і при цьому здійснюється підналагодження перетворювача.

При налаштовуванні лівої групи контактів стрілка перетворювача повинна знаходитися в лівій половині шкали, при налаштовуванні правої групи контактів – у правій половині шкали.

12.6 Приклад визначення параметрів пневматичної вимірювальної системи

12.6.1 Вимірюється розмір деталі з допуском δ=35 мкм.

12.6.2 Для вимірювання вибираємо перетворювач пневмоелектроконтактний моделі 249 виконання 1 зі зміною вимірювального тиску Δh=0,02-0,04 МПа.

12.6.3 Згідно рекомендацій п. 12.3.3 приймаємо діаметр вимірювального сопла d_2=2 мм.

12.6.4 Вибираємо діапазон вимірювання згідно п. 12.5.7:

$$\Delta S' = \delta + 5 = 35 + 5 = 40 \text{ мкм.}$$

12.6.5 Враховуючи, що зміна вимірювального тиску в межах вибраного діапазону повинна бути меншою або рівною зміні вимірювального тиску на робочому ході сильфонів Δh, з таблиці 12.2 приймаємо параметри і характеристики перетворювача:

Діаметр вхідного сопла d_1=0,8 мм.

Робочий тиск H=0,15 МПа.

Прямолінійна ділянка характеристики:

$$\Delta S\text{=42 мкм} > \Delta S\text{'=40 мкм.}$$

Зміна вимірювального тиску на прямолінійній ділянці характеристики:

$$\Delta h\text{=0,0344 МПа} < \Delta h_{max}\text{=0,04 МПа.}$$

Вимірювальний тиск, який відповідає середині прямолінійної ділянки характеристики:

$$h_{cp}=0,087\text{МПа.}$$

Чутливість перетворювача

$$K=8,2\cdot10^{-4}\text{ МПа/мкм}$$

Вимірювальний зазор, який відповідає середині прямолінійної ділянки перетворювача:

$$S_{cp}\text{=109 мкм.}$$

12.6.6 За витратними характеристиками, наведеними у таблиці 12.3, відповідно до вибраних параметрів перетворювача знаходимо витрату повітря, що відповідає середині прямолінійної ділянки характеристики:

$$Q\text{=12,9 л/хв.}$$

12.6.7 Розраховуємо ціну ділення шкали за формулою (12.6):

$$i = \frac{\Delta S}{n \cdot \dfrac{\Delta h}{\Delta h_{ch}}} = \frac{42}{80 \cdot \dfrac{0,0344}{0,03}} = 0,46 \text{ мкм.}$$

12.6.8 За формулою (12.7) визначаємо час спрацювання перетворювача:

$$\tau = 0{,}017 \cdot t_{табл} \cdot V = 0{,}017 \cdot 3{,}4 \cdot 58 = 3{,}35 \text{ с},$$

де $t_{табл}$=3,4 с прийнято з таблиці 12.4 для $H=0{,}15$ МПа та d_1=0,8 мм, а V=58 см^3 – об'єм вимірювальної камери.

12.6.9 Необхідний вимірювальний тиск для встановлення вимірювального зазору визначаємо за формулою (12.8), прийнявши різницю $(L_{ср}–L)$ рівною половині заданого допуску δ:

$$h = h_{ср} + K\left(L_{ср} - L\right) = 0{,}087 + 8{,}2 \cdot 10^{-4} \cdot 17{,}5 = 0{,}101 \text{ МПа},$$

що відповідає можливостям даного пневмоелектроконтактного перетворювача моделі 249.

Контрольні питання

1. Від яких параметрів перетворювача залежить діапазон лінійного перетворення?
2. Які фактори впливають на точність перетворення?
3. Як впливає зміна тиску повітря на чутливість приладу?
4. Зміною яких елементів можна розширити (звузити) діапазон вимірювань?
5. Будова та призначення перетворювача пневмоелектроконтактного.
6. Які параметри вимірюють за допомогою перетворювачів пневмоелектроконтактних?

Лабораторна робота №13
ВИМІРЮВАННЯ РІВНЯ РІДИН. ЕЛЕКТРИЧНІ СИГНАЛІЗАТОРИ РІВНЯ

Мета роботи: ознайомитися з методами та засобами вимірювання і регулювання рівня рідин. Вивчити будову, призначення та принцип роботи електронного регулятора-сигналізатора рівня ЭРСУ–К2.

Прилади та обладнання: електронний регулятор-сигналізатор рівня ЭРСУ–К2; ємкість з регульованим рівнем води; демонстраційний стенд системи автоматичного регулювання рівня рідини; електроди (3 шт.); сигнальний пристрій.

Теоретичні відомості

13.1 Візуальні та поплавкові рівнеміри

Вимірювання рівня рідин та сипких матеріалів полягає у визначенні за рівнем кількості речовини в ємкості та контролі положення рівня заповнення виробничих апаратів у технологічному процесі.

Технічні засоби, які використовуються для вимірювання рівня, умовно поділяють на дві групи: рівнеміри – прилади, що дозволяють отримувати інформацію про поточне значення рівня у будь-який момент часу, та сигналізатори рівня – прилади для отримання дискретного сигналу, у момент досягнення рівнем заданих фіксованих значень. Часто рівнеміри оснащуються сигнальними пристроями та можуть виконувати функції сигналізаторів.

Для вимірювання рівня рідин найбільше поширення отримали рівнемірні трубки, поплавкові, гідростатичні, електричні, ультразвукові та акустичні рівнеміри.

Робота рівнемірних трубок для рідин основана на принципі сполучених посудин і є найбільш точним методом визначення рівня в технологічному апараті. Вказівна прозора трубка з’єднується нижнім кінцем з відкритим технологічним апаратом, або нижнім і верхнім кінцем з апаратом, що знаходиться під тиском чи вакуумом. Положення меніску верхнього рівня стовпа рідини у рівнемірній трубці буде відповідати рівню рідини в технологічному апараті.

Використовуються вказівні трубки прохідного та відбитого світла. Вказівник відбитого світла являє собою товсту скляну пластину, на поверхні якої, повернутої до рідини, нанесені паралельні канавки. Промені світла, попадаючи на скло, відбиваються від похилих граней канавок на ділянці контакту з газом, і проходять всередину на ділянці контакту з рідиною. Та частина скла, що контактує з рідиною, сприймається темною, а частина скла, що контактує з газом – сріблясто-білою. Плоскі вказівники рівня можуть застосовуватись на тиск до 2,94 МПа і температуру до 300 °С.

У поплавкових рівнемірах переміщення поплавка, що знаходиться в контрольованій рідині, передається на вказівний пристрій або пристрій

перетворення переміщення чи виштовхувальної сили у вихідний сигнал. Використовуються два види рівнемірів такого типу – поплавкові та буйкові.

У простому поплавковому рівнемірі поплавок 1, який знаходиться на поверхні рідини, врівноважується вантажем 3 (рис. 13.1).

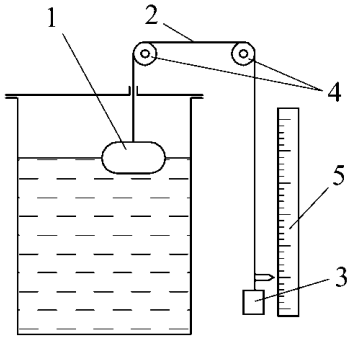


Рисунок 13.1 – Схема поплавкового рівнеміра з вертикальною шкалою

Вантаж 3 зв’язаний з поплавком 1 гнучким тросиком 2, перекинутим через ролики 4. На тросику закріплена стрілка-вказівник, що показує на шкалі 5 рівень рідини.

Недоліки простого поплавкового рівнеміра: перевернута шкала – положення нижнього рівня знаходиться зверху шкали, та похибка від непостійності сили натягу тросика – від зростання рівня рідини до ваги вантажу додається вага тросика.

В основу роботи буйкових рівнемірів покладено фізичне явище, що описується законом Архімеда. Чутливим елементом у цих рівнемірів є циліндричний буйок, виготовлений з матеріалу густиною, більшою за густину рідини. Буйок займає вертикальне положення і частково занурений в рідину. Вимірювальним параметром тут є сила виштовхування, що діє на занурений буйок, величина якої пропорційна глибині його занурення в рідину (рис. 13.2).

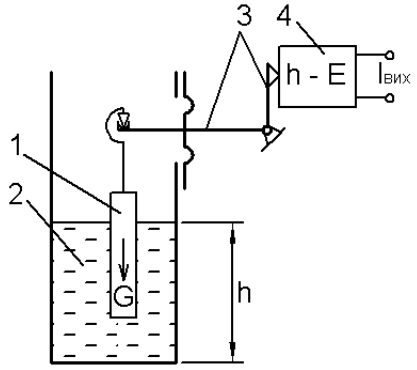


Рисунок 13.2 – Схема буйкового рівнеміра з електричним виходом:
1 – буйок масою *G*; 2 – ємкість; 3 – система важелів; 4 – нормуючий перетворювач

Довжина буйка 1 визначається в залежності від встановлених значень рівнів: верхнього ВР і нижнього НР. Буйкові рівнеміри найчастіше

використовуються як пристрої інформації в системах автоматичного регулювання, захисту та сигналізації.

Для перетворення рівня в уніфікований струмовий сигнал розроблені буйкові електричні рівнеміри, оснащені уніфікованими нормуючими перетворювачами 4 «сила – струм».

Електричні засоби вимірювань рівня рідин за видом чутливого елемента поділяють на ємнісні і кондуктометричні.

У електричних рівнемірах положення рівня рідини перетворюється в проміжний електричний сигнал. З електричних рівнемірів найбільш поширені ємнісні та кондуктометричні або омічні. У ємнісних рівнемірах використовуються діелектричні властивості контрольних середовищ, а в кондуктометричних – властивість контрольних середовищ проводити електричний струм.

Перетворювач ємнісного рівнеміра є електричним конденсатором, ємність якого залежить від рівня рідини. Перетворювачі ємнісних рівнемірів виконуються циліндричного або пластинчатого типу. Циліндричний ємнісний перетворювач складається з двох або декількох концентрично розташованих труб, а пластинчатий – з двох або декількох паралельних пластин, простір між якими заповнений на певну висоту контрольною речовиною.

Кондуктометричні (омічні) рівнеміри використовуються головним чином для сигналізації та підтримання у заданих межах рівня електропровідних рідин. Принцип дії сигналізаторів оснований на замиканні електричного кола джерела живлення через контрольну речовину, що проявляється як ділянка електричного кола з певним електричним опором. Практично кондуктометричні сигналізатори рівня можна застосовувати для середовищ з провідністю від $2 \cdot 10^{-3}$ См/см і більше.

Прилад являє собою електромагнітне реле, включене в коло між електродом та контрольною рідиною (рис. 13.3).

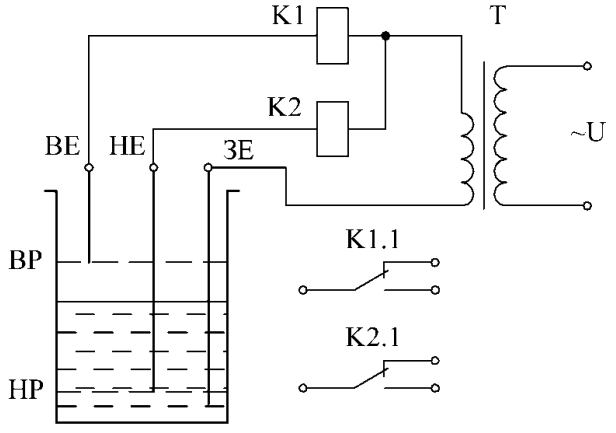


Рисунок 13.3 – Схема сигналізатора рівня рідини на основі електропровідності

Загальний електрод ЗЕ встановлюється в ємкості у випадку, якщо її стінки не електропровідні, і повинен бути опущений нижче нижнього рівня

НР. Кінці електродів нижнього НЕ та верхнього ВЕ для відповідних рівнів повинні знаходитись точно по висоті цих рівнів НР та ВР. Контрольна рідина заповнює проміжок між електродами, тим самим замикає електричне коло і спрацьовують реле К2, К1. Своїми контактами К1.1 та К2.1 вони комутують електричні кола автоматичного регулювання й сигналізації.

Живлення міжелектродних кіл здійснюється від вторинної обмотки трансформатора Т, як правило, змінним струмом, без випрямлення. Це зроблено з тим, що уникнути електролізного осаду на поверхнях електродів.

Для збільшення чутливості приладів обмотки електромагнітних реле включаються через підсилювачі. Кількість каналів регулювання (контрольних рівнів) може бути від одного до чотирьох.

Електричні засоби вимірювань рівня рідин за видом чутливого елемента поділяють на ємнісні і кондуктометричні.

13.2 Регулятор-сигналізатор рівня ЭРСУ–К2

Регулятор-сигналізатор рівня ЭРСУ–К2 призначений для сигналізації і підтримання в заданих умовах рівня води в парових котлах, а також для контролю інших рідких середовищ, що відповідають технічним характеристикам приладу, які подані у таблиці13.1.

Таблиця 13.1 – Технічні характеристики регулятора-сигналізатора рівня ЭРСУ–К2

Число сигналізуючих положень рівня	4 (нижній, верхній, середній, аварійний)
Напруга живлення мережі при частоті 50 чи 60 Гц, В	220±22
Питома потужність, ВА, не більше	15
Діапазони спрацьовування за питомою електропровідністю середовища контролю, Ом/м перший – опір 5000 Ом другий – опір 700 Ом	 0,015 0,006
Похибка спрацьовування за рівнем, мм	+10
Розривна потужність контактів реле при напрузі 220 В змінного струму, ВА	300
Робочий тиск в об’єкті, кгс/см^2, не більше	25
Температура середовища контролю, ^{o}С, не більше	200
Напруга змінного струму на електродах давачів, В, не більше	7
Довжина частини давача, яка занурена в посудину, м	0,10
Матеріали деталей давача – сталь 12Х18Н10Т, титан ВТ–5, фторопласт 4	
Маса, кг, не більше	4
Габаритні розміри, мм	192х122х90
Строк служби, років	10

Нормальна робота регулятора гарантується при температурі повітря від –10 до +45 °С та відносній вологості до 98% при 35 °С і без конденсації вологи.

Прилад не призначений для експлуатації в умовах:

– вибухонебезпечних приміщень;

– контролю середовищ, що утворюють твердий осад на електроді датчика;

– дії ударів та коливань.

Функціональна схема приладу ЭРСУ–К2 показана на рисунку 13.4.

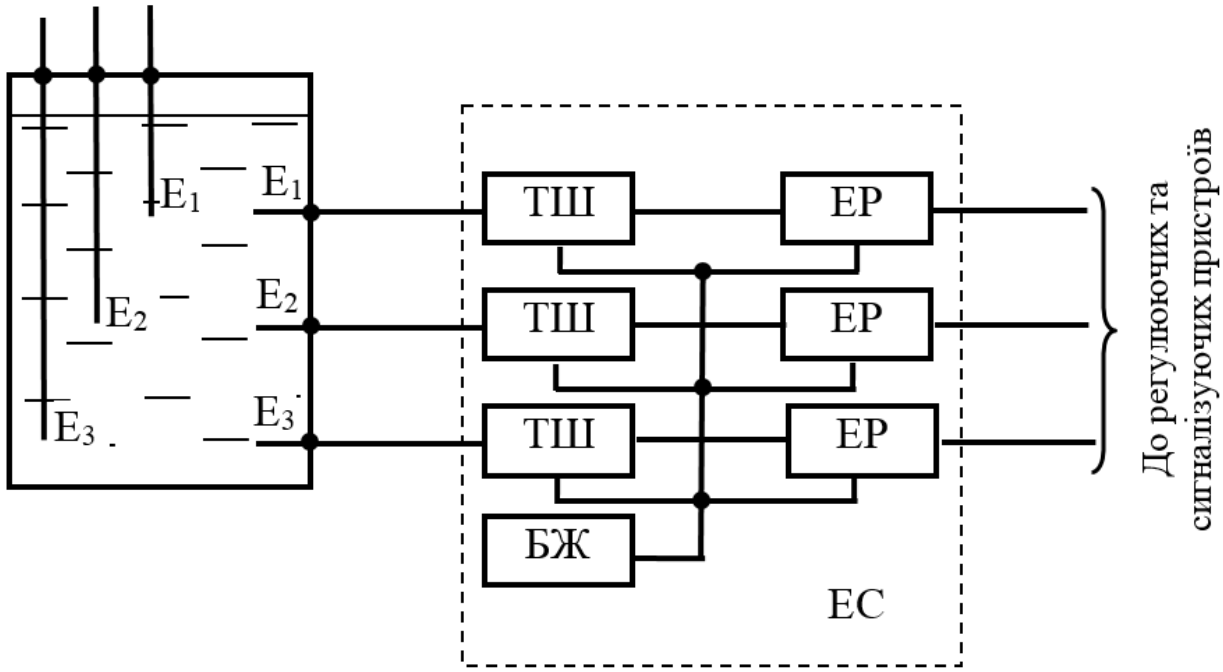


Рисунок 13.4 – Функціональна схема приладу ЭРСУ–К2:
Е – електроди; ТШ – тригери Шмідта; ЕР – електромагнітні реле;
БЖ – блок живлення; ЕС – електрична схема

Регулятор-сигналізатора рівня ЭРСУ–К2 складається із трьох електроконтактних давачів і блоку релейного.

Принцип роботи регулятора-сигналізатора базується на зміні електричного опору між електродом давача і стінкою посудини. Занурення електрода-давача в середовище контролю викликає зменшення опору, осушення давача – збільшення опору.

Електрична схема релейного блоку (рис. 13.5) складається із транзисторних релейних каскадів і трьох випрямних елементів, які живляться від понижуючого трансформатора Т1.

При зануренні електрода-давача в середовище на базу транзистора V1 поступає напруга, що знімається з обмотки трансформатора, транзистор виходить з режиму насичення, переводячи при цьому в режим насичення транзистор V2, електромагнітне реле спрацьовує.

При осушеному електроді сигнал на базі транзистора V1 відсутній, транзистор V2 знаходиться в режимі відсікання, котушка реле знеструмлена.

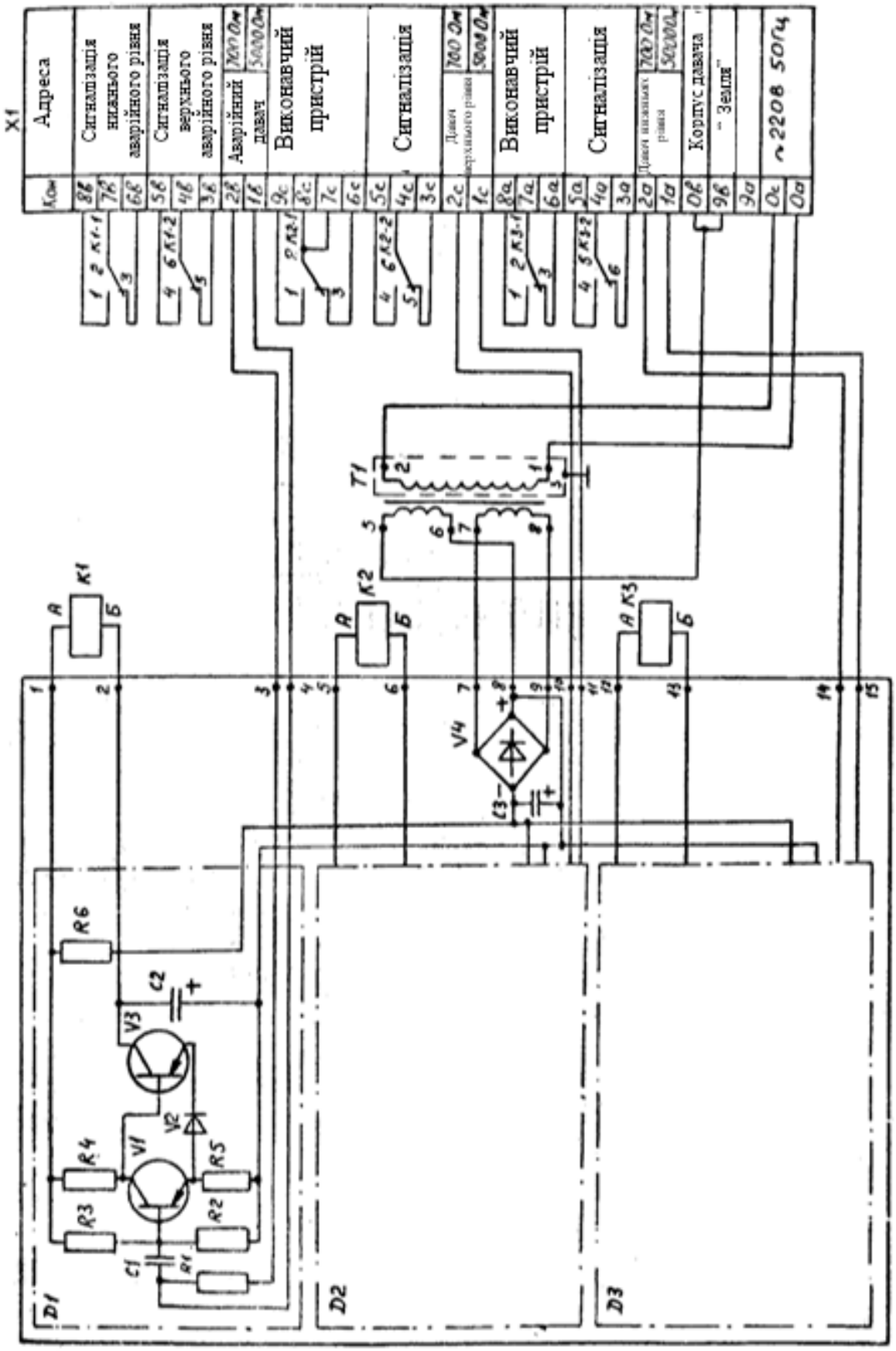


Рисунок 13.5 – Електрична схема релейного блоку

ЭРСУ–К2 можна використовувати:

– з трьома давачами в якості регулятора рівня між нижнім і верхнім давачами і одночасно в якості сигналізатора нижнього, верхнього, середнього і аварійного рівнів;

– з трьома давачами в якості трьох сигналізаторів рівнів з одночасною видачею релейних сигналів.

Одночасно із ввімкненням сигналізації, регулятор забезпечує видачу електричних релейних сигналів для керування приводом нагнітаючого чи відсікаючого насоса (шляхом встановлення перемички на контактах роз'єму).

Для забезпечення введення в дію у першому діапазоні давачі підключають до контактів ІА, ІБ, ІС роз'єму. При роботі в другому діапазоні зменшується можливість помилкових введень в дію при забрудненні електродів.

Якщо аварійним є нижнє положення рівня, то аварійний давач встановлюється на потрібній відстані нижче нижнього давача. Якщо аварійним є верхнє положення рівня, то аварійний давач встановлюється вище верхнього давача.

Підключення пристроїв аварійної сигналізації виконується при нижньому аварійному рівні до нормально замкнутих контактів реле аварійного давача. При пошкодженні в ланці аварійного давача чи при зникненні живлення приладу спрацьовує аварійна сигналізація, яка повинна підключатися до іншого джерела живлення.

Давач приладу складається зі штуцера і електрода, який занурюється в посудину.

Давач розрахований на робочий тиск до 25 кгс/см^2 і температуру середовища до 200 ^{o}С. Електрод електрично ізольований від корпусу за допомогою фторопластового ущільнювача.

Напруга живлення приладу складає 220 В, тому контакт з деталями приладу, які розміщені під кришкою, є небезпечним.

Підготовка і порядок роботи. Встановити і закріпити блок релейний на зазначеному для нього місці. При встановленні в окремі шафи блок релейний можна використовувати без корпусу.

Встановити і закріпити давачі на посудині.

Прокласти дроти між давачами і блоком релейним. Якщо вивід «земля» блоку релейного і металевий корпус контрольованої посудини під'єднані до загального контуру заземлення, то до давача можна прокладати по одному дроту до центрального електрода, інакше необхідно передбачити ще один дріт для «землі». Опір ізоляції повинен бути не менше 1 МОм.

Подати напругу живлення на прилад і перевірити його роботу при висушених давачах. Прилад повинен працювати відповідно до схеми з'єднань.

При нижньому положенні аварійного рівня аварійна сигналізація повинна спрацьовувати при розімкнутому електроді аварійного давача.

13.3 Система автоматичного регулювання рівня рідини

Автоматизація виробництва різних галузей промисловості є важливим напрямком науково-технічного прогресу і головною задачею в підвищенні ефективності виробництва. Локальна і комплексна автоматизація в промисловості неможлива без розробки, освоєння в серійному виробництві, застосування і неперервного розвитку автоматичних електронних показуючих, реєструючих і регулюючих приладів, які є основними засобами автоматизації.

У більшості систем для контролю і регулювання рівня рідини використовують принцип перетворення неелектричної величини в електричну. Призначення систем регулювання рівня рідини полягає в автоматизації неперервних технологічних процесів у різних галузях промисловості, які потребують постійного контролю кількості накопиченого матеріалу, сировини, рідини, газів. Контроль рівня також має важливе значення для безпечної роботи обладнання. Наприклад, на водневих станціях пониження рівня підживлення електролізерів може спричинити серйозну аварію; на теплових станціях зниження і підвищення заданих рівнів води в барабані котла призводить до руйнування лопаток турбін.

Система регулювання рівня рідини призначена для контролю нижнього та верхнього рівнів і автоматичного утримання їх у заданих межах. При цьому висота контрольованого стовпа рідини може бути довільною. Принцип роботи давачів базується на вимірюванні провідності рідини, тому система регулювання з таким типом давачів застосовується для технологічних процесів, які не належать до класу вибухонебезпечних.

Демонстраційний стенд системи автоматичного регулювання рівня рідини показано на рисунку 13.6.



Рисунок 13.6 – Демонстраційний стенд системи автоматичного регулювання рівня рідини

До складу системи позиційного регулювання рівня рідини входять такі елементи:

– чотири незалежних канали визначення наявності рідини, що складаються з давача, перетворювача і підсилювача;

– аварійний канал;

– перетворюючо-підсилювальний блок;

– система автоматичного регулювання;

– система керування приводом насосу;

– блок живлення.

Перший канал відповідає за нижній рівень рідини і визначає мінімальну висоту стовпа, яка передбачена технологічним процесом. Другий канал відповідає за верхній рівень рідини і визначає максимальну висоту стовпа, яка передбачена технологічним процесом. Третій і четвертий канали – аварійні, дублюють роботу першого і другого каналів та визначають мінімально і максимально допустиму висоту стовпа рідини передбачену технологічним процесом.

При зниженні рідини нижче зазначеного рівня давач, який нагадує металевий стержень електрично ізольований від стінок резервуара, виходить з контакту з рідиною, відповідно, опір між стінкою резервуара і давачем різко зростає, що сприймається перетворювачем і перетворюється у відповідний електричний сигнал, підсилюється і подається на перетворюючо-підсилювальний блок. Регулювання опорної напруги у перетворюючо-підсилювальному блоці дає можливість регулювати чутливість системи в залежності від виду контрольованої рідини. З перетворюючо-підсилювального блоку сигнал подається в систему автоматичного регулювання приводом насосу, яка через виконавчі елементи (підсилювачі, реле, пускачі) керує роботою насосу.

Комутатор режиму роботи задає необхідний режим: автоматичний або ручний для системи керування приводом насосу.

Аварійний канал повторює собою перший та другий канали і служить для дублювання регулятора нижнього і верхнього рівня в випадку виходу його з ладу. Це особливо важливо при регулюванні рівня агресивних рідин.

Живлення системи здійснюється блоком живлення, який забезпечує необхідні напруги для живлення схем підсилювачів, перетворювачів, порогових елементів, реле, контакторів. Блок живлення підключається до промислової мережі змінного струму напругою 220В.

Функціональна схема системи автоматичного регулювання рівня рідини представлена на рисунку 13.7.

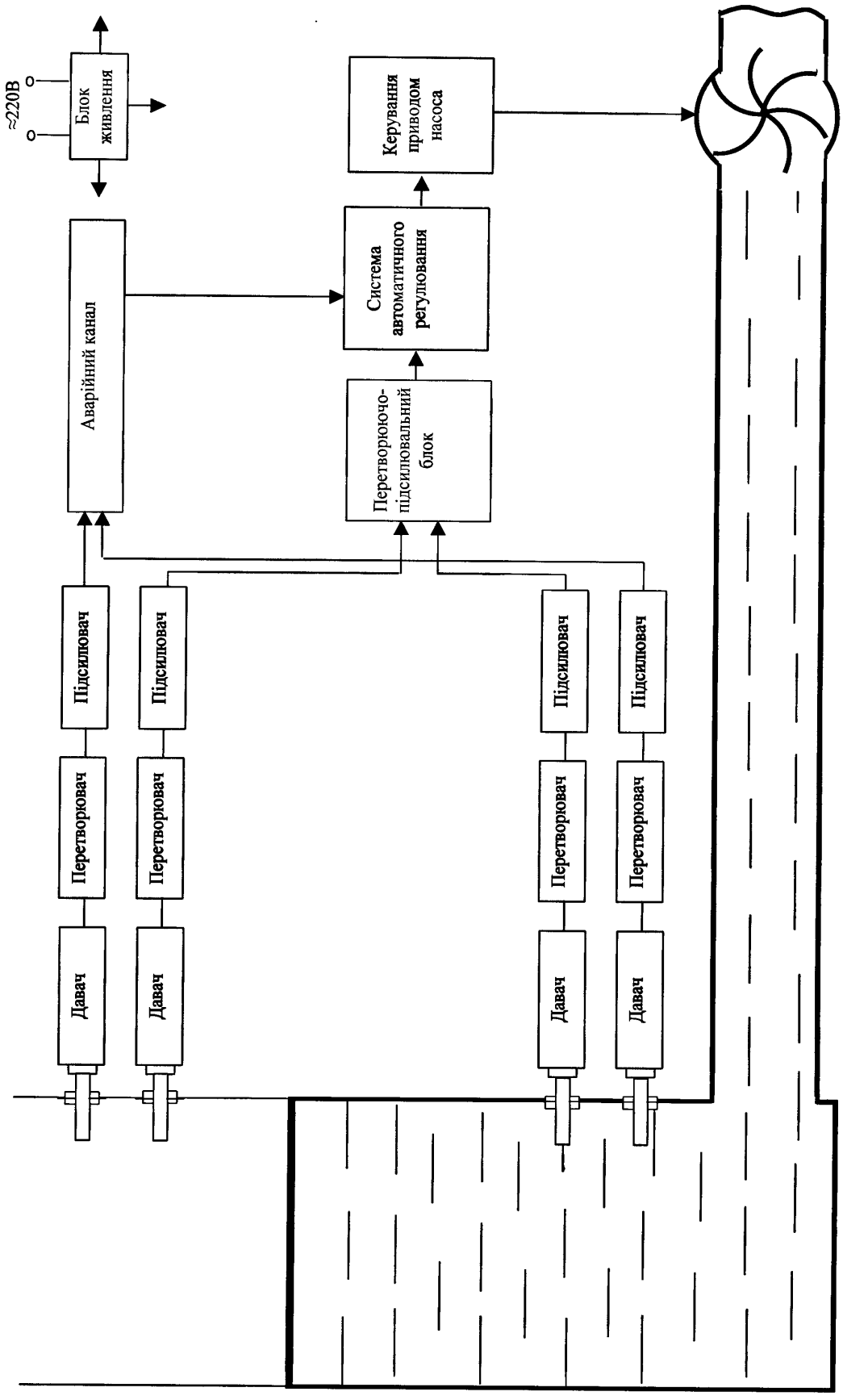


Рисунок 13.7 – Функціональна схема системи автоматичного регулювання рівня рідини

13.4 Порядок проведення роботи

1. Зібрати установку, показану на рисунку 13.8.

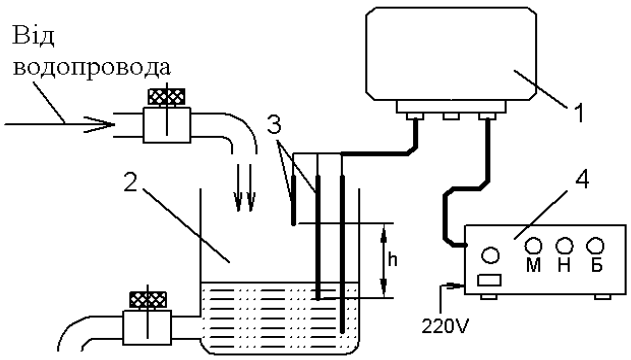


Рисунок 13.8 – Схема установки: 1 – сигналізатор рівня ЕРСУ-3;
2 – ємкість; 3 – електроди; 4 – сигнальний пристрій

2. Подати напругу на сигнальний пристрій і регулятор рівня. На сигнальному пристрої повинна включитись лампа «М» – «менше».

3. Відкрити водопровідний кран і почати заповнювати ємкість водою. Коли рівень води досягне нижнього електрода, лампа «М» повинна вимкнутись і включитись лампа «Н» – «норма».

4. Продовжувати заповнювати ємкість водою до верхнього рівня. В момент торкання верхнього електрода лампа «Б» – «більше» повинна включитись, а лампа «Н» – виключитись.

5. Перекрити кран подачі води і відкрити зливний кран. Прослідкувати переключення ламп сигнального пристрою, яке повинне проходити у зворотному порядку.

6. Привести електричну принципову схему автоматичного наповнення (опорожнення) ємкості. Зробити висновки.

Контрольні питання

1. У яких випадках і з якою метою виконується вимірювання рівня речовин у технологічних апаратах?

2. Яка суттєва відмінність між рівнемірами та сигналізаторами рівня?

3. На якому принципі базується вимірювання рівня рідин у ємкостях і технологічних апаратах з допомогою рівнемірних трубок?

4. Яка фізична властивість рідин покладена в основу роботи кондуктометричних сигналізаторів рівня?

5. Чи можна застосовувати електричні методи вимірювання рівня у посудинах, що знаходяться під тиском та для високих температур рідин?

6. З якою метою на електроди кондуктометричних сигналізаторів рівня води подається напруга змінного струму?

7. У яких випадках використовуються вугільні електроди?

Лабораторна робота №14
ПРИЛАДИ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ

Мета роботи: ознайомитись з методами та засобами вимірювання вологості. Вивчити будову, призначення та принцип роботи гігрографа М-21А.

Прилади та обладнання: гігрометр психрометричний ВІТ-2; психрометрична таблиця, гігрограф М-21А.

Теоретичні відомості

14.1 Методи вимірювання вологості

Вологість газів, твердих і сипучих матеріалів є одним із найважливіших показників цілого ряду технологічних процесів у хімічній, текстильній, металургійній та інших галузях промисловості. Вологість навколишнього середовища є одним з головних діагностичних параметрів. Вологість – фізико-хімічна кількісна характеристика вмісту води як активного структурного компонента матеріалів.

Одним із найстаріших і найпоширеніших вологомірів є психрометричний, чи психрометр. Дія його основана на вимірюванні змін температури рідини при її випаровуванні в газ, який аналізується. При цьому до складу газу в якості компонента, який визначається, входять пари цієї рідини. Психрометри можуть використовуватися для вимірювання концентрації парів будь-яких рідин в газах, однак найширше вони використовуються для вимірювання концентрації парів води, тобто у якості гігрометрів.

Концентрацію парів у газах прийнято характеризувати абсолютною чи відносною вологістю.

Абсолютна вологість визначається як маса парів рідини в одиниці об’єму сухого чи вологого газу у нормальних умовах.

Відносна вологість, чи степінь насичення газу парами рідини, визначається як відношення маси парів в одиниці об’єму до максимально можливої маси парів в одиниці об’єму при тій же температурі, визначене у %:

$$\varphi = \left(A / A_{н}\right) \cdot 100, \qquad (14.1)$$

де A – значення абсолютної вологості газу при такій температурі;

$A_{н}$ – максимально можливе значення абсолютної вологості при такій температурі, яке відповідає насиченню.

На практиці відносна вологість з достатньою точністю визначається із виразу:

$$\varphi = \left(P / P_{н}\right) \cdot 100, \qquad (14.2)$$

де P – парціальний тиск парів рідини у газовій суміші при заданій температурі і нормальному тиску;

$P_н$ – тиск насичених парів рідини при тих же умовах.

14.2 Гігрограф М-21АН

Одним із найпоширеніших методів вимірювання вологості є гігрометричний метод.

Гігрометричний метод (гігро – вологий) базується на властивості деяких тіл змінювати свої лінійні розміри (деформуватися) при зміні вмісту у повітрі водяного пару. Такими властивостями, наприклад, володіють знежирене людське волосся і різні органічні плівки. Так, при зміні вологості від 0 до 100% видовження волосся складає близько 2,5% від його довжини. Це і покладено в основу роботи гігрометрів і гігрографів. У гігрометрах деформація волосся або плівки за допомогою системи важелів передається на стрілочний покажчик, а в гігрографах – на перо, за допомогою якого здійснюється запис на діаграмній стрічці, яка попередньо кріпиться на обертовому барабані. Усі прилади цього типу відносні. Хоча їхні шкали й відградуйовані у значеннях відносної вологості, у зняті значення з приладу потрібно вводити спеціальні поправки, отримані за результатами рівнобіжних спостережень за зразковим психрометром.

Гігрографи М-21А призначений для вимірювання та реєстрації відносної вологості повітря на метереологічних станціях, в промислових складських приміщеннях тощо. Тривалість безперервної роботи гігрографа залежить від типу барабана годинникового типу, яким він комплектується. Існують добові та тижневі годинникові барабани. Залежно від тривалості безперервної роботи гігрографи розподіляються на добові (М-21АС) та тижневі (М-21АН). За допомогою гігрографа ведуть спостереження за зміною відносної вологості повітря в межах 30-100 % при температурі навколишнього середовища від –30 до +45 °С і основній абсолютній похибці ±10%.

Реєстрація відносної вологості здійснюється чорнилом на діаграмну стрічку капілярним методом. Основні технічні характеристики гігрографа подані в таблиці 14.1.

Таблиця 14.1 – Технічні характеристики гігрографа

Характеристика	Значення
Діапазон вимірювання і реєстрації відносної вологості повітря, %	30-100
Абсолютна похибка реєстрації відносної вологості, %	10
Варіація показів гігрографа, %	6
Час роботи, год	26
Час безвідмовної роботи, год	1000
Ймовірність безвідмовної роботи	0,94
Температура навколишнього середовища, ˚С	від –35 до +45

Волосяний гігрограф (рис. 14.1) у зимовий час при температурах – 10˚С і нижче є основним приладом, тому що психрометр не може працювати при низьких температурах. Перевідний графік гігрографа будується заздалегідь шляхом рівнобіжних спостережень протягом 1-1,5 місяця за психрометром і гігрометром до настання стійких морозів.

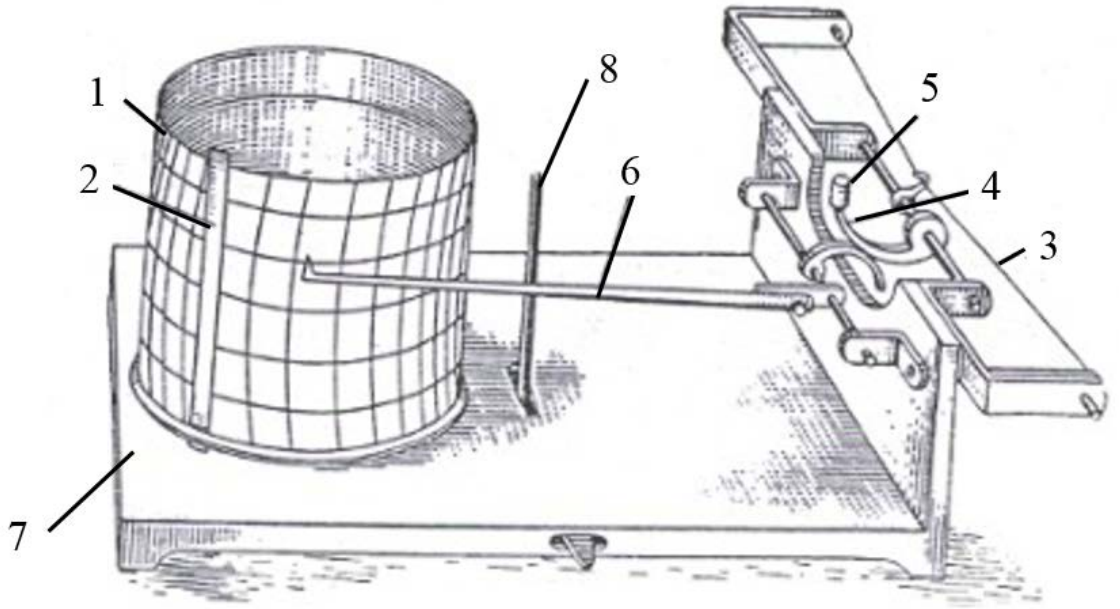


Рисунок 14.1 – Гігрограф: 1 – барабан, 2 – смугова пружина, 3 – пасмо волосся, 4 – важіль, 5 – вантаж, 6 – перо, 7 – основа, 8 – обмежувач руху стрілки

За останні 170 років будова гігрографів суттєво не змінилась. Основні елементи конструкції цього приладу подано на рисунку 14.1. Гігрограф складається з наступних складальних одиниць:

– чутливого елемента – пасма обезжиреного людського волосся 3, яке захищене від пошкодження спеціальними кронштейнами;

– передавального механізму, який складається з системи дуг з осями (важелів 4 і вантажу 5);

– реєструючого пристрою, до складу якого входить стрілка з пером 6 та барабан з годинниковим механізмом 1;

– кожуха, який включає основу 7 та відкидну кришку.

Механізм гігрографа змонтований на основі, на якій розміщений також обмежувач руху стрілки 8. Кінці пасма волосся зароблені у спеціальних втулках, що закріплені на кронштейні. Пасмо волосся за допомогою гачка з'єднане з віссю, на якій закріплена велика дуга.

Обертання барабана з діаграмним бланком здійснюється годинниковим механізмом. Останній розташований всередині барабана і обертається разом з ним навколо центральної осі, яка нерухомо закріплена на основі.

У верхній частині барабана розташовано ключ для заведення годинникового механізму і отвір для доступу до механізму регулювання

годинникового ходу.

Для зупинки запису і зняття годинникового механізму при заміні діаграмних бланків потрібно відвести стрілку з пером 6. Перо повертається на поверхню барабана поворотом обмежувача 8.

У гігрографа моделі М-21А є можливість робити позначки на діаграмі часу контролю, не відкриваючи при цьому кришку кожуха. Вони здійснюються шляхом легкого натискання на кнопку спеціального пристосування – відмітника, що знаходиться з торцевої сторони кожуха.

Встановлення пера стрілки на потрібну поділку діаграмного бланка здійснюється обертанням встановлювального гвинта.

Під час експлуатації приладу забороняється торкатись пальцями до чутливого елемента.

14.3 Гігрометр психрометричний типу ВІТ–2

Як зразковий прилад в лабораторній роботі використовуємо гігрометр психрометричний типу ВІТ–2 (рис. 14.2).

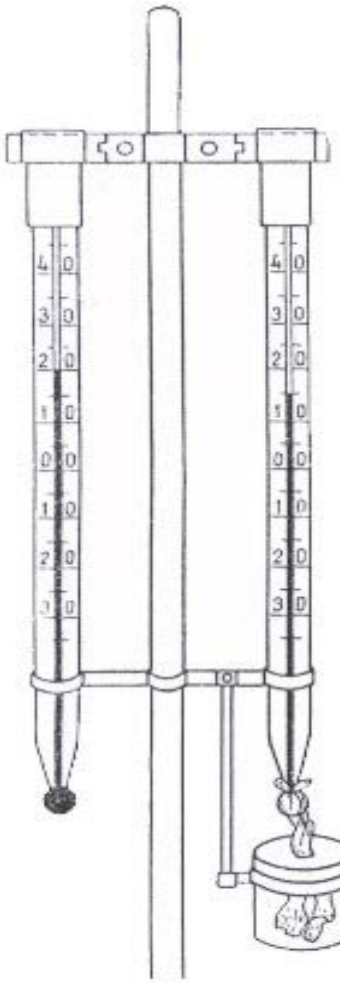


Рисунок 14.2 – Гігрометр психрометричний типу ВІТ–2

Гігрометр складається з пластмасової основи, до якої кріпляться два термометри зі шкалою, психрометрична таблиця, скляний живильник. Резервуар термометра з написом «Зволожений», зволожується водою з живильника за допомогою батистового чи шифонового фітіля.

Метод вимірювання відносної вологості гігрометром психрометричним ґрунтується на залежності між вологістю повітря і психрометричною різницею – різницею показів «сухого» і «зволоженого» термометрів, що перебувають у термодинамічній рівновазі з навколишнім середовищем. Необхідно зняти покази термометрів і після введення поправок до них, визначити різницю показів термометрів. Потім за показниками «сухого» термометра і різниці показів «сухого» термометра і «зволоженого» визначити відносну вологість повітря за психрометричною таблицею 14.2.

Для контролю технологічних процесів широко використовуються автоматичні психрометри (рис. 14.3) зі шкалами, градуйованими в одиницях відносної вологості.

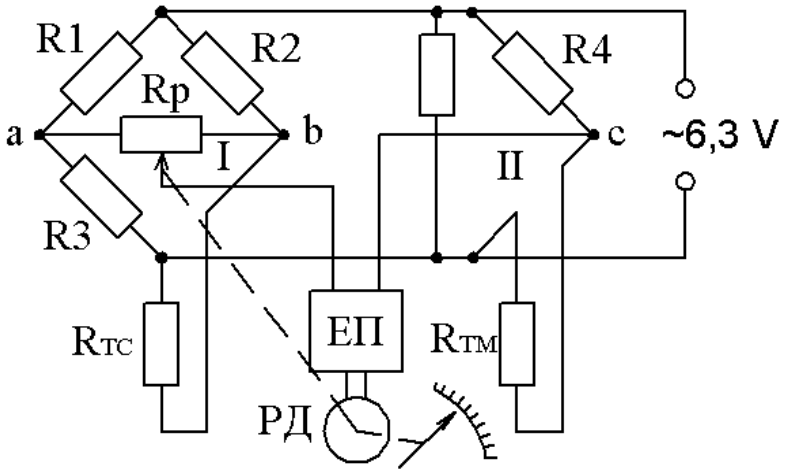


Рисунок 14.3 – Функціональна схема автоматичного психрометра

Вимірювальна частина автоматичного психрометра складається з двох мостів I і II. Обидва мости живляться змінним струмом від одного джерела живлення і мають два загальних плеча R1 та R3. Сухий термометр опору R_{TC} включений в плече моста I, мокрий – R_{TM} в плече моста II.

Міст I утворений постійними резисторами R1, R2, R3, R_{TC}, а міст II – резисторами R1, R3, R4, R_{TM}. Різниця потенціалів в точках a і b діагоналі моста I пропорційна температурі сухого термометра опору, а різниця потенціалів у точках a і c – температурі мокрого термометра опору.

Спад напруги між точками b і c діагоналі подвійного моста пропорційний різниці температур сухого та мокрого термометрів опору. Рівновага вимірювальної схеми встановлюється автоматично зміною положення движка реохорда R_p, який приводиться в рух від реверсивного двигуна РД. Одночасно зміщується стрілка відлікового пристрою.

Таблиця 14.2 – Гігрометр ВІТ – 2 Психрометрична таблиця, швидкість аспірації від 0,5 до 1,0 м/с

Покази сухого термом., ^{0}C	Різниця показів термометрів, ^{0}C																					
	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	10,5	11,0	11,5
	Відносна вологість, %																					
20	90	85	81	76	71	67	63	58	54													
21	90	85	81	77	72	68	64	59	55	51	47											
22	91	85	82	77	73	69	64	61	56	52	48	44	41									
23	91	86	82	78	74	70	65	62	58	54	50	46	42	39								
24	91	87	83	78	74	70	66	62	59	55	51	48	44	40								
25	91	87	83	79	75	71	67	63	60	56	52	49	45	42	38							
26	92	88	84	80	76	72	69	65	61	58	54	51	49	44	41	39	35	32	29	26	23	20
27	92	88	84	80	77	73	69	66	62	59	55	52	50	46	43	41	36	33	30	28	25	22
28	92	88	84	81	77	73	70	66	63	60	56	53	51	47	44	42	38	35	32	29	27	24
29	92	88	85	81	78	74	71	67	64	61	57	54	52	48	45	43	39	36	34	31	28	25
30	92	89	85	82	78	75	71	68	65	61	58	55	53	49	46	44	41	38	35	32	30	27
31	93	89	85	82	78	75	72	69	65	62	59	56	54	50	47	46	42	39	35	34	31	29
32	93	89	86	82	79	76	72	69	66	63	60	57	55	51	48	47	43	40	38	35	33	30
33	93	89	86	83	79	76	73	70	67	64	61	58	56	52	49	48	44	41	39	36	34	32
34		90	86	83	80	76	73	70	67	64	61	59	57	53	50	49	45	43	40	38	35	33
35		90	86	83	80	77	74	71	68	65	62	59	57	54	51	49	46	44	41	39	36	34
36		90	87	83	80	77	74	71	68	66	63	60	58	55	52	50	47	45	42	40	38	35
37		90	87	84	81	78	75	72	69	66	63	61	59	56	53	51	48	46	43	41	39	36
38		90	87	84	81	78	75	72	70	67	64	61	59	56	54	52	49	47	44	42	40	37
39		90	87	84	81	78	76	73	70	67	65	62	60	57	55	53	50	48	45	43	41	39
40		91	88	85	82	79	76	73	70	68	65	63	61	58	55	53	51	48	46	44	42	39

14.4 Підготовка до роботи

1. Заповнити живильник гігрометра дистильованою водою. Заповнення відбувається шляхом занурення живильника в посудину з водою запаяним кінцем униз.

2. Встановити живильник на підставку, щоб від краю відкритого кінця живильника до резервуара термометра була відстань не менше 20 мм, а фітіль не торкався до стінок відкритого кінця живильника.

3. Встановити гігрометр у вертикальному положенні. У місцях встановлення гігрометра не повинно бути вібрацій, джерела тепла чи холоду, що створюють різницю температур між нижнім основним резервуаром і верхнім запасним більше ніж у 2°С.

4. Психрометрична таблиця 8.2, дійсна при визначеній швидкості вертикальних повітряних потоків (швидкості аспірації), що омивають гігрометр.

5. Вимірювання відносної вологості гігрометром проводьте тільки після встановлення показів термометрів гігрометра. Мінімальний час витримки гігрометра у вимірюваному середовищі 30 хвилин.

14.5 Порядок роботи

1. Зняти покази за «сухим» і «зволоженим» термометрами.

2. Визначити температуру за термометрами з точністю до 0,1°С, вводячи у відзначені покази поправки до термометрів, приведені в паспорті на гігрометр. Обчислити різницю температур за «сухим» і «зволоженим» термометрами. Поправки вводяться шляхом алгебраїчного додавання.

3. При відсутності у паспорті поправок для проведення підрахунків за «сухим» і «зволоженим» термометрами, обчислити поправки лінійною інтерполяцією за двома поправками, що відносяться до температур між якими лежить відлік за термометрами.

4. Визначити відносну вологість повітря за психрометричною таблицею. Шукана відносна вологість буде на перетині рядків температури за «сухим» термометром і різницею температур між «сухим» і «зволоженим» термометрами.

5. При відсутності в таблиці отриманої різниці температур за «сухим» і «зволоженим» термометрами для визначення вологості застосувати інтерполяцію. При відсутності в таблиці температури за «сухим» термометром, для визначення вологості застосувати інтерполяцію тільки для тих частин психрометричної таблиці, у яких вимірювання температури за «сухим» термометром на 1 °С дає зміну відносної вологості більше ніж на 1%. Для інших частин таблиці значення температури за «сухим» термометром округлити до найближчого табличного значення за правилом арифметичного округлення.

6. Приклад визначення відносної вологості інтерполяцією.

6.1. Визначаємо температури за «сухим» і «зволоженим» термометрами і різницю між цими температурами (таблиця 14.3).

Таблиця 14.3 – Визначення температури за «сухим» і «зволоженим» термометрами

Термометри	Виміряні температури, °С	Поправки до температур за паспортом, °С	Температура після введення поправок, °С
«сухий»	T_c=22,5	–0,15	22,35
«зволожений»	$T_з$ =16,1	+0,20	16,3

Приймаємо T_c=22,4 °С різниця температур (T_c–$T_з$) дорівнює:

22,4–16,3=6,1°С.

6.2. Визначаємо відносну вологість для T_c=22,4 °С, для чого інтерполюємо значення відносної вологості за таблицею для T_c від 22 до 23°С. При збільшенні температури на 1°С вологість збільшується на 2%, а при збільшенні температури на 0,4°С вологість збільшується на 0,4х2=0,8%

48+0,8=48,8.

6.3. Визначаємо відносну вологість для T_c=22,4°С і T_c–$T_з$=6,1°С, для чого інтерполюємо значення відносної вологості при різниці показів від 6,0 до 6,5°С. При збільшенні T_c–$T_з$, на 0,5°С відносна вологість зменшується на 4%, а при збільшенні T_c–$T_з$ на 0,1°С зменшується відносна вологість на (0,1х4,0):0,5=0,8%.

Отже, вологість φ при температурі 22,4 і T_c–$T_з$=6,1°С буде дорівнювати 48,8–0,8=48%.

14.6 Хід роботи

1. Визначити тип гігрографа (добовий чи тижневий).
2. Надягнути діаграмну стрічку на барабан.
3. За зразковим приладом визначити вологість в приміщенні.
4. Використовуючи встановлювальний гвинт, підвести стрілку гігрометра до потрібної позиції.
5. Відвести стрілку в сторону і заповнивши чашу чорнилом повернути її в початкове положення.
6. Відмітником часу зробити позначку на діаграмі.
7. Перенести обидва прилади в інше приміщення і через 5 хвилин порівняти їх покази.
8. Визначити відносну похибку гігрографа.

Контрольні питання

1. З якою метою виконується вимірювання вологості газів у технологічних процесах?
2. Якщо відносна вологість повітря складає приблизно 98%, то що це означає на практиці?
3. З чого складається найпростіший психрометр?
4. Чому психрометри не використовуються для визначення вологості повітря в морозильних камерах?
5. Які складові враховує психрометричний коефіцієнт?
6. Для чого і з якою метою у психрометрах використовуються пристрої примусової аспірації повітря?
7. У чому полягає основна відмінність між схемами моста для вимірювання температури повітря та моста для вимірювання вологості повітря?

ЛІТЕРАТУРА

1. Защепкіна Н. М. Метрологія: навч. посіб. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 397 с.

2. Захарченко О. С. Основи метрології: навч. посіб. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 127 с.

3. Солтис І. В., Деревянчук О. В. Основи метрології: навч. посіб. Чернівці: Чернівецький нац. ун-тет, 2021, 152 с.

4. Защепкіна Н. М., Шульга О. В., Наконечний О. А. Метрологічне забезпечення інформаційно-вимірювальних систем: навч. посіб. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 176 с.

5. Кухарчук В. В. Основи метрології та електричних вимірювань. Частина І: конспект лекцій. URL: https://surl.li/olaaof (дата звернення: 07.09.2025).

6. Нестерчук Д. М. Контрольно-вимірювальні прилади з основами метрології: конспект лекцій. URL: https://surl.li/agtkcm (дата звернення: 08.09.2025).

7. Тичков В. В., Гальченко В. Я., Трембовецька Р. В., Базіло К. В. Автоматизація виробничих процесів. Технічні засоби автоматизації: навч.-метод. посіб. URL: https://surl.li/bjsjat (дата звернення: 08.09.2025).

8. Коренець Ю. М. Стандартизація, сертифікація і метрологія: навч. посібник. Кривий Ріг: ДонНУЕТ, 2023. 90 с.

9. Денисюк В.Ю., Пташенчук В.В. Розроблення блоку цифрової індикації електроакустичного твердоміра. *«Перспективні технології та прилади»*: зб. статей. 2023. Вип. 22. С. 122-126.

10. Пташенчук В.В., Денисюк В.Ю., Симонюк В.П. Вимірювання теплових деформацій торцешліфувальних автоматів та їх вплив на операційну точність оброблення підшипникової сталі ШХ15. *«Перспективні технології та прилади»*: зб. статей. 2022. Вип. 21. С. 102-106.

11. Денисюк В. Ю. Динамічні похибки в системах активного контролю та їх визначення в умовах експлуатації. *«Інформаційно-вимірювальні технології ІВТ-2022»*: зб. тез доп. Міжнар. наук.-практ. конф., м. Львів, 9-10 листопада 2022 р. Львів, 2022. С. 53-55.

12. Денисюк В. Ю. Аналіз особливостей конструювання та метрологічного забезпечення приладів активного контролю. *Перспективні технології та прилади»*: зб. статей. Луцьк, 2024. Вип. 24. С. 32-37.

13. Денисюк В. Ю., Лапченко Ю. С. Методика повірки покращення метрологічних характеристик акустичних датчиків рівня. Технологічні комплекси: наук. журнал. Луцьк, 2025. Вип. 17(1). С. 4-17.

14. Ptachenchuk V., Denysiuk V., Lapchenko Y., Symoniuk V., Reshetylo O. Automated Control System Qualities of Roller Bearings in Butt End Grinding Operations. *Advances in Design, Simulation and Manufacturing* VIII. DSMIE 2025. Lecture notes in mechanical engineering. Springer, Cham. 2025. pp. 219-228.

Метрологія, технологічні вимірювання та прилади: методичні вказівки до лабораторних занять для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти освітньої програми «Системи керування безпілотними апаратами», галузі знань G Інженерія, виробництво та будівництво (17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації) спеціальності G7(174) Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка денної та заочної форм навчання / уклад. В. Ю. Денисюк. Луцьк: ЛНТУ, 2025. 124 с.

Комп'ютерний набір та верстка: В. Ю. Денисюк.

Редактор: в авторській редакції.

Підп. до друку «__» _____ 2025 р.
Формат 60х84/16. Папір офс. Гарн. Таймс.
Ум. друк. арк. 7,75. Обл. – вид. арк. 7,75.
Тираж _50_ прим. Зам. _____.

Відділ іміджу та промоцій
Луцького національного технічного університету
43018 м. Луцьк, вул. Львівська, 75