Міністерство освіти і науки України
Луцький національний технічний університет

КОНТРОЛЬНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ

методичні вказівки до лабораторних занять
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти освітньої програми «Мікро- та наносистемна техніка»
галузі знань 17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації
спеціальності 176 Мікро- та наносистемна техніка
денної та заочної форм навчання

Луцьк 2025

УДК 681.5.08(07)
К64

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.

К64 **Контрольно-вимірювальні прилади** : методичні вказівки до лабораторних занять для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти освітньої програми «Мікро- та наносистемна техніка» галузі знань 17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації спеціальності 176 Мікро- та наносистемна техніка денної та заочної форм навчання / уклад. В.Ю. Денисюк. Луцьк: ЛНТУ, 2025. 80 с.

Методичне видання складене відповідно до діючої програми курсу «Контрольно-вимірювальні прилади». Представлено основні відомості про засоби вимірювання основних технологічних параметрів таких, як тиск, температура, витрата та рівень речовин у технологічних апаратах, шорсткість поверхні, вологість тощо. Призначено для студентів спеціальності 176 Мікро- та наносистемна денної та заочної форми навчання.

ЗМІСТ

Стор.

ВСТУП 4
Лабораторна робота №1
Вивчення будови і повірка технічних манометрів …… 5
Лабораторна робота №2
Вимірювання температури контактним методом…….. 15
Лабораторна робота №3
Вимірювання температури за допомогою термопари…….. 21
Лабораторна робота №4
Вивчення і повірка комплекту витратоміра з диференціального-трансформаторною системою дистанційної передачі показів……. 29
Лабораторна робота №5
Вимірювання рівня рідин. Електричні сигналізатори рівня……. 41
Лабораторна робота №6
Прилад для визначення шорсткості та хвилястості поверхонь. Профілограф-профілометр, модель 201……. 52
Лабораторна робота №7
Прилади для вимірювання вологості……... 69
ЛІТЕРАТУРА…….. 78

ВСТУП

Вимірювання є єдиним можливим способом одержання кількісної інформації про властивості об’єктів навколишнього матеріального світу, тобто про фізичні величини – механічні, теплові, силові, електричні та інші, – і здійснюються за допомогою спеціальних технічних засобів.

Всі засоби вимірювання, з огляду на їх призначення та умови застосування, можна умовно поділити на промислові і лабораторні. Саме означення засобів вимірювання визначає: промислові – поширені, призначені для широкого вжитку, забезпечують достатню точність вимірювання, мають доступну вартість; лабораторні – призначені для точних вимірювань, потребують спеціальних умов застосування, мають вузькоцільове призначення, використовуються для виконання особливих метрологічних операцій.

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

У методичних вказівках наводяться технічні характеристики, функціональні, структурні та вимірювальні схеми засобів вимірювання, 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.

Курс «Контрольно-вимірювальні прилади» охоплює практичні питання будови та застосування засобів вимірювання, які використовуються у промислових процесах.

Лабораторна робота №1
ВИВЧЕННЯ БУДОВИ І ПОВІРКА ТЕХНІЧНИХ МАНОМЕТРІВ

Мета роботи: вивчення еталонних засобів вимірювання тиску та освоєння методики повірки технічних манометрів. Виконання операцій повірки технічного манометра і обробка результатів перевірки

Прилади та обладнання:

1. Еталонні засоби вимірювання тиску.
2. Вантажопоршневі манометри.
3. Деформаційні манометри.

1.1 Вантажопоршневі манометри

Вантажопоршневі манометри (ВПМ), що мають класи точності 0,02 і 0,05, призначені для повірки та калібрування деформаційних манометрів і перетворювачів тиску нижчих класів точності. Вони є робочими еталонами, що відтворюють з високою точністю одиниці тиску кгс/см^2 або МПа.

Мірою, що характеризує вимірюваний тиск, служить сила створювана масою каліброваних вантажів, що діє на поршень. Значення тиску, створюваного масою кожного каліброваного вантажу та вантажоприймальної тарілки, нанесені на їх поверхні.

Принцип дії вантажопоршневих засобів вимірювання тиску заснований на врівноваженні зусилля, що створюється тиском, який вимірюється, на неущільненому поршні, силою ваги вантажу, що навантажує поршень. Неущільнений поршень – це поршень правильної циліндричної форми, поміщений у циліндр. Між стінками циліндра й поршня забезпечено рівномірний дуже незначний проміжок (1-5 мкм), заповнений робочою рідиною – трансформаторним або касторовим мастилом. У результаті поршень знаходиться у підвішеному стані і може проявляти на рідину тиск, зумовлений вагою поршня та вантажу, поміщеного на нього.

У момент вимірювання поршень перебуває у зваженому стані і чинить на рідину тиск, величина якого обумовлена масою поршня і вантажів, що розміщуються на вантажоприймальній тарілці, з’єднаній з поршнем. Циліндр з поршнем, що знаходиться в ньому, утворюють так звану колонку, яка є чутливим елементом ВПМ.

На рисунку 1.1 показано схему ВПМ типу МП-60 з діапазоном вимірювання 1-60 кгс/см^2 (6 МПа). ВПМ включає колонку І і гідравлічний гвинтовий прес ІІ, що конструктивно об’єднані в одному корпусі. До складу ВПМ входить набір каліброваних вантажів, який забезпечує тиск, що дорівнює верхній межі вимірювання.

Вантажна колонка містить порожнистий циліндр 1, заповнений робочою рідиною. Всередині циліндра знаходиться поршень 2 з вантажоприймальною тарілкою 3. Внутрішня порожнина циліндра з’єднана каналами 4 з приладом 5, що повіряється, і гідравлічним пресом. Гідравлічний прес містить

ущільнений манжетами поршень 6 в циліндрі 7 і гвинт 8 з рукояткою 9, при обертанні якої поршень переміщається в циліндрі. Канали 4 можуть перекриватися вентилями 10-12. Для заповнення гідравлічної системи ВПМ робочою рідиною передбачена ємність 13 з голчастим вентилем 14. До вантажопоршневого манометра можна підключити манометр 5, що повіряється, і еталонний деформаційний манометр 15, або одночасно два повірочні манометри.

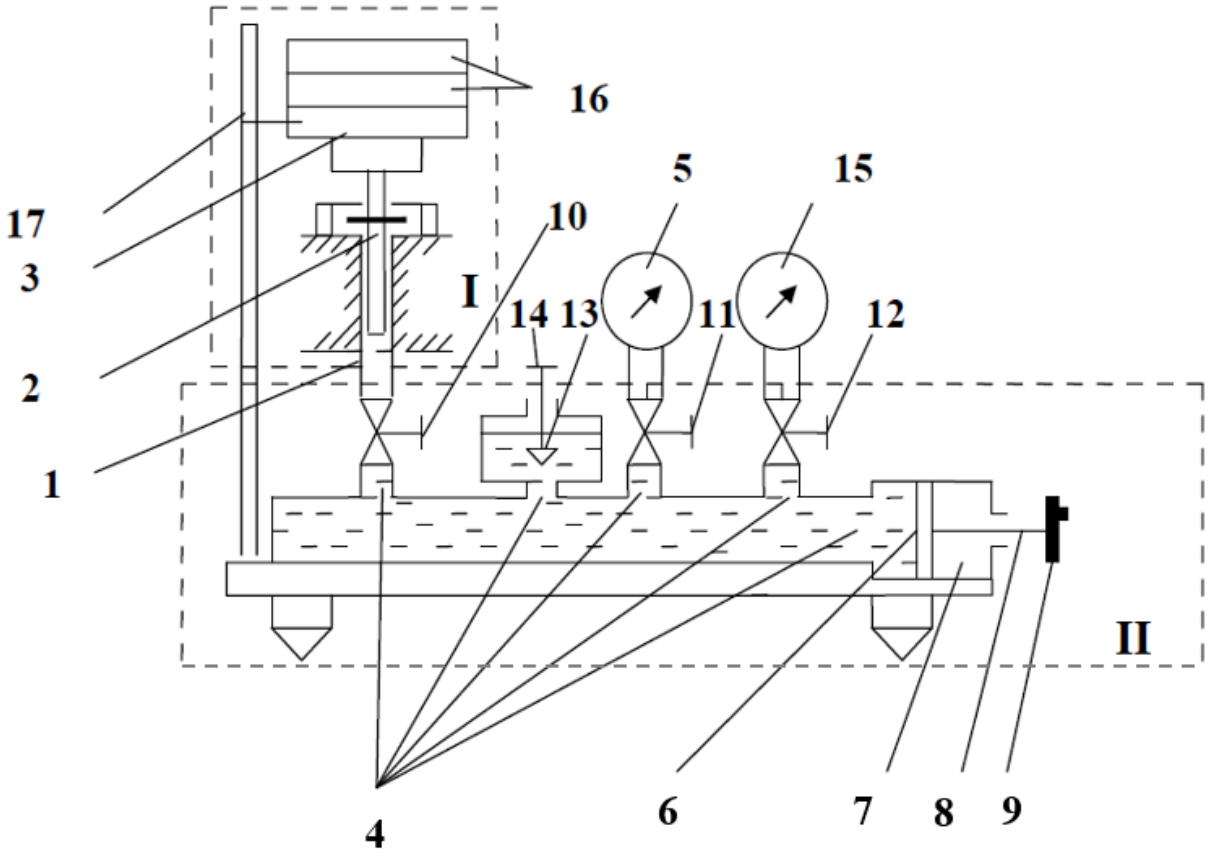


Рисунок 1.1 – Схема вантажопоршневого манометра

При вимірюванні тиску, створюваного гідравлічним пресом при обертанні рукоятки, на вантажоприймальну тарілку поміщають вантажі 16 в такій кількості, що забезпечує стан рівноваги поршня вантажопоршневого манометра. Про досягнення положення рівноваги судять зі збігу рисок на стійці 17 і на ребрі вантажоприймальної тарілки 3.

У стані рівноваги для ВПМ справедлива рівність:

$$P = \frac{m_1 + m_2}{F_n} \cdot g \cdot \frac{1 - \rho_n}{\rho_в}, \qquad (1.1)$$

де P – тиск, що вимірюється;

m_1 – маса поршня;

m_2 – маса вантажів;

$\rho_п$ – густина повітря;
$\rho_в$ – густина матеріалу вантажів;
$F_п$ – приведена площа поршня;
g – прискорення вільного падіння.

Приведена площа поршня є основним метрологічним параметром ВПМ, який визначається експериментальним шляхом. У МП-60 приведена площа поршня $F_п = 0{,}5$ см^2.

Наведене вище співвідношення має місце за відсутності сил сухого тертя. Під час вимірювання для забезпечення цієї умови обертають вантажоприймальну тарілку.

1.2 Деформаційні манометри

Принцип дії деформаційних манометрів полягає у врівноважуванні вимірюваного тиску пружною деформацією чутливого елемента або силою, що ним розвивається. У якості чутливих елементів у деформаційних манометрах використовуються трубчасті пружини, сильфони і мембрани.

Розглянемо конструкцію чутливого елемента манометра, виконану у вигляді трубчастої пружини (рис. 1.2, а).

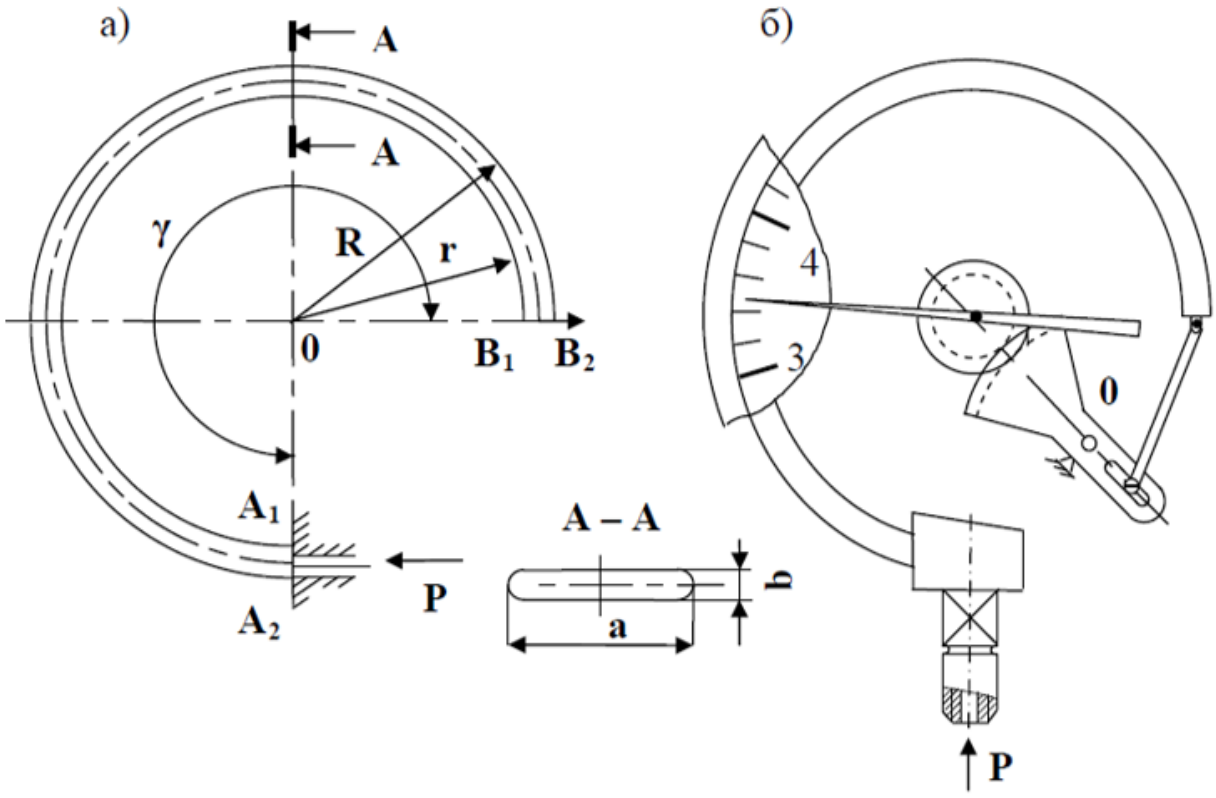


Рисунок 1.2 – Схема деформаційного манометра із трубчастою пружиною

Трубчаста пружина являє собою вигнуту у вигляді дуги кола порожнисту трубку плоскоовального або еліптичного перерізу. Один кінець такої трубки нерухомо закріплений, а інший запаяний і може вільно переміщатися у просторі.

Тиск, що вимірюється, подається у внутрішню порожнину пружини, при цьому її вільний кінець переміщається. При вимірюванні надлишкового тиску пружина розкручується, а при вимірюванні розрідження – скручується. Напрямок переміщення вільного кінця трубки обумовлений збільшенням малої осі перерізу трубки під впливом надлишкового тиску і зменшенням при дії розрідження. При цьому довжина трубки залишається практично постійною.

Трубка зігнута по колу під кутом $\gamma = 270^0$. При зростанні тиску, що діє зсередини трубки, мала вісь еліпса збільшується, тоді як довжини дуг A_1B_1 і A_2B_2 залишаються практично постійними.

Якщо r – радіус OB_1, R – радіус OB_2, b – мала вісь еліпса трубки, γ – кут закручування трубки – розміри трубки до деформації тиском і відповідно r', R', b', γ' – ті ж розміри після деформації, то матимемо:

$$r \cdot \gamma = r' \cdot \gamma' \text{ і } R \cdot \gamma = R' \cdot \gamma'. \tag{1.2}$$

Віднімаючи з другого виразу перший, отримаємо:

$$(R - r) \cdot \gamma = (R' - r') \cdot \gamma'. \tag{1.3}$$

Оскільки $R - r = b$ і $R' - r' = b'$, то рівняння (1.3) набуде вигляду:

$$b\gamma = b'\gamma'. \tag{1.4}$$

Після деформації трубки $b' > b$, тому $\gamma' > \gamma$, тобто під впливом вимірюваного тиску трубчаста пружина манометра зменшує свою кривизну, розкручуючись у певному напрямку.

На рисунку 1.2, (б) наведена схема деформаційного манометра з трубчастою пружиною. Переміщення стрілки здійснюється за допомогою передавального механізму, з'єднаного з вільним кінцем чутливого елемента. Зазори в зубчасто-секторній парі вибираються за рахунок спіральної пружини (на схемі не показано).

Особливістю конструкцій еталонних деформаційних манометрів є наявність коректора нуля та арретиру. Шкала приладу має 100, 200 чи 250 поділок.

При проведенні вимірювань еталонним деформаційним манометром необхідно використовувати свідоцтво, в якому наведена реальна статична характеристика (РСХ) даного еталонного манометра. Класи точності еталонних деформаційних манометрів – 0,15; 0,2; 0,4.

1.3 Повірка технічного манометра

Повіркою технічних манометрів називають сукупність операцій, які виконуються з метою оцінки їх похибок і варіації.

Перед повіркою здійснюють зовнішній огляд манометра, щоб переконатися у відсутності несправностей, що перешкоджають застосуванню манометра, що повіряється. Стрілка манометра в робочому положенні та при відсутності тиску не повинна відхилятися від нульової позначки більш ніж на 0,5 поділки шкали.

Технічні манометри повіряють шляхом порівняння їх показів із показами приладів вищого класу точності. Верхня межа вимірювання еталонного манометра повинна бути на 1/3 більше верхньої межі вимірювання манометра, що повіряється, а значення допустимої похибки еталонного манометра – в 4 рази менше значення допустимої похибки манометра, що повіряється. Кількість позначок для повірки має становити: для манометрів класів точності 1,5 та 2,5 – не менше п’яти; для манометрів класу точності нижче 2,5 – не менше трьох. У лабораторній роботі кількість відміток, що повіряються, відповідає оцифрованим поділам шкали манометра, що повіряється.

Порядок повірки за вантажопоршневим манометром. Підготувати гідросистему до проведення перевірки. Для відключення зразкового деформаційного манометра закрити вентиль 12. Відкрити вентиль вантажопоршневої колонки 10, вентиль ємності з робочою рідиною 14 і вентиль манометра 11, що повіряється. При цьому тиск в гідросистемі стає рівним атмосферному. Для видалення повітря з гідросистеми ввести поршень 6 циліндр 7 до упору обертанням рукоятки 9 за годинниковою стрілкою. Заповнити гідросистему робочою рідиною обертанням рукоятки 9 проти годинникової стрілки до упору. Закрити вентиль 14.

На вантажоприймальну тарілку 3 покласти таку кількість вантажів 16, тиск яких разом з тиском вантажоприймальної тарілки чисельно дорівнює значенню тиску першої позначки, що повіряється (значення тисків, створюваних масою вантажів і масою вантажоприймальної тарілки, нанесені на їх поверхні).

Створити в гідросистемі тиск, що відповідає тиску першої позначки, що повіряється. Для цього, обертаючи рукоятку 9 гідравлічного преса за годинниковою стрілкою, домогтися підйому поршня 2 з вантажами 16 до збігу рисок, нанесених на стійці 17 і на ребрі вантажоприймальної тарілки 3.

ПРОТОКОЛ

повірки манометра типу _____№ _____ кінцеве значення шкали _____кгс/см^2 (МПа), ціна поділки шкали _____кгс/см^2 (МПа) клас точності _____.

Повірка виконана за еталонним манометром типу _____ № _____клас точності_____.

Покази еталонного манометра, кгс/см^2 (МПа)	Покази манометра, що повіряється, кгс/см^2 (МПа)		Основна абсолютна похибка, кгс/см^2 (МПа)		Основна приведена похибка, %		Варіація, кгс/см^2 (МПа)	Приведена варіація, %
	Прямий хід	Зворотній хід	Прямий хід	Зворотній хід	Прямий хід	Зворотній хід		

Допустима приведена похибка манометра, що повіряється _____ %.

Максимальна приведена манометра, що повіряється _____ %.

Допустима приведена варіація _____ %.

Максимальна приведена варіація _____ %.

Висновок: манометр придатний (непридатний) для вимірювань.

Для зменшення похибки від впливу сухого тертя в колонці і люфтів у передавальному механізмі манометра, що повіряється, перед відліком привести вантажоприймальну тарілку з вантажами в обертання і провести легке постукування по корпусу манометра, що повіряється. Провести відлік показів манометра, що повіряється, з округленням до 0,1 ціни поділу шкали. Результати перевірки занести до протоколу, форма якого представлена вище.

Для інших повірюваних позначок при збільшенні тиску (прямий хід) зробити операції повірки, накладаючи кількість вантажів, що відповідає наступній повірюваній позначці, і створюючи пресом відповідний тиск. Витримати манометр, що повіряється, під тиском, рівним верхній межі вимірювання, протягом 5 хвилин для перевірки його герметичності.

Здійснити операції перевірки для всіх відміток, що повіряються при зменшенні тиску (зворотний хід). Для усунення ймовірності поломки ВПМ при зворотному ході на кожній відмітці, що повіряється спочатку трохи зменшують тиск, потім знімають необхідну кількість вантажів.

Після перевірки ВПМ привести у вихідний стан: знизити тиск до нуля, обертаючи рукоятку 9 гідравлічного преса проти годинникової стрілки; відкрити вентиль 14 ємності для робочої рідини 13; обертаючи ручку 9 за годинниковою стрілкою до упору, витіснити робочу рідину в ємність 13.

1.4 Порядок повірки за еталонним деформаційним манометром

Для відключення колонки ВПМ закрити вентиль 10. Відкрити вентиль 14 ємності з робочою рідиною. Підключити до гідросистеми еталонний манометр деформаційний 15, відкривши вентиль 12.

Підготувати гідросистему до проведення перевірки. Створити в гідравлічній системі тиск, що відповідає першій повірюваній позначці. Значення дійсного тиску контролювати за допомогою еталонного деформаційного манометра за його реальною статичною характеристикою, зазначеною у свідоцтві.

Здійснити відлік показів манометра, що повіряється. Для зменшення похибки від впливу люфтів у передавальному механізмі манометра, що повіряється, перед відліком зробити легке постукування по корпусу манометра, що повіряється.

Здійснити шляхом звірення перевірку всіх оцифрованих відміток шкали манометра, що повіряється, при прямому і зворотному ході. Отримані експериментальні дані занести до протоколу повірки. Після повірки ВПМ привести у вихідний стан.

1.5 Обробка експериментальних даних

Основну абсолютну похибку обчислюють для кожної позначки, що віриться, як різницю показів манрметра, що повіряється і еталонного манометра:

$$\Delta' = P' - P_0,$$
$$\Delta'' = P'' - P_0, \qquad (1.5)$$

де Δ', Δ_0'' – основна абсолютна похибка монаметра, що повіряється при прямому та зворотному ході, кгс/см^2 (МПа);

P', P'' – покази манометра, що повіряється, при прямому і зворотному ході, кгс/см^2 (МПа);

P_0 – покази еталонного манометра, кгс/см^2 (МПа).

Основну приведену похибку обчислюють для кожної позначки, що повіряється, як окрему від поділки основної абсолютної похибки на діапазон вимірювань манометра, що повіряється:

$$\gamma' = \frac{\Delta'}{P_к - P_н} \cdot 100\%,$$
$$\gamma'' = \frac{\Delta''}{P_к - P_н} \cdot 100\%, \qquad (1.6)$$

де γ', γ'' – основна наведена похибка манометра, що повіряється, при прямому і зворотному ході, %;

$P_к$, $P_н$ – кінцеве та початкове значення шкали манометра, що повіряється кгс/см^2 (МПа).

Варіацію обчислюють як різницю показів манометра, що відповідають одній і тій же відмітці, при прямому і зворотному ході:

$$V = \left|P' - P''\right|. \tag{1.7}$$

Приведену варіацію обчислюють як окреме від поділки значення варіації на діапазон показів манометра, що повіряється:

$$W = \frac{V}{P_к - P_н} \cdot 100\%. \tag{1.8}$$

Допустимі значення основної приведеної похибки і приведеної варіації чисельно рівні класу точності манометра, що повіряється. Наприклад, якщо клас точності манометра дорівнює 1,5, то допустимі значення основної приведеної похибки і варіації рівні:

$$\gamma_{доп} = W_{доп} = 1{,}5\%.$$

Допустимі значення основної абсолютної похибки і варіації обчислюють за формулами:

$$\Delta_{доп} = \frac{\gamma_{доп} \cdot \left(P_к - P_н\right)}{100},$$
$$V_{доп} = \frac{W_{доп} \cdot \left(P_к - P_н\right)}{100}. \tag{1.9}$$

Висновок про придатність технічного манометра, що повіряється, роблять на підставі порівняння максимальної абсолютної похибки і варіації манометра з їх основними допустимими значеннями. Замість максимальної абсолютної похибки та варіації можна використовувати основну максимальну приведену похибку та приведену варіацію.

Якщо виконуються умови:

$$\left|\Delta_{\max}\right| \le \left|\Delta_{доп}\right|,$$
$$\left|V_{\max}\right| \le \left|V_{доп}\right|, \tag{1.10}$$

де $\Delta_{\max}$, $V_{\max}$ – максимальні значення основної абсолютної похибки та варіації, отримані в результаті повірки, кгс/см^2 (МПа);

$\Delta_{доп}$, $V_{доп}$ – допустимі значення основної абсолютної похибки і варіації манометра, що повіряється, кгс/см^2 (МПа);

або умови:

$$|\gamma_{\max}| \le |\gamma_{доп}|,$$
$$|W_{\max}| \le |W_{доп}|, \qquad (1.11)$$

де $\gamma_{\max}$, $W_{\max}$ – максимальні значення основної приведеної похибки та приведеної варіації, %;

$\Delta_{доп}$, $V_{доп}$ – допустимі значення основної приведеної похибки та приведеної варіації, %;

то манометр, що повіряється, придатний до експлуатації, про що в протокол повірки заноситься відповідний запис. Якщо умови (1.10) або (1.11) не виконуються, то манометр, що повіряється, не придатний до експлуатації. Результати розрахунків заносять до протоколу повірки.

Зміст звіту

Звіт з лабораторної роботи повинен містити наступні розділи.

1. Опис принципу дії та будови манометра.
2. Схему ВПМ та короткий опис принципу дії.
3. Основні розрахункові співвідношення.
4. Протокол повірки (оформляється на окремій сторінці).
5. Відповіді на контрольні питання.

Контрольні питання

1. Яке призначення вантажопоршневих манометрів?
2. Які класи точності мають вантажопоршневі манометри?
3. На якому фізичному принципі ґрунтується робота вантажопоршневого манометра?
4. Для чого забезпечується проміжок 1-5 мкм між поршнем і циліндром вантажопоршневогох манометра?
5. Яка роль робочої рідини у вантажопоршневому манометрі?
6. Яким вимогам має відповідати еталонний манометр?
7. Який метод вимірювання реалізовано у вантажопоршневому манометрі?
8. Чому колонку вважають чутливим елементом вантажопоршневого манометра?
9. З якою метою під час вимірювання тиску обертають вантажоприймальну тарілку?
10. У чому полягає призначення гідравлічного преса у повірочній установці?
11. Чому поперечний переріз манометричної пружини має форму еліпса чи овалу?
12. У чому полягає причина переміщення вільного кінця манометричної

пружини при зміні тиску?

13. Від чого залежить величина зміни γ кута закручування трубчастої пружини манометра під впливом тиску?

14. За якими зовнішніми ознаками можна відрізнити зразковий деформаційний манометр від технічного?

15. Чим можна пояснити неоднозначність показів технічного манометра при прямому і зворотному ході на одній і тій же відмітці, що повіряється?

16. Для визначення яких метрологічних характеристик використовують клас точності манометра, що повіряється?

17. Який принцип дії деформаційних манометрів?

18. Які типи чутливих елементів застосовуються у деформаційних манометрах?

19. Як змінюється форма трубчастої пружини при збільшенні тиску?

20. Як обчислюється основна абсолютна похибка манометра, що повіряється?

21. Як визначають приведену похибку і варіацію під час повірки?

22. За якими критеріями роблять висновок про придатність або непридатність манометра до експлуатації?

Лабораторна робота №2
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 ЕТП–М і навчитись практично з ним працювати.

Прилади та обладнання:

1. Термометр ЕТП–М.
2. Набір насадок для вимірювання температури.
3. Об’єкти вимірювань температури.

2.1 Термометр ЕТП–М

1. Призначення термометра ЕТП–М:

1.1. Термометр ЕТП–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

Межі діапазонів вимірювання з номерами контактів перемикача наведені у таблиці 2.1.

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

Таблиця 2.1 – Основні технічні характеристики

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 ЕТП–М працює за принципом одинарного неврівноваженого моста постійного струму. Принципова електрична схема представлена на рисунку 2.1.

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.

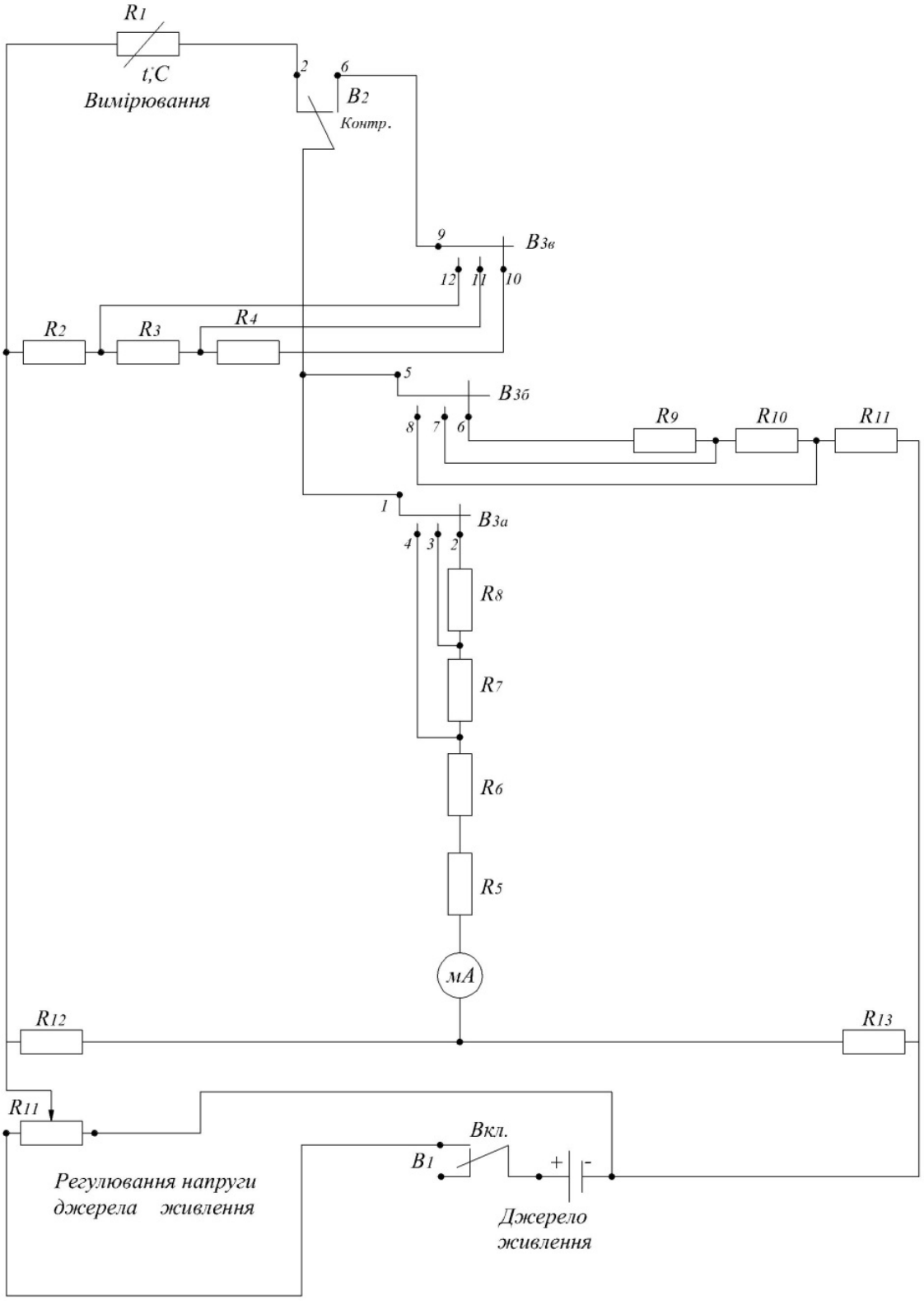


Рисунок 2.1 – Схема електрична принципова приладу ЕТП–М

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 ЕТП–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. 2.2) розміщені на лицевій панелі, встановленій у корпус, у нижній частині якого передбачена касета для розміщення елементів живлення. Для переносу термометр оснащений паском.

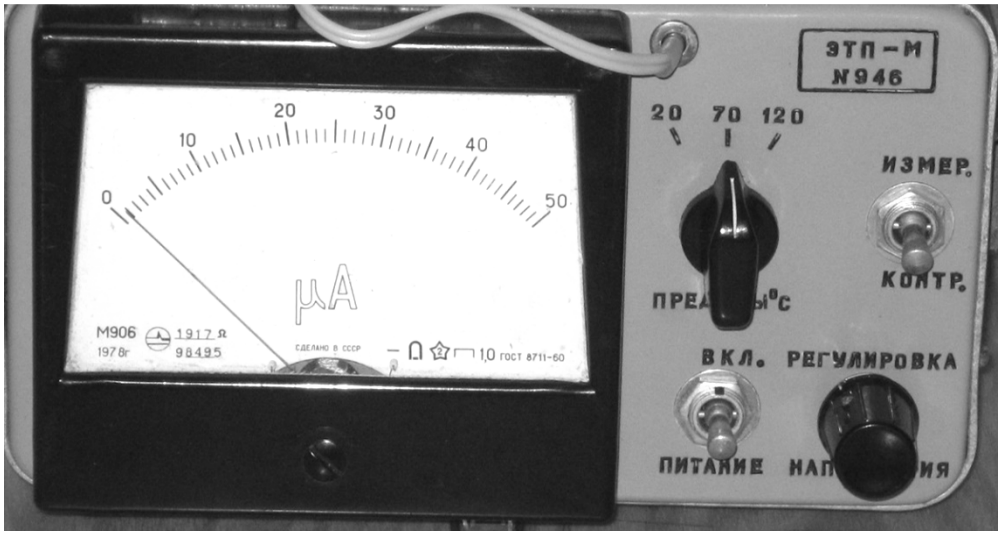


Рисунок 2.2 – Панель термометра ЕТП–М

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. 2.3) 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).

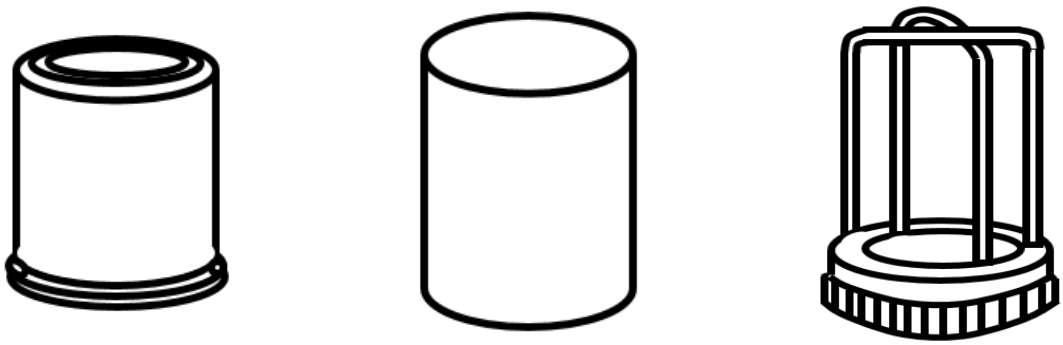
4.3. Поверніть ручку «РЕГУЛИРОВКА НАПРЯЖЕНИЯ» проти годинникової стрілки до упору.

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.



а) б) в)

Рисунок 2.3 – Типи насадок: а) насадка для вимірювання температури металевих поверхонь; б) насадка для вимірювання температури рідин; в) насадка для вимірювання температури газів

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 або за градуювальним графіком (рис. 2.4) визначте значення вимірювальної температури.

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

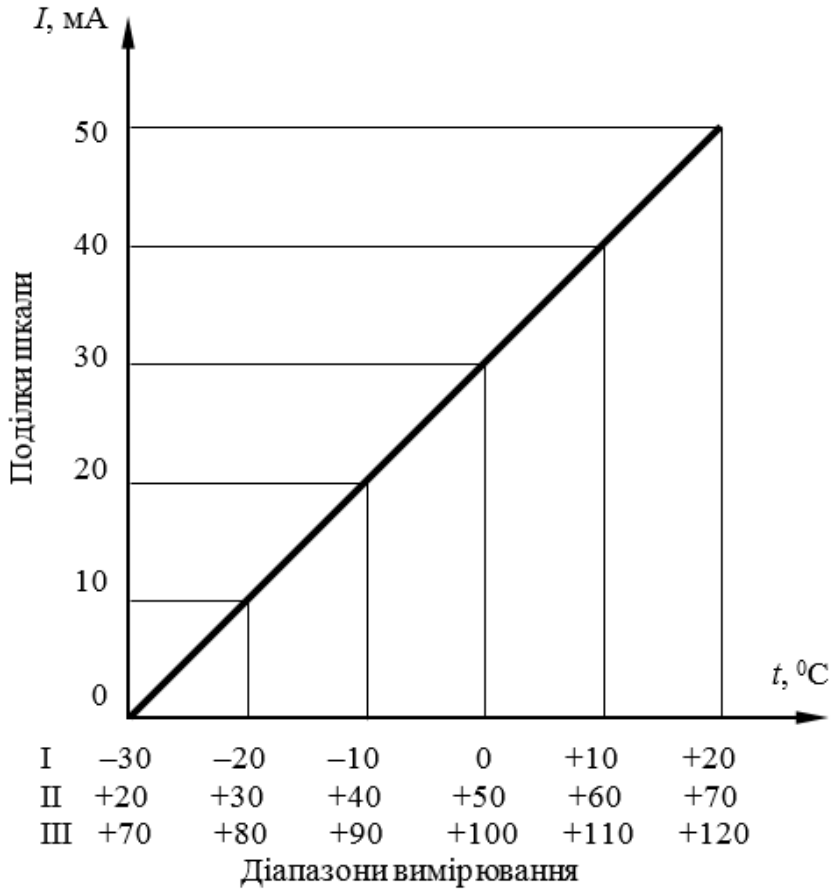


Рисунок 2.4 – Градуювальний графік

2.2 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:

$$t_{ср} = \frac{t_1 + t_2 + ... + t_n}{n}, \qquad (2.1)$$

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

n – число відрахувань показів приладу.

Результати вимірювань записати у таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 – Результати вимірювань

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

Значення $t_1, t_2, \ ... \ t_n$ 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:

$$\left.\begin{aligned} e_1 &= t_1 - t_{ср}; \\ e_2 &= t_2 - t_{ср}; \\ &\cdots\cdots\cdots\cdots \\ e_n &= t_n - t_{ср}. \end{aligned}\right\} \qquad (2.2)$$

При правильному визначенні $t_{ср}$ алгебраїчна сума відхилень e повинна

дорівнювати нулю, тобто

$$\sum e = 0. \tag{2.3}$$

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:

$$\sigma = k\sqrt{\frac{e_1^2 + e_2^2 + ... + e_n^2}{n(n-1)}}; \tag{2.4}$$

$$\rho = v\sqrt{\frac{e_1^2 + e_2^2 + ... + e_n^2}{n(n-1)}}; \tag{2.5}$$

$$\lambda = m\sqrt{\frac{e_1^2 + e_2^2 + ... + e_n^2}{n(n-1)}}. \tag{2.6}$$

Значення коефіцієнтів у формулах (2.4) – (2.6) вибираються залежно від величини (n–1) за таблицею 2.3 (складена за даними В.І. Романовського).

Таблиця 2.3 – 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 ЕТП – М.
2. Технічні характеристики термометра ЕТП – М.
3. Принцип дії термометра ЕТП – М.
4. Які є типи насадок для вимірювання температури?
5. Для чого призначений градуювальний графік?

Лабораторна робота №3
ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕРМОПАРИ

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

Прилади та обладнання:

1. Термопара типу хромель-алюмель.
2. Пірометричний мілівольтметр.
3. Джерело тепла.

3.1 Термоелектричні термометри

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 3.1. 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.

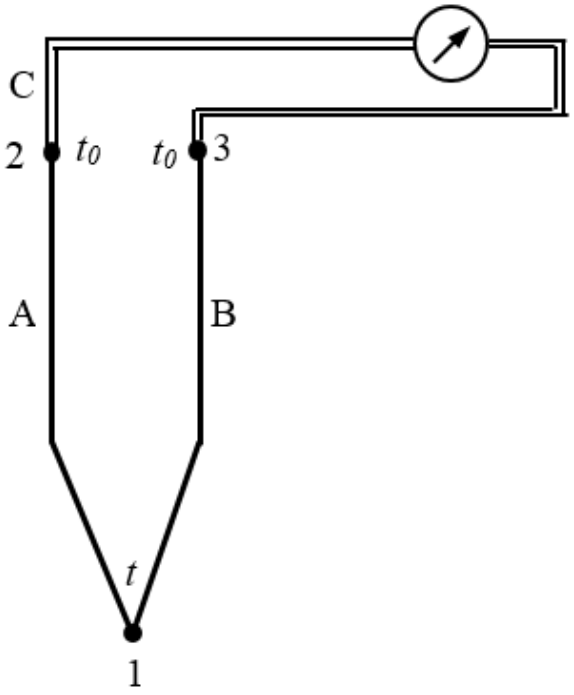


Рисунок 3.1 – Схема термопари з вимірювальним приладом

Термопари, які отримали практичне застосування, розділяють в основному на дві групи: із дорогоцінних і недорогоцінних металів чи сплавів. У таблиці 3.1 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 3.1 – 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. 3.2).

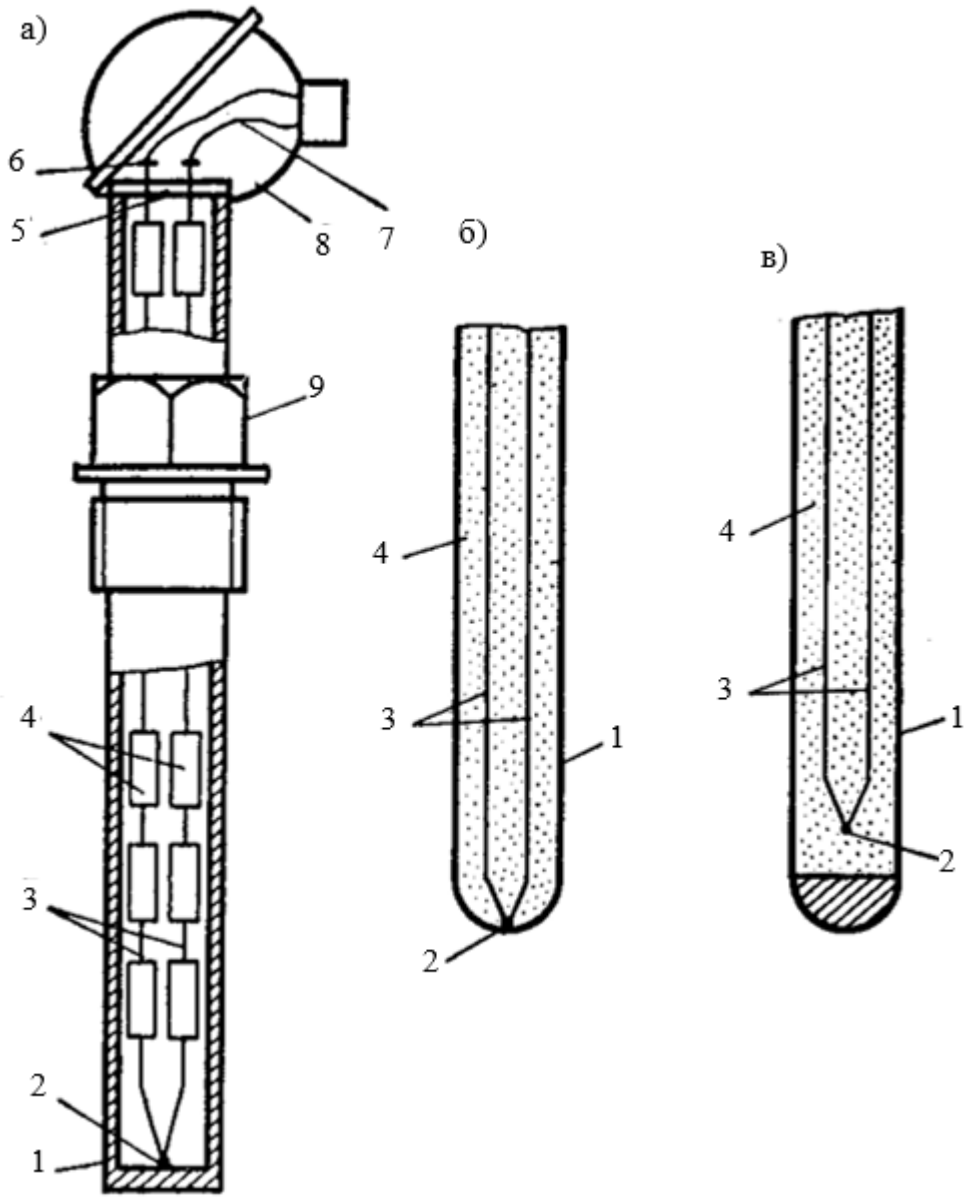


Рисунок 3.2 – Конструкція термоелектричних термометрів

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 3.2 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. 3.2 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. 3.2, б) чи ізольований від неї (рис. 3.2, 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 3.3. 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).

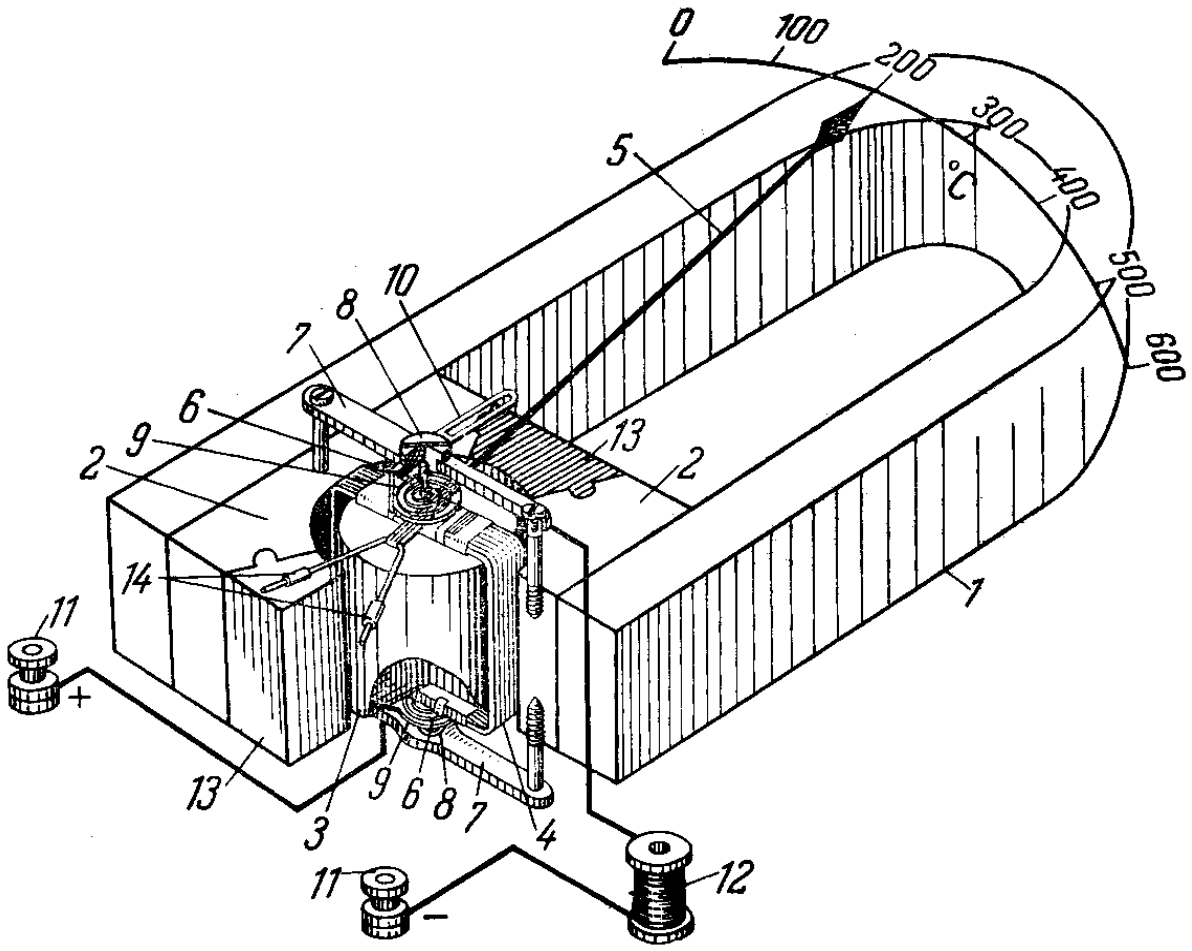


Рисунок 3.3 – Будова пірометричного мілівольтметра

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.

3.2 Хід роботи

1. Записати марку термопари експериментальної установки (рис. 3.4). Встановити, які термоелектроди застосовані у термопарі. З таблиці 3.1 виписати характеристики термопари. З каталога виписати характеристики термопари вимірювальної установки.

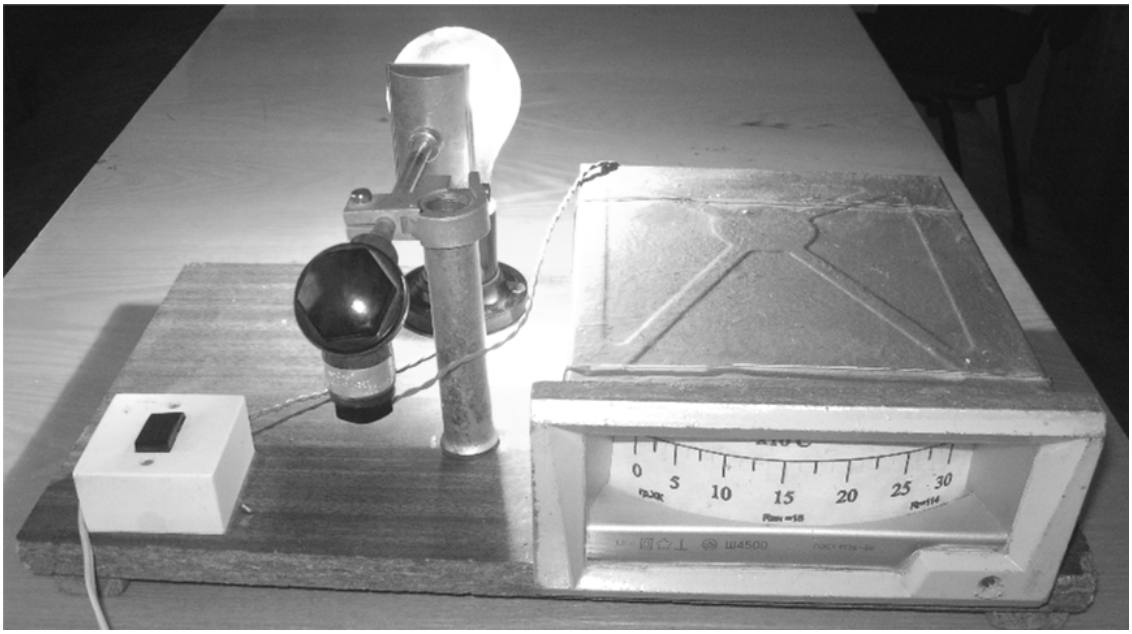


Рисунок 3.4 – Експериментальна установка для вимірювання температури

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 3.2.

Таблицю 3.2 – 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 3.2) 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 3.3.

Таблиця 3.3 – Результати вимірювання температури

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

3.3 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:

$$t_{ср} = \frac{t_1 + t_2 + ... + t_n}{n}, \tag{3.1}$$

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

n – число відрахувань показів приладу.

Результати вимірювань записати у таблицю 3.2.

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:

$$\left.\begin{aligned} e_1 &= t_1 - t_{ср}; \\ e_2 &= t_2 - t_{ср}; \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots \\ e_n &= t_n - t_{ср}. \end{aligned}\right\} \tag{3.2}$$

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

$$\sum e = 0 . \tag{3.3}$$

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:

$$\sigma = k\sqrt{\frac{e_1^2 + e_2^2 + ... + e_n^2}{n(n-1)}}; \tag{3.4}$$

$$\rho = v\sqrt{\frac{e_1^2 + e_2^2 + ... + e_n^2}{n(n-1)}}; \tag{3.5}$$

$$\lambda = m\sqrt{\frac{e_1^2 + e_2^2 + ... + e_n^2}{n(n-1)}}. \tag{3.6}$$

Значення коефіцієнтів у формулах (3.4) – (3.6) вибираються залежно від величини (n–1) за таблицею 2.2 (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 №4
ВИВЧЕННЯ І ПОВІРКА КОМПЛЕКТУ ВИТРАТОМІРА З ДИФЕРЕНЦІАЛЬНОГО-ТРАНСФОРМАТОРНОЮ СИСТЕМОЮ ДИСТАНЦІЙНОЇ ПЕРЕДАЧІ ПОКАЗІВ

Мета роботи: вивчення технічних засобів вимірювання рідин, газів і пари, вивчення зразкових засобів, які застосовуються для повірки витратомірів змінного перепаду тиску, набуття навичок роботи зі зразковими засобами вимірювання і повірки витратоміра.

Прилади та обладнання:

1. Цифровий комплекс типу ВПТЦ.
2. Ємкість з регульованим рівнем води.
3. Демонстраційний стенд системи автоматичного регулювання рівня рідини.
3. Електроди (3 шт.).
4. Сигнальний пристрій.

4.1 Цифровий комплекс типу ВПТЦ

Цифровий комплекс типу ВПТЦ складається з електросилового вимірювального перетворювача тиску типу ВПТ, цифрового вольтметра типу Щ304 і є робочим еталоном для повірки технічних засобів вимірювання тиску або перепаду тиску.

На рисунку 4.1 наведено кінематичну схему ВПТ. Принцип дії перетворювача тиску типу ВПТ полягає в наступному. У внутрішню порожнину чутливого елемента 12 перетворювача подається тиск *P*.

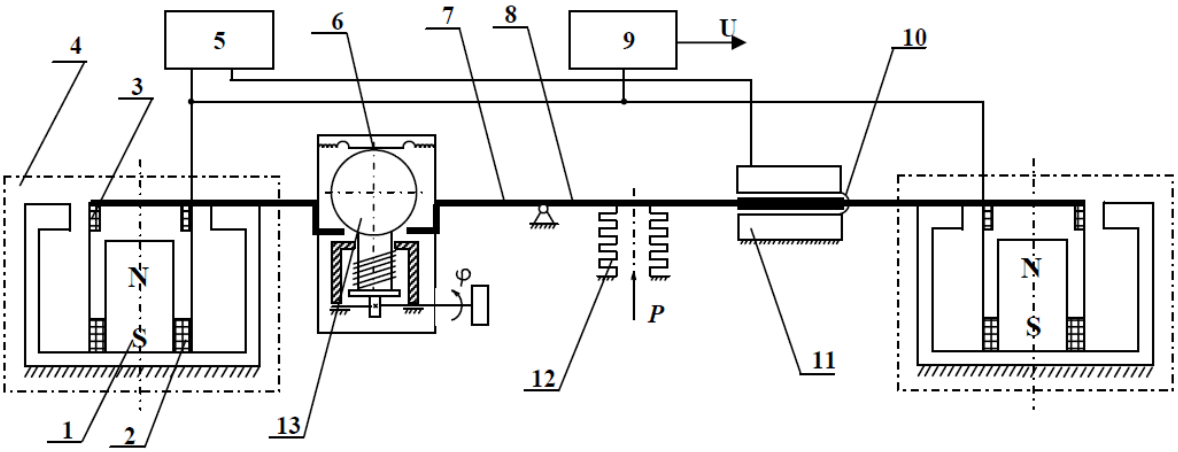


Рисунок 4.1 – Кінематична схема вимірювального перетворювача тиску типу ВПТ

Чутливий елемент перетворює цей тиск у переміщення чутливого елемента 12, який передається на двоплечий важіль 7, збалансований відносно опори 8. Під дією сили, що створюється чутливим елементом, важіль і зв’язаний з ним плунжер 10 індикатора неузгодженості 11 переміщуються.

Індикатор неузгодженості перетворює переміщення в сигнал змінного струму, що поступає на вхід підсилювача 5. Підсилювач перетворює вхідний сигнал змінного струму у вихідний сигнал постійного струму, який поступає на рухливі обмотки 3 і обмотки корекції нелінійності 2 силових механізмів 4 а також на вхід блоку резисторів 9, вихідний сигнал якого є вихідним сигналом перетворювача.

У силових механізмах 4 взаємодії полів полів постійних магнитов 1 з магнітними полями, створюваними струмами, що протікають по обмотках 2 і 3, створюють сили, значення яких пропорційні цим струмам і силам, створюваним чутливим елементом.

Для періодичного коригування нуля та діапазону вимірювання ВПТ на його передній панелі (рис. 4.2) є коректор нуля 15, коректор діапазону 16 , а в корпусі ВПТ (рис. 4.1) – навантажувальний пристрій, що складається з вантажу-кулі 13 і мембрани 6.

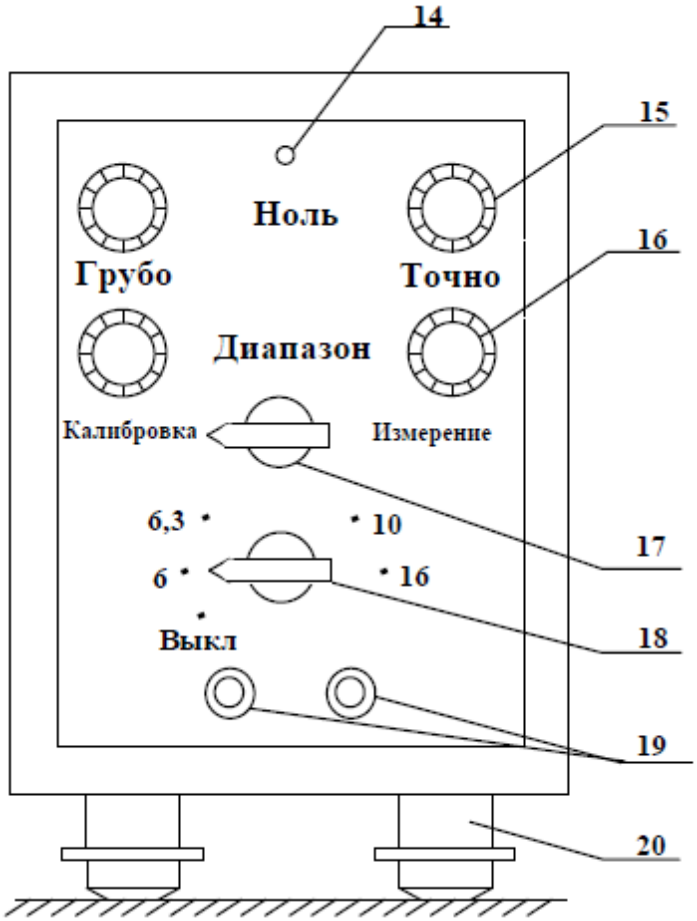


Рисунок 4.2 – Передня панель ВПТ

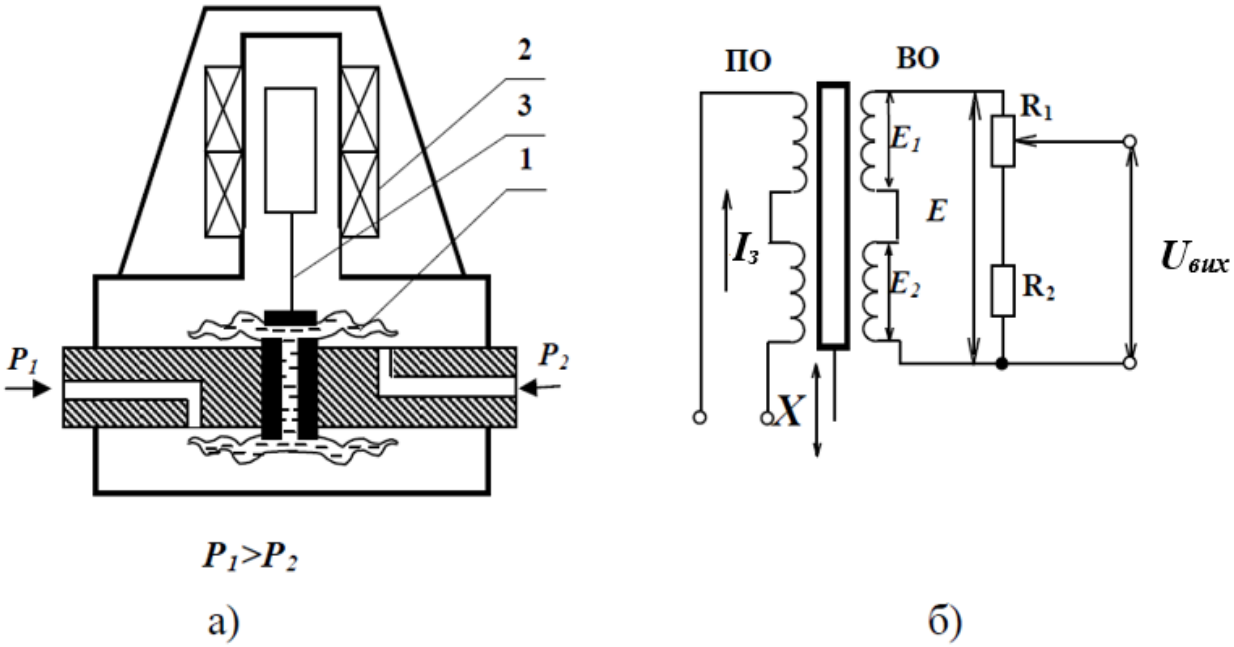
Коректори нуля та діапазону мають грубе та точне налаштування. Грубе налаштування проводиться за допомогою коректора «Грубо», а точне налаштування – за допомогою коректора «Точно». Накладення вантажу 13 на важіль 7 проводиться переведенням перемикача 17 (рис. 4.2) в положення «Калибровка». У режимі вимірювання перемикач 17 повинен знаходитись у положенні «Измерение». Вихідний сигнал ВПТ знімається з клем 19.

Включення живлення ВПТ здійснюється перемикачем діапазонів вимірювання 18, об'єднаним з вимикачем напруги живлення. При включенні живлення ВПТ загоряється лампочка індикатора 14 наявності напруги живлення.

У горизонтальне положення ВПТ встановлюють за рівнем регулюванням висоти ніжок 20. На задній панелі ВПТ розташовані штуцер для підведення вимірюваного тиску, роз'єм живлення і запобіжник.

4.2 Диференціальний манометр

Диференціальний манометр (дифманометр) типу ДМ 3583М, схема якого представлена на рисунку 4.3, призначений для перетворення перепаду тиску в електричний вихідний сигнал.



а) б)

Рисунок 4.3 – Схема диференціального манометра типу ДМ 3583М та принципова електрична схема ДТП

Принцип дії дифманометра заснований на деформації пружного чутливого елемента 1, що являє собою здвоєну мембранну коробку, при впливі на нього перепаду тиску. При деформації чутливого елемента переміщується осердя 3 диференціально-трансформаторного перетворювача (ДТП) 2, зв'язаного з чутливим елементом.

Переміщення осердя 3 перетворюється на пропорційне значення взаємної індуктивності первинної обмотки (ПО), яка є обмоткою збудження, і включеними зустрічно секціями вторинної обмотки (ВО).

Взаємна індуктивність зв'язана з вимірюваним перепадом тиску $\Delta P = P_1 - P_2$, де P_1 – тиск у плюсовій камері дифманометра, P_2 – тиск у мінусовій камері дифманометра, залежністю:

$$M = M_B \frac{\Delta P}{\Delta P_B}, \qquad (4.1)$$

де M – взаємна індуктивність між ПО і ВО перетворювача, мГн;

ΔP – вимірюваний перепад тиску, Па;

ΔP_B – верхня межа діапазону вимірювання перепаду тиску, Па;

M_B – значення взаємної індуктивності, що відповідає верхній межі діапазону вимірювання перепаду тиску, M_B = 10 мГн.

Магнітний потік обмотки збудження, створюваний струмом збудження $I_з$ (рис. 4.3, б), пронизує обидві секції вторинної обмотки. У першій секції ВО індукується ЕРС E_1, а в другій секції ВО – ЕРС E_2. Оскільки секції вторинної обмотки включені зустрічно, а магнітні потоки, що пронизують секції ВО, пропорційні взаємним індуктивностям обмотки збудження та відповідним секціям ВО, що результуюча ЕРС вторинної обмотки E визначається як різниця ЕРС E_1 та E_2:

$$E = E_1 - E_2 = 2\pi f I_з M_1 - 2\pi f I_з M_2 = 2\pi f I_з (M_1 - M_2) = 2\pi f I_з M, \qquad (4.2)$$

де f – частота струму збудження;

M_1 – взаємна індуктивність обмотки збудження та першої секції вторинної обмотки,

M_2 – взаємна індуктивність обмотки збудження та другої секції вторинної обмотки.

Для уніфікації вихідних сигналів перетворювачів, тобто встановлення строго визначеної для всіх перетворювачів залежності вихідного сигналу $U_{вих}$ (рис. 4.3, б) від вхідного сигналу X, у ланцюг ВО введений дільник, що складається з опорів R_1 і R_2. Зміщенням двигуна змінного опору R_1 можна домогтися однакової залежності $U_{вих} = f(X)$, де X – вхідний сигнал, рівний за значенням величині переміщення осердя ДТП, для різних екземплярів перетворювачів. Зазвичай $U_{вих}$ виражають через взаємну індуктивність $M_{вих}$ обмотки збудження ПО і вихідній ланцюга перетворювача, а не через взаємні індуктивності M_1 і M_2 первинної обмотки ПО і секціями вторинної обмотки ВО, які використані у співвідношенні (4.2). Тому вираз (4.2) приймає наступний вигляд:

$$U_{вих} = 2\pi f I_з M_{вих}. \qquad (4.3)$$

Значення взаємної індуктивності обмотки збудження ПО та вихідного ланцюга ДТП визначається за формулою:

$$M_{вих} = M_в \frac{X}{X_B}, \qquad (4.4)$$

де X – переміщення осердя перетворювача;

X_B – переміщення осердя перетворювача, що відповідає верхній межі вимірювання.

Отже, величина вихідного сигналу ДТП визначається за формулою:

$$U_{вих} = 2\pi f I_з M_{вих} \frac{X}{X_B}. \qquad (4.5)$$

Для різних типів перетворювачів максимальне переміщення осердя X_B дорівнює 1,6 мм, 2,5 мм або 4 мм. У середньому положенні осердя перетворювача $M_1 = M_2$, $M_{вих} = 0$, тому вихідний сигнал перетворювача $U_{вих} = 0$. При зміщенні осердя від середнього положення на виході ДТП утворюється вихідний сигнал, величина якого пропорційна переміщенню X осердя.

4.3 Автоматичні прилади для вимірювання витрати рідин, газів і пару

В якості вимірювальних приладів для вимірювання витрати рідин, газів і пари, що працюють в комплекті з ДМ, використовують показуючі прилади типу КПД і самописні прилади типу КСД. Прилади цих типів можуть бути обладнані сигналізуючими, регулюючими та інтегруючими пристроями. Вимірювальні схеми приладів типу КПД і КСД однакові і в комплекті з ДТП диференційного манометра типу ДМ утворюють дистанційну диференціально-трансформаторну систему передачі показів. Принципова схема диференціально-трансформаторної системи передачі показів представлена на рисунку 4.4.

Первинні обмотки перетворювачів ДТП1 та ДТП2 з'єднані послідовно. Живлення цих обмоток здійснюється змінним струмом напругою 24 В і частотою 50 Гц від спеціальної обмотки силового трансформатора підсилювача. Вторинні обмотки перетворювачів ДТП1 і ДТП2 з'єднані за диференціальною схемою, в якій здійснюється операція віднімання вихідного сигналу U_2 перетворювача ДТП2 з вихідного сигналу U_1 перетворювача ДТП1.

За відсутності перепаду тиску на вході ДМ, коли вимірювана витрата дорівнює нулю, осердя перетворювачів ДТП1 та ДТП2 перебувають у середньому положенні. При цьому положенні осердь вихідний сигнал U_1 перетворювача ДТП1 і вихідний сигнал U_2 перетворювача ДТП2 рівні нулю, тому $\Delta U = U_1 - U_2 = 0$. У цьому випадку стрілка відлікового пристрою приладу повинна знаходитися на нульовій позначці. Якщо стрілка відлікового пристрою не знаходиться на нульовій позначці, то при таких положеннях осердь вихідний сигнал U_1 перетворювача ДТП1 і вихідний сигнал U_2 перетворювача ДТП2 не рівні між собою і на вхід підсилювача надходить сигнал $\Delta U = U_1 - U_2$. Сигнал ΔU підсилюється і подається на управляючу обмотку реверсивного двигуна РД.

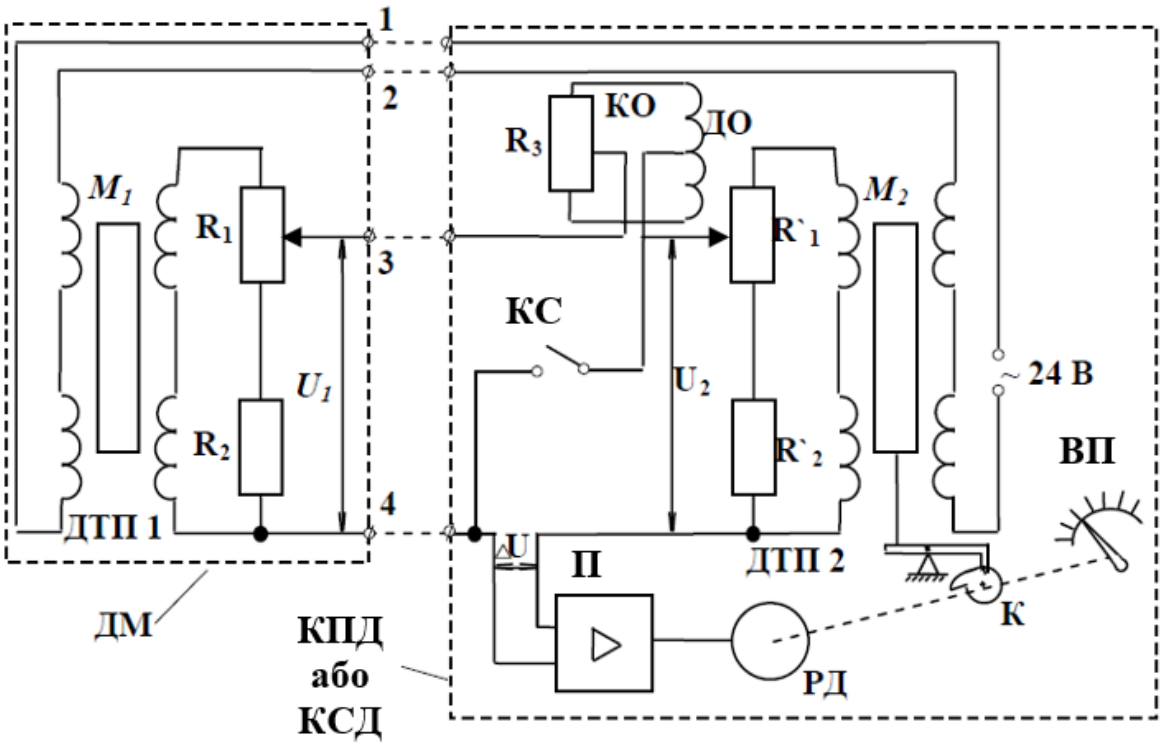


Рисунок 4.4 – Принципова схема диференційно-трансформаторної системи передачі показів: ДТП1 – диференціально-трансформаторний перетворювач ДМ; ДТП2 – диференціально-трансформаторний перетворювач КПД або КСД; КО – коректор нуля, що складається з додаткової обмотки (ДО) та змінного опору R3; КС – кнопка контролю справності приладу; П – підсилювач; РД – реверсивний двигун; К – кулачок; ВП – відліковий пристрій

За наявності напруги на обмотці збудження реверсивного двигуна його вал починає обертатися і за допомогою кулачка переміщає осердя перетворювача ДТП2 до положення рівноваги, при якому $U_1 = U_2$, а сигнал на вході підсилювача дорівнює нулю ($\Delta U = U_1 - U_2 = 0$).

Інакше слідкуюча система, що складається з підсилювача, реверсивного двигуна та кулачка, приведе осердя перетворювача ДТП2 у положення рівноваги. У положенні рівноваги вал реверсивного двигуна зупиниться, а стрілка відлікового пристрою приладу встановиться на позначці шкали, що відповідає вимірюваній витраті.

4.4 Установка для повірки витратомірів з ДТП

Схема установки для повірки витратомірів з ДТП представлена на рисунку 4.5. Установка містить сильфонний прес СП, призначений для створення тиску, запірні голчасті вентилі В1-В3, робочий еталон, що складається з вимірювального перетворювача тиску ВПТ та цифрового вольтметра PV. Витратомір, що повіряється, може складатися з дифманометра типу ДМ та вимірювального приладу типу КПД або КСД.

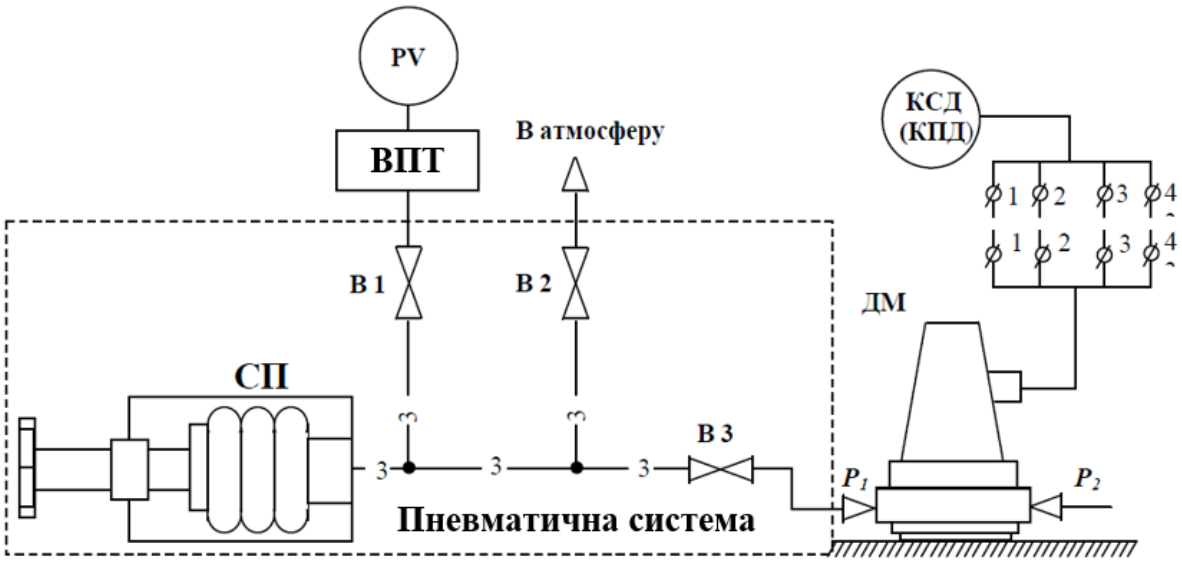


Рисунок 4.5 – Схема установки для повірки витратомірів з ДТП:
—— електричні ланцюги, -З- повітряні лінії

4.5 Підготовка установки та витратоміра до повірки

Перед повіркою витратоміра необхідно під'єднати дифманометр до пневматичної системи та провести монтаж електричних ланцюгів. Монтаж електричних ланцюгів проводиться наступним чином. Вихідні клеми диференціального манометра ДМ, виведені на передню панель щита лабораторної установки, з'єднують з вхідними клемами приладу типу КПД1 або КСД2 відповідно до маркування клем. Монтаж слід проводити при відключеному живленні лабораторної установки (тумблер «Загальний» у відключеному стані). Після монтажу електричних ланцюгів необхідно включити живлення лабораторної установки, живлення приладу типу КПД1 або КСД2, а також живлення зразкового комплексу ВПТЦ за допомогою відповідних тумблерів (тумблери «Загальний», «КПД1» або «КСД2», «ВПТЦ» перевести в положення «Живлення ~220 В включено»).

Цифровий вольтметр робочого еталона може бути використаний як для вимірювання значення вихідного сигналу вимірювального перетворювача тиску типу ВПТ, так і для вимірювання значення вихідного сигналу проміжного перетворювача витрати. Перемикання вхідних сигналів цифрового вольтметра здійснюється за допомогою тумблера «Підключення Щ304». При повірці витратомірів з диференціально-трансформаторною системою передачі показів тумблер «Підключення Щ304» повинен перебувати в положенні «ВПТ».

Вентилі В1 «До ВПТ», В3 «До датчиків» та В2 «В атмосферу» повинні бути у відкритому положенні, а шток сильфонного преса – повністю виведений із щита шляхом обертання рукоятки сильфонного преса проти годинникової стрілки.

Гумовою трубкою з накидною гайкою пневматична система з'єднується зі штуцером плюсової камери перетворювача типу ДМ, що повіряється. Між

накидною гайкою та штуцером ДМ необхідно встановити гумову прокладку.

Після прогрівання, тривалість якого повинна становити 1 годину, необхідно провести установку нижньої та верхньої меж вимірювання (калібрування) ВПТ. Калібрування проводиться у відповідності з чисельними значеннями нижньої та верхньої меж вимірювань, а також чисельними значеннями нижньої та верхньої калібрувальних точок, наведеними у свідоцтві про повірку комплексу для вимірювання тиску типу ВПТЦ (таблиця 4.1). Верхня межа вимірювання, що встановлюється за допомогою перемикача 18 (рис. 4.2), повинна відповідати верхній межі вимірювання перепаду тиску диференціального манометра ΔP, зазначеному в його паспорті.

Таблиця 4.1 – Свідоцтво про повірку цифрового комплексу типу ВПТЦ моделі 89012, що складається з перетворювача тиску типу ВТП № 2134 та цифрового вольтметра типу Щ304-1 № 0058

Нижня межа вимірювань	Верхня межа вимірювань	При вимірюванні надлишкового тиску, кгс/см^2. Калібрувальні точки		Межа допустимої основної похибки
		Нижня	Верхня	
кгс/см^2		В		%
0	0,063	0	0,9138	0,25
0	0,10	0	0,5756	0,15
0	0,16	0	0,3598	0,10

Перемикач діапазонів вимірювань 18 встановлюється в положення, що відповідає верхній межі вимірювання перепаду тиску диференціального манометра ΔP.

При відкритому вентилі В2 коректором нуля ВПТ встановлюється нижня точка калібрування, зазначена в таблиці 4.1. При цьому перемикач 17 повинен знаходитись у положенні «Вимірювання».

Перемикач 17 переключається в положення «Калібрування» і коректором діапазону вимірювання 16 встановлюється значення вихідного сигналу ВПТ, що відповідає верхній калібрувальній точці установленій з допомогою перемикача 18 і рівній діапазону вимірювань ДМ.

Далі операції установки нижньої та верхньої калібрувальних точок повторюються доти, поки похибка установки калібрувальних точок не досягне значення ±0,01%. Таке значення похибки установки відповідає відхиленням у показах цифрового вольтметра четвертої цифри після коми від калібрувальної точки на одиницю.

Проводиться перевірка герметичності пневматичної системи при закритому вентилі В2. За допомогою сильфонного преса створюється тиск, що дорівнює верхній межі діапазону вимірювань перетворювача ДМ, що повіряється. Зміна тиску у пневматичній системі спостерігається за показами цифрового вольтметра PV. Верхньому значенню тиску в пневматичній системі відповідає показ PV, рівний 1 В. Пневматичну систему вважають герметичною в тому випадку, якщо після витримки системи під максимальним тиском

протягом 3-х хвилин в ній не спостерігається падіння тиску протягом наступних 2-х хвилин.

4.6 Повірка витратоміра

Метою повірки витратоміра є встановлення відповідності його метрологічних характеристик паспортним даним. Встановлення цієї відповідності здійснюється шляхом порівняння максимальних значень основної абсолютної похибки та варіації витратоміра, що повіряється з межами основної абсолютної похибки і варіації показів витратоміра.

Перед повіркою витратоміра перевіряють збіг стрілки вимірювального приладу, що входить до складу витратоміра, з нульовою відміткою шкали за відсутності перепаду тиску на вході диференціального манометра (вентиль В2 відкритий). При відхиленні стрілки вимірювального приладу від нульової позначки шкали слід встановити її на нульову позначку за допомогою коректора нуля приладу. За відсутності перепаду тиску стрілка-покажчик приладу, що не має коректора нуля, повинна встановлюватися на нульову позначку шкали з відхиленням, що не перевищує ±0,25 межі допустимої приведеної похибки приладу.

Визначення основної похибки витратоміра виконують не менше ніж при п’яти значеннях витрати, розташованих в діапазоні вимірювань витратоміра, в тому числі при значеннях витрати, що відповідають 30% і 100% верхньої межі вимірювання витратоміра.

Відповідно до шкали вимірювального приладу, що входить до складу витратоміра, намічають 3 оцифровані позначки шкали приладу, розташовані в діапазоні від 30 % до 100 % верхньої межі вимірювань.

Основна похибка приладу, що повіряється, визначається як різниця розрахункового значення перепаду тиску, що відповідає значенню вимірювальної витрати, і значення перепаду тиску, виміряного робочим еталоном.

Для значень витрати, що відповідають наміченим відміткам шкали приладу, визначають розрахункові значення перепаду тиску за формулою:

$$\Delta P_P = \Delta P_B \left(\frac{N}{N_{\max}} \right)^2, \qquad (4.6)$$

де ΔP_P – розрахункове значення перепаду тиску, кПа;

ΔP_B – верхня межа діапазону вимірювання перетворювача, кПа;

N_{max} – верхня межа діапазону вимірювання приладу;

N – значення вимірюваної величини, що відповідає обраній позначці шкали.

Так як значення вимірюваного перепаду тиску перетворюється робочим еталоном типу ВПТЦ в електричну величину, що вимірюється цифровим вольтметром, то верхній межі вимірювання перетворювача ΔP_P відповідає

верхня межа вимірювання цифрового вольтметра $U_в$ = 1,0000 В.

Для значень витрати, що відповідають наміченим відміткам шкали приладу, визначають дійсні значення напруги з точністю до 4-го знака після коми за формулою:

$$U_Д = U_B \left(\frac{N}{N_{\max}} \right)^2, \tag{4.7}$$

де $U_Д$ – дійсні значення напруги, В.

Значення ΔP_P та $U_Д$ для намічених позначок шкали заносять у протокол перевірки, форма якого наведена нижче. Визначають межі допустимих основних абсолютних похибок витратоміра для намічених позначок шкали за формулою:

$$\Delta_{доп,i} = U_B \frac{2 \cdot \gamma}{100} \left(\frac{N}{N_{\max}} \right)^2, \tag{4.8}$$

де $\Delta_{доп,i}$ – межа основної абсолютної похибки витратоміра для наміченої позначки шкали, В;

γ – межа допустимої основної похибки, витратоміра, що повіряється,%.

Межа основної похибки витратоміра, що повіряється, відповідає максимальному значенню меж допустимої основної похибки технічних засобів, що входять до складу витратоміра. Оскільки межа основної похибки дифманометра типу ДМ становить 1,5 %, а вимірювальних приладів типів КПД1 і КСД2 – 1 % , то межа допустимої основної похибки витратоміра, що повіряється, γ = 1,5 %.

Межа варіації показів витратоміра $V_{доп,i}$ приймається рівною межі допустимої основної абсолютної похибки витратоміра для наміченої позначки шкали.

Вихідні дані визначення основної абсолютної похибки і варіації показів витратоміра отримують у результаті досвіду. Досвід проводять при відкритих вентилях В1 «До ВПТ» і В3 «До датчиків» і закритому вентилі В2 «В атмосферу» спочатку при плавно зростаючому (прямий хід), а потім при плавно спадаючому (зворотний хід) перепаді тиску.

При прямому та зворотному ході, плавно збільшуючи або зменшуючи перепад тиску за допомогою сильфонного преса, встановлюють стрілку витратоміра на намічену позначку шкали. На індикаторі цифрового вольтметра зчитують відповідне перепаду тиску реальне значення напруги U_P. Вимірювання напруги U_P проводять при значеннях перепаду тиску, що відповідають наміченим позначкам шкали, а також відповідають 30 % і 100 % верхньої межі вимірювань витратоміра. Результати вимірювань значень напруги U_P записують у протокол повірки.

Основну похибку витратоміра, що повіряється, визначають як різницю значення напруги U_P, виміряного робочим еталоном типу ВПТЦ і дійсного значення напруги $U_Д$, що відповідає значенню вимірюваного перепаду тиску. Для намічених позначок шкали, а також для позначок, що відповідають 30 % і 100 % верхньої межі вимірювань витратоміра, розраховують абсолютні похибки при прямому Δ_1 та зворотному Δ_2 ході та варіацію показів V за формулами:

$$\begin{aligned} \pm\Delta_1 &= U_{P1} - U_Д, \\ \pm\Delta_2 &= U_{P2} - U_Д, \\ V &= |U_{P1} - U_{P2}|, \end{aligned} \qquad (4.9)$$

де U_{P1} і U_{P2} – значення напруги, виміряні за допомогою цифрового вольтметра при прямому і зворотному ході, В;

$U_Д$ – дійсне значення напруги, В.

ПРОТОКОЛ

повірки витратоміра

Вимірювальний прилад:
тип _____, № _____. Межа вимірювання _____
Клас точності _____.
Перетворювач:
тип _____, № _____. Межа вимірювання _____
Клас точності_____.
Робочий еталон:
тип_____, модель_____, №_____
Межа вимірювання _____. Клас точності_____

Номінальне значення вимірюваної величини N	Межа допустимої Основної абсолютної похибки $\Delta_{доп,i}$	Дійсні значення напруги, $U_Д$	Виміряне значення напруги		Абсолютна похибка		Варіація V
			Прямий хід, U_{P1}	Зворотній хід, U_{P2}	Прямий хід, Δ_1	Зворотній хід, Δ_2	
т/ч (%)	В	В	В	В	В	В	В

Висновок _____.

Шляхом порівняння значень основних абсолютних похибок і варіацій показів повіреного витратоміра з межами допустимих основних абсолютних

похибок і варіацій показів витратоміра у кожній відмітці шкали, що повіряється, встановлюють відповідність його метрологічних характеристик паспортним даним. Якщо виконуються умови:

$$\left|\Delta_i\right| \le \Delta_{доп,i}; \tag{4.10}$$

$$V_i \le V_{доп,i}, \tag{4.11}$$

то метрологічні характеристики витратоміра відповідають паспортним даним, і в протоколі повірки роблять запис «Прилад придатний для вимірювань». Якщо хоча б одна з умов (4.10, 4.11) не виконується, то метрологічні характеристики витратоміра не відповідають паспортним даним, і в протоколі перевірки роблять запис «Прилад непридатний для вимірювань».

Зміст звіту

Звіт з лабораторної роботи має містити розділи.

1. Диференціально-трансформаторна система передачі показів.
2. Установка для повірки витратоміра з ДТП.
3. Повірка витратоміра.
4. Протокол повірки витратоміру (оформляється на окремій сторінці звіту).
5. Відповіді на контрольні запитання.

Контрольні питання

1. Що є чутливим елементом дифманометра?
2. Які пристрої входять до комплекту витратоміра змінного перепаду тиску?
3. У чому полягає принцип дії ДТП?
4. Від яких факторів залежить розмір взаємної індуктивності між обмотками ДТП?
5. Як здійснюється корекція нульового стану осердя ДТП?
6. З якою метою в ланцюг вторинної обмотки ДТП введено дільник напруги?
7. Яким чином проводиться калібрування ВПТЦ?
8. Який вид перетворювача використовується в ВПТ?

Лабораторна робота №5
ВИМІРЮВАННЯ РІВНЯ РІДИН. ЕЛЕКТРИЧНІ СИГНАЛІЗАТОРИ РІВНЯ

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

Прилади та обладнання:

1. Електронний регулятор-сигналізатор рівня ЕРСУ–К2.
2. Ємкість з регульованим рівнем води.
3. Демонстраційний стенд системи автоматичного регулювання рівня рідини.
4. Електроди (3 шт.).
5. Сигнальний пристрій.

5.1 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. 5.1).

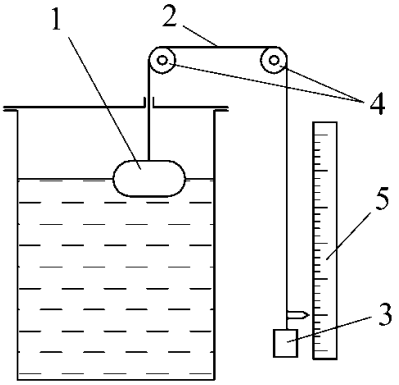


Рисунок 5.1 – Схема поплавкового рівнеміра з вертикальною шкалою

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. 5.2).

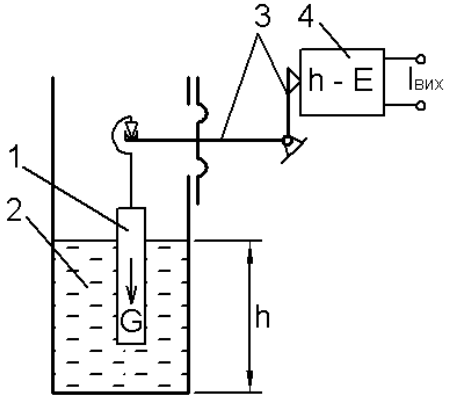


Рисунок 5.2 – Схема буйкового рівнеміра з електричним виходом:
1 – буйок масою *G*; 2 – ємкість; 3 – система важелів;
4 – нормуючий перетворювач

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. 5.3).

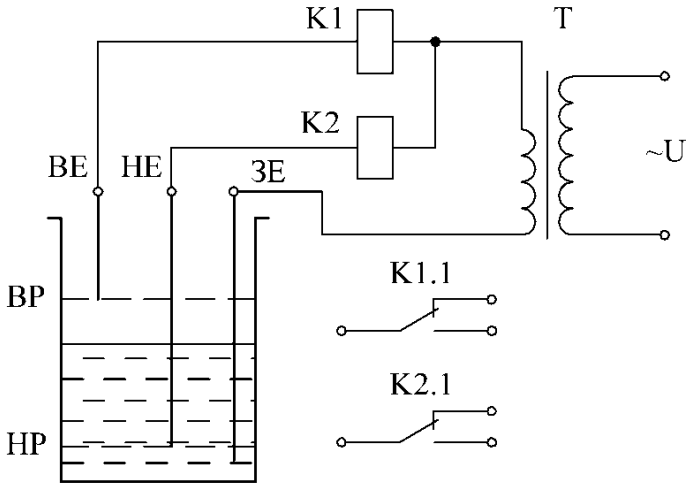


Рисунок 5.3 – Схема сигналізатора рівня рідини на основі електропровідності

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.

5.2 Регулятор-сигналізатор рівня ЕРСУ–К2

Регулятор-сигналізатор рівня ЕРСУ–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 таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Технічні характеристики регулятора-сигналізатора рівня ЕРСУ–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 ЕРСУ–К2 показана на рисунку 5.4.

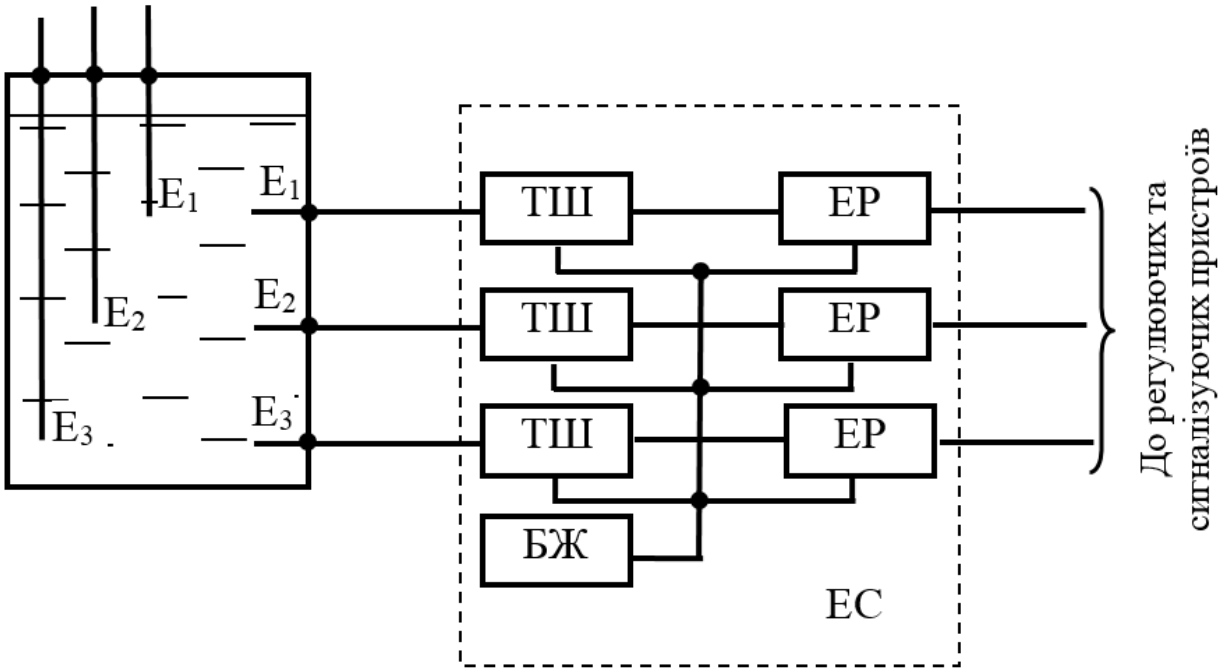


Рисунок 5.4 – Функціональна схема приладу ЕРСУ–К2:
Е – електроди; ТШ – тригери Шмідта; ЕР – електромагнітні реле;
БЖ – блок живлення; ЕС – електрична схема

Регулятор-сигналізатора рівня ЕРСУ–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. 5.5) 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.

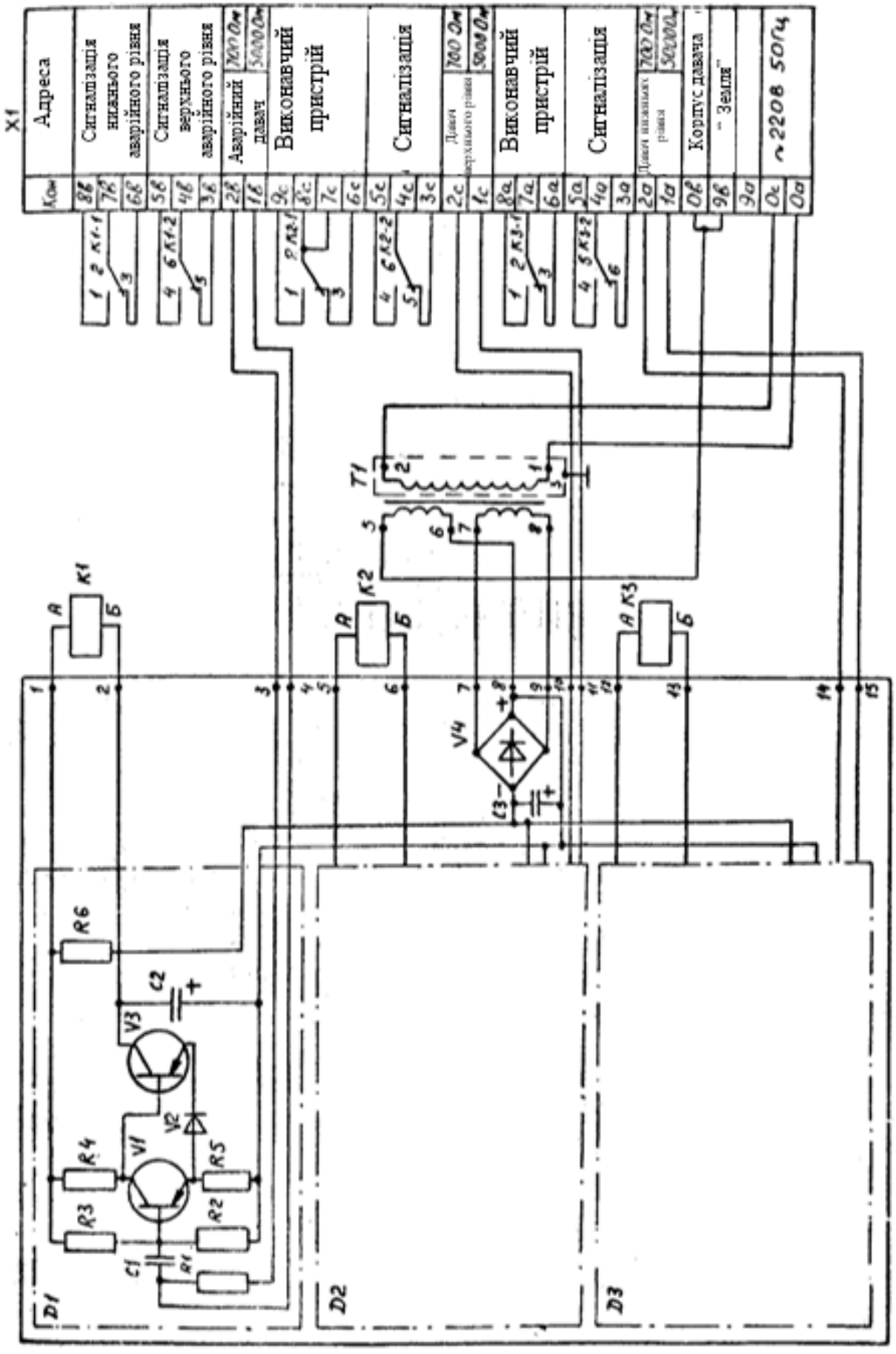


Рисунок 5.5 – Електрична схема релейного блоку

ЕРСУ–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.

5.3 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 5.6.

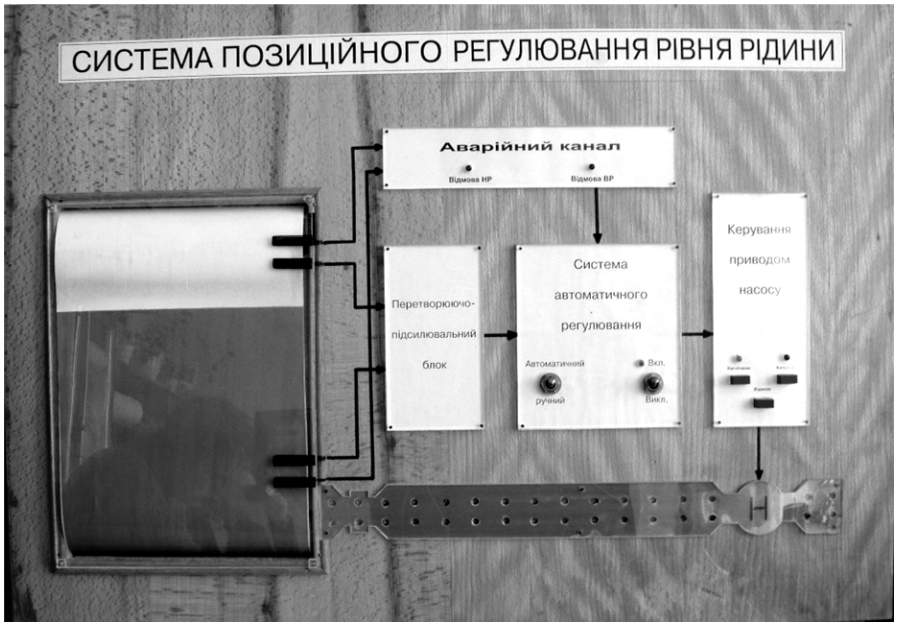


Рисунок 5.6 – Демонстраційний стенд системи автоматичного регулювання рівня рідини

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 5.7.

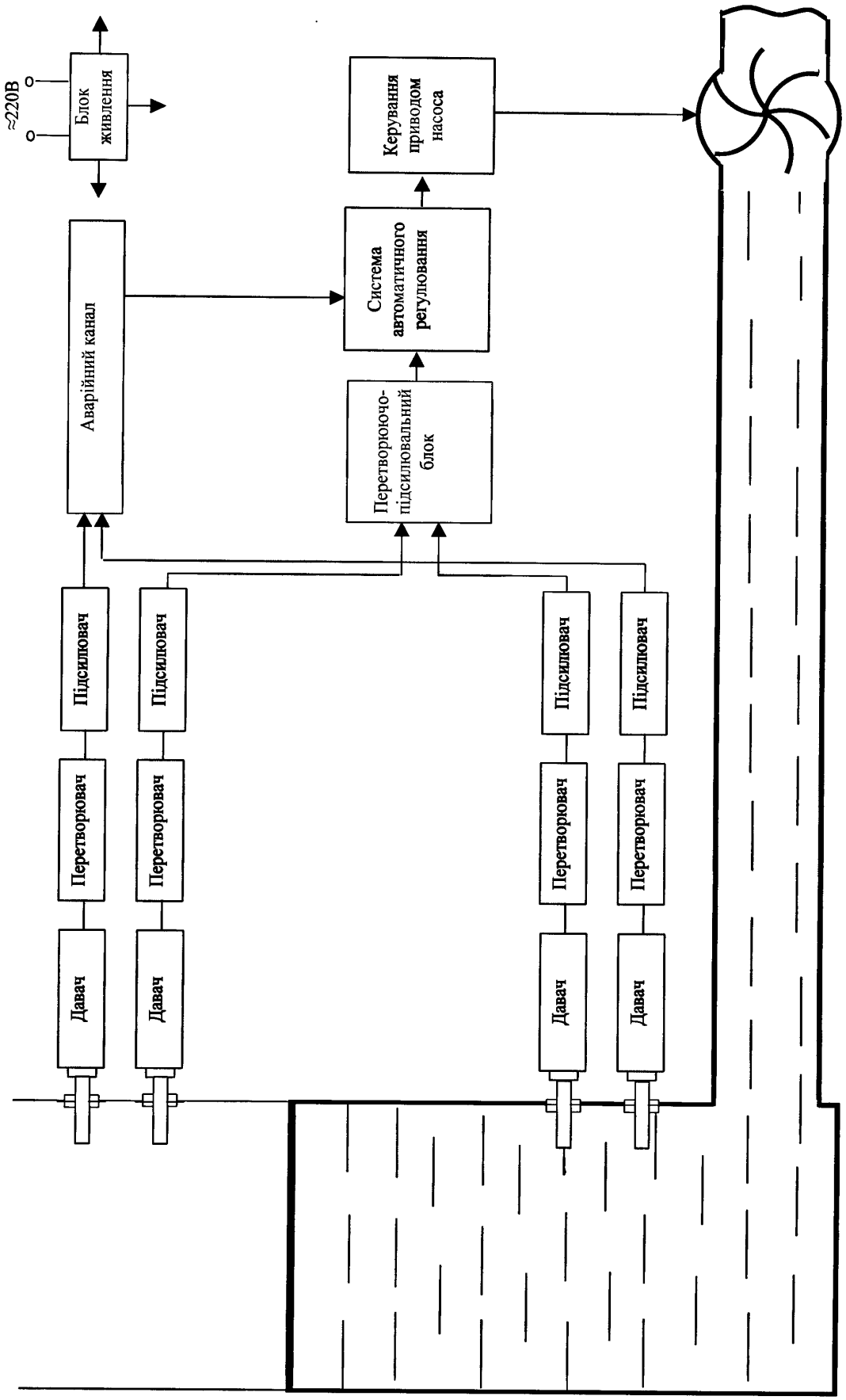


Рисунок 5.7 – Функціональна схема системи автоматичного регулювання рівня рідини

5.4 Порядок проведення роботи

6. Зібрати установку, показану на рисунку 5.8.

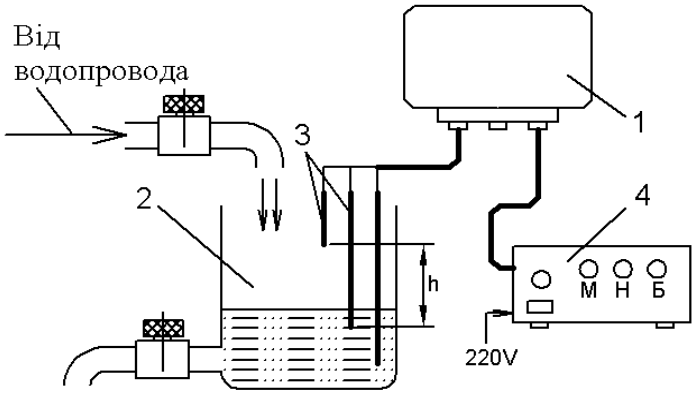


Рисунок 5.8 – Схема установки: 1 – сигналізатор рівня ЕРСУ-3;
2 – ємкість; 3 – електроди; 4 – сигнальний пристрій

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 №6
ПРИЛАД ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ШОРСТКОСТІ ТА ХВИЛЯСТОСТІ ПОВЕРХОНЬ. ПРОФІЛОГРАФ-ПРОФІЛОМЕТР, МОДЕЛЬ 201

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

Прилади та обладнання:

1. Профілограф-профілометр моделі 201.
2. Міри твердості.
3. Дослідні зразки.

6.1 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:

$$Ra = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|y_i\right|, \tag{6.1}$$

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. 6.1):

$$Rz = \frac{1}{5}\left(\sum_{i=1}^{5}\left|H_{i\max}\right| + \sum_{i=1}^{5}\left|H_{i\min}\right|\right). \tag{6.2}$$

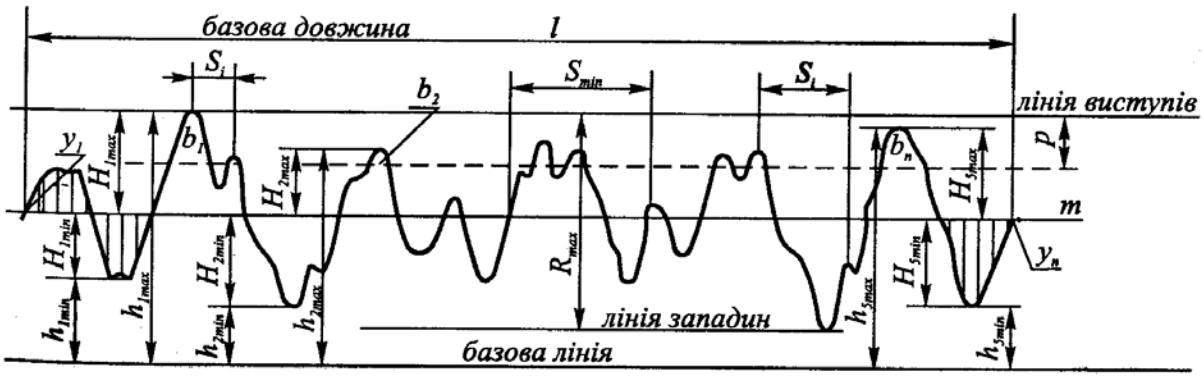


Рисунок 6.1 – Визначення параметрів шорсткості в межах базової довжини

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 2.309-73. 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);

$\not\nabla$ – для позначення шорсткості поверхонь, що утворюються без видалення шару металу (лиття, штампування, прокатування), або поверхонь, які не обробляються за цим кресленням;

$\surd$ – 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 – $\sqrt{}^{3,2}$, $\sqrt{}^{6,3}$, а параметра R_z – $\sqrt{}^{R_z40}$, $\sqrt{}^{R_z80}$.

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.

6.2 Профілограф-профілометр, модель 201

6.2.1 Призначення

Профілограф-профілометр, модель 201 (рис. 6.2), 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:

а) 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 2789–59;

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

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

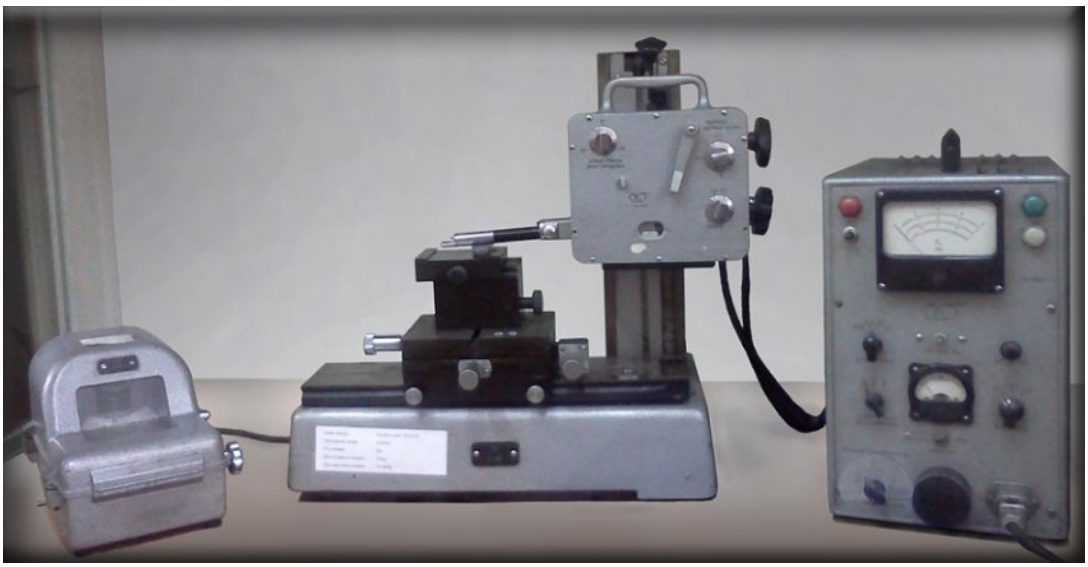


Рисунок 6.2 – Профілограф-профілометр, модель 201

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.

6.2.2 Технічна характеристика

1. Межі вимірювання:

а) за показуючим приладом, 5-12 кл. ГОСТ 2789–59;

б) при записі профілограми 5-14 кл. ГОСТ 2789–59.

2. Критерій оцінки *Ra* ГОСТ 2789–59.

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:

а) з тороїдальною опорою – 2,5 мм;

б) із плоскою опорою – 3,5 мм;

в) із пристосуванням для перевірки хвилястості – 20 мм.

17. Найменший діаметр отвору, що перевіряється:

а) при глибині до 10 мм – 8 мм;

б) при глибині до 100 мм – 20 мм;

в) при глибині до 125 мм – 45 мм;

г) 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:

а) стійка 500х290х525;

б) записуючий прилад 325х215х185;

в) 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.

6.2.3 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 6.3 представлена блок-схема приладу.

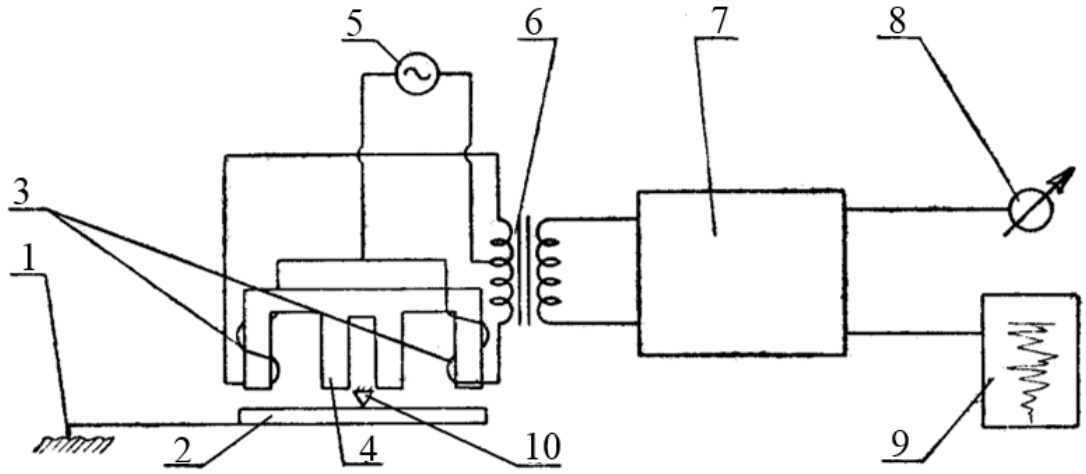


Рисунок 6.3 – Блок-схема приладу

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.

6.2.4 Опис приладу

Прилад складається із самостійно виконаних блоків (рис. 6.4):

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.

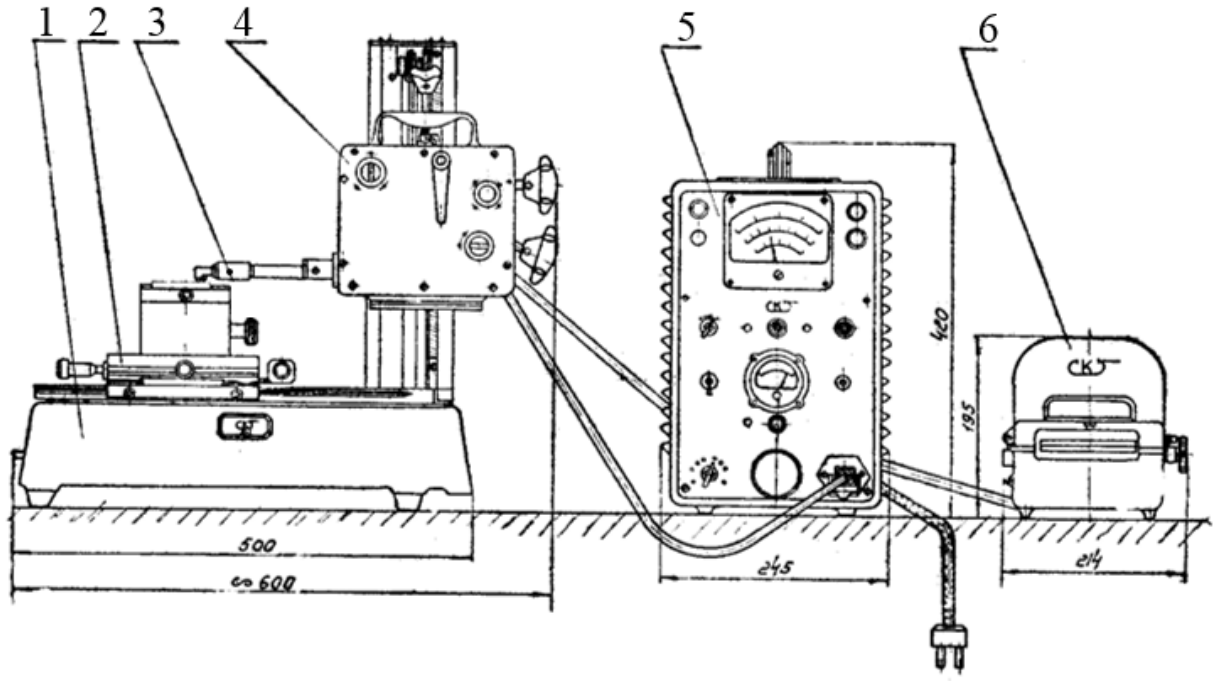


Рисунок 6.4 – Профілограф-профілометр, модель 201

Мотопривод 4 (рис. 6.4) 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.

6.2.5 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 6.5. Ощупування виконується алмазною голкою 1. Голка розташована на кінці коромисла 2, що качається на ножовій опорі 3.

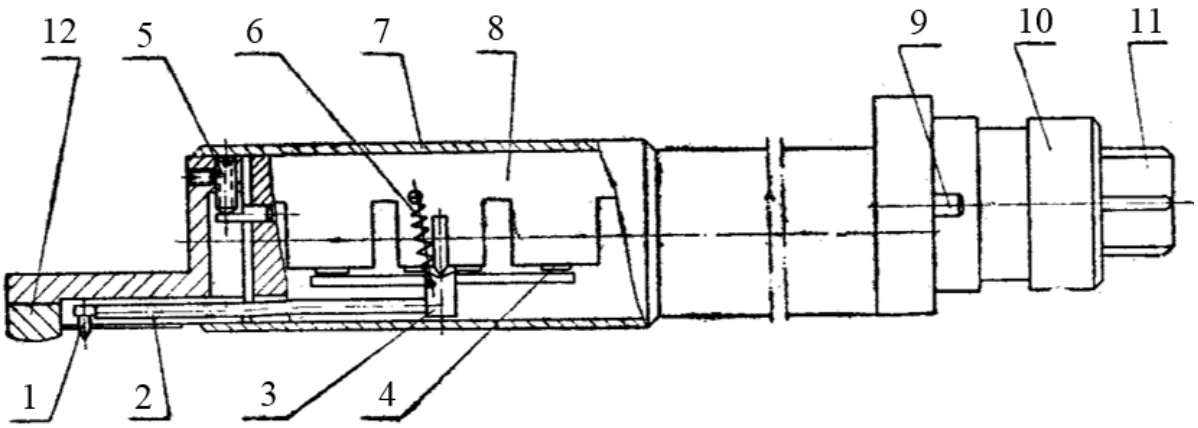


Рисунок 6.5 – Конструкція давача

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. 6.5) і стопориться гвинтом 9 (рис. 6.6).

Фіксація давача здійснюється штифтом 9 (рис. 6.5). 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. 6.8), 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.

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

Кріплення опори до корпуса 8 (рис. 6.4) давача виконується чотирма гвинтами. Зміну опори варто здійснювати викруткою, яка додається до приладу. Регулювання опори здійснюється гвинтом 5 (рис. 6.5) при відстопорених гвинтах, що кріплять опору.

Установка давача в початкове робоче положення на всіх ступенях збільшення приладу виконується вертикальним переміщенням давача 3 (рис. 6.4) з мотоприводом 4 по стійці.

6.2.6 Мотопривод

Переміщення давача з постійною швидкістю здійснюється за допомогою мотопривода (рис. 6.6). Схема мотопривода представлена на рисунку 6.7.

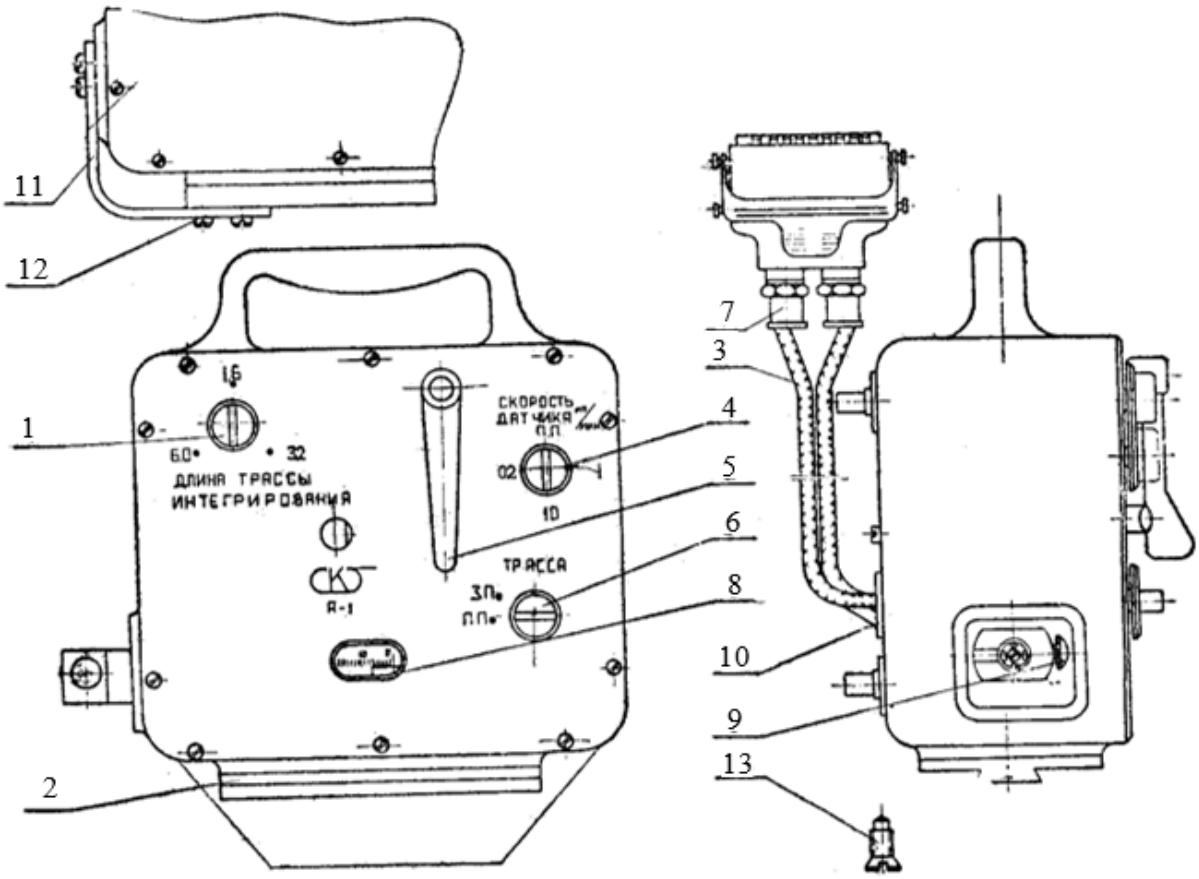


Рисунок 6.6 – Мотопривод

Давач жорстко кріпиться до штока 8 (рис. 6.7) 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. 6.6). Попереднє переміщення (зведення) давача справа вліво виконується поворотом важеля 5 (рис. 6.6) уліво. Відведення цього важеля вправо замикає контакт 4 (рис. 6.7), що включає електродвигун. Вимикання електродвигуна в кінці ходу давача здійснюється розмиканням контакту 5 (рис. 6.7), включеного в ланцюг електродвигуна послідовно з першим контактом 4.

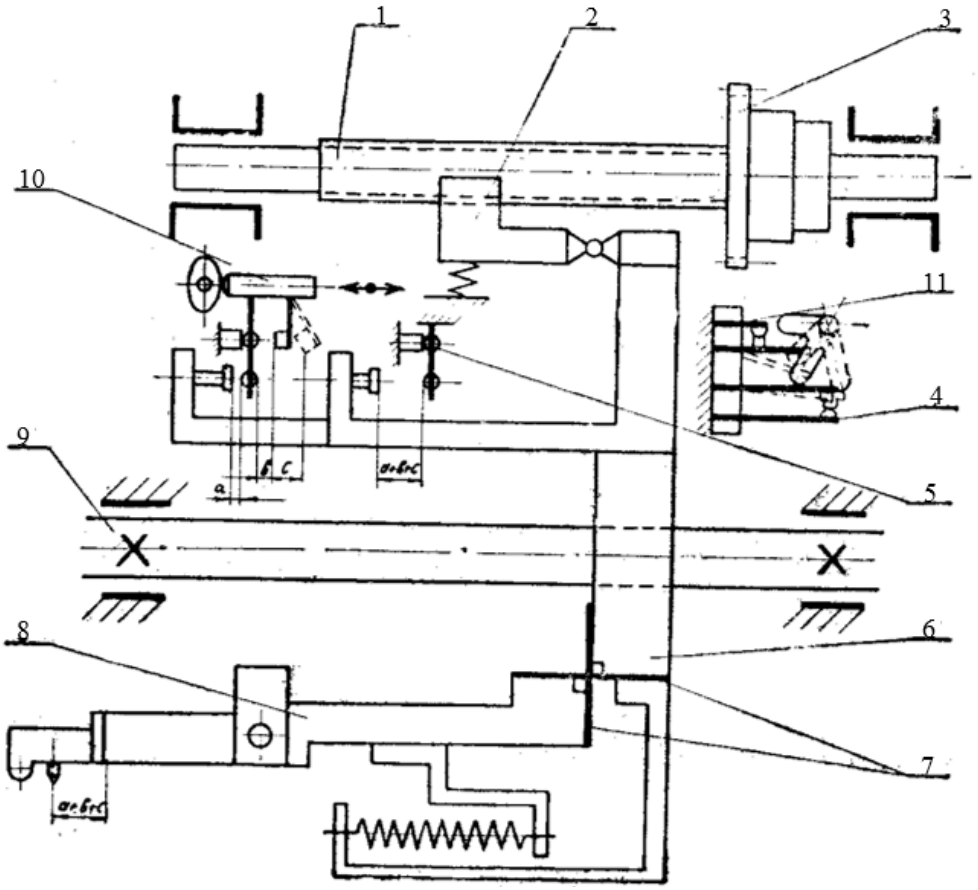


Рисунок 6.7 – Схема мотопривода

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. 6.6), 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. 6.6).

При роботі в якості профілометра після зведення давача покажчик повинен збігатися з 25-30 діленням шкали 8 (рис. 6.6).

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. 6.6). Уся траса (рис. 6.6) 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. 6.6).

6.2.7 Стійка з кареткою

Вузлом, на якому розміщуються мотопривод з давачем і випробуваною деталлю, є стійка (рис. 6.8).

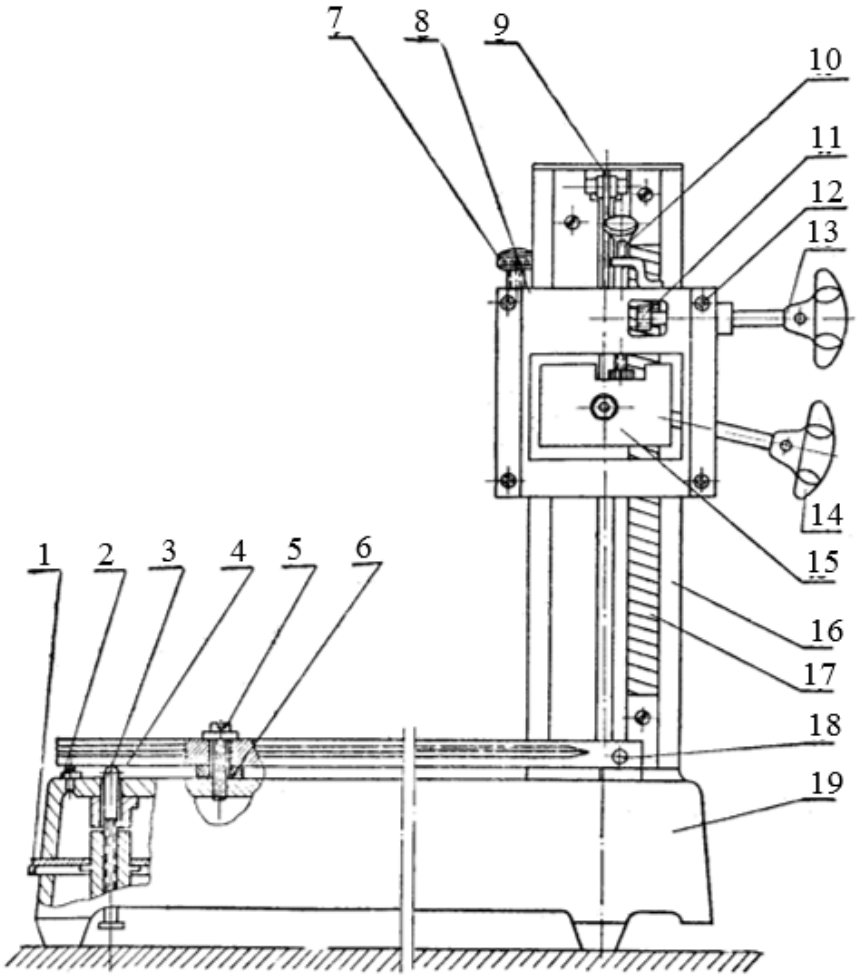


Рисунок 6.8 – Стійка

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. 6.8) каретки чотирма гвинтами 12 (рис. 6.8) і спеціальними напрямними штирями 3 (рис. 6.6) і переміщається по стійці 16 (рис. 6.8) за допомогою рейки 17 і шестерні 11 з маховиком 13.

Стіл 4 (рис. 6.8) 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.

6.2.8 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. 6.9) 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.

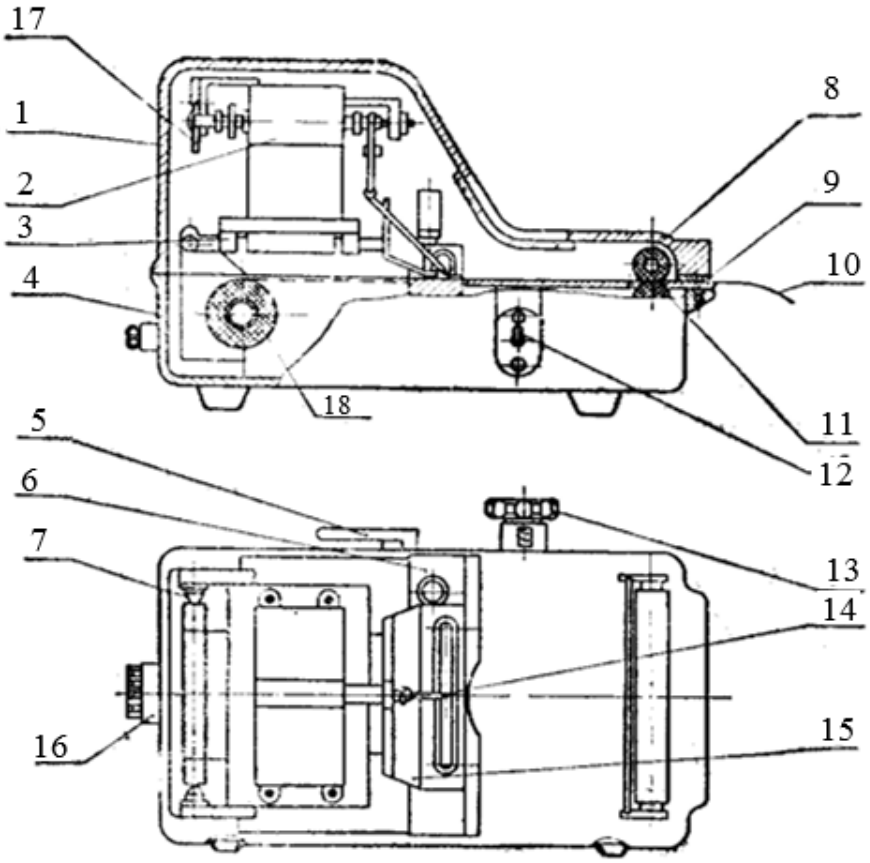


Рисунок 6.9 – Записуючий прилад

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. 6.9). 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.

6.2.9 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 6.10.

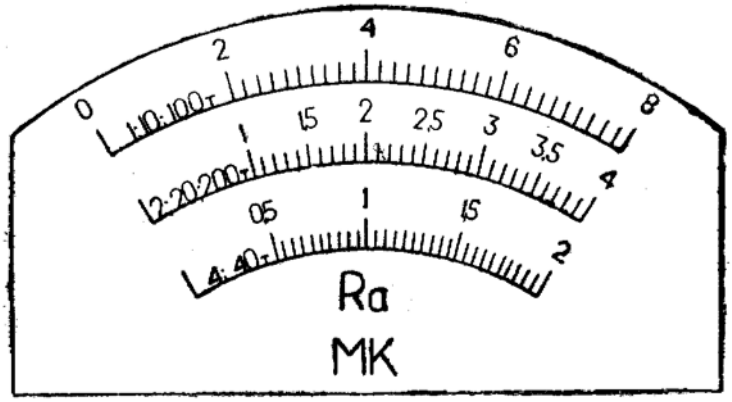


Рисунок 6.10 – Шкала показуючого приладу

В якості показуючого приладу 3 (рис. 6.11) використовується мікроамперметр постійного струму типу М24.

Включення і відключення приладу виконується за допомогою контактів 10 (рис. 6.7), вбудованих у мотопривод і зв'язаних із трасою. Довжина траси, що відтинається цими контактами, дорівнює: 6, 3,2 чи 1,6 мм.

Відлік показів приладу виконується за шкалою після того, як стрілка приладу 3 (рис. 6.11) автоматично зупиниться. Повернення стрілки показуючого приладу також автоматичне при зведенні давача замиканням контактів 11 (рис. 6.7), вбудованих у мотопривод.

Суміщення стрілки приладу з «0» шкали виконується за допомогою обертання ручки 12 (рис. 6.11). Шкала показуючого приладу показана на рисунку 6.9.

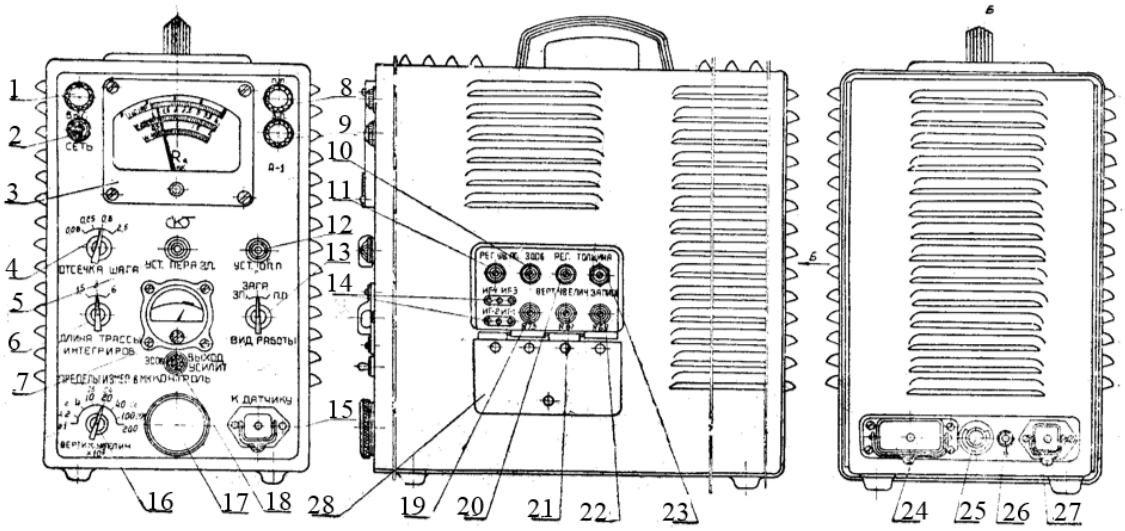


Рисунок 6.11 – Показуючий прилад

Значення величин мікронерівностей відраховується за шкалою, що відповідає встановленому ручкою 16 вертикальному збільшенню (рис. 6.12). 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.

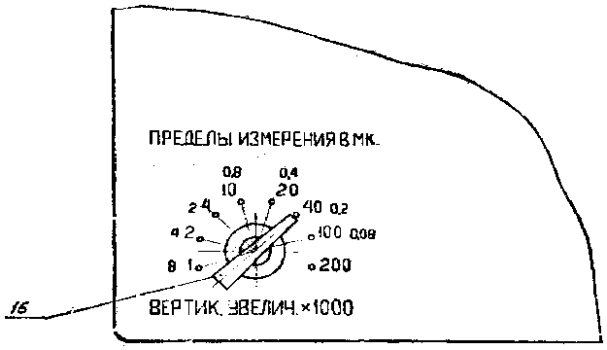


Рисунок 6.12 – Межі вимірювання

Визначення класу шорсткості поверхні виконується відповідно до ГОСТ 2789 –59, виписка з якого приведена в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 –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

6.2.10 Робота на приладі

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

6.2.10.1 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. 6.5) давача ввійшов у паз штока мотопривода, і застопорити давач гвинтом 9 (рис. 6.6).

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. 6.8) 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. 6.8). При цьому внутрішній корпус каретки повинен бути застопорений маховиком 14 (рис. 6.8).

Обертання маховиків 10 і 13 (рис. 6.8) здійснюється доти, поки стрілка контрольного приладу 7 (рис. 6.11) не буде знаходитися в ділянці нижнього прямокутника, причому тумблер 18 (рис. 6.11) повинен знаходитися в положенні «вихід підсилювача». Необхідно, щоб обертання маховика 13 (рис. 6.8) за годинниковою стрілкою, а маховика 10 проти годинникової стрілки (при підйомі мотопривода) викликало переміщення стрілки контрольного приладу 7 (рис. 6.11) 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. 6.11).

5. Поворотом перемикача 4 (рис. 6.6) установити швидкість трасування давача 0,2 чи 1,0 мм/хв.

6. Обертанням маховика 13 (рис. 6.9) записуючого приладу встановити необхідну швидкість переміщення паперу залежно від необхідного горизонтального збільшення (таблиця 6.2).

Таблиця 6.2 – 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. 6.11) встановити в положення «ЗП» – записуючий прилад.

8. При значному відхиленні пера записуючого приладу із середини паперової стрічки, відстопоривши каретку маховичком 14 (рис. 6.8), обертанням маховика 13 (рис. 6.8) і ручки 5 (рис. 6.11) установити його у необхідне положення. Після цього поворотом маховика 14 (рис. 6.8) зафіксувати положення каретки з мотоприводом на стійці.

9. Включити записуючий прилад, поставивши перемикач 12 (рис. 6.9) в положення «Включено».

10. Включити рух давача, відвівши важіль 5 (рис. 6.6) вправо до упору.

Паралельність руху давача відносно вимірюваної поверхні, що забезпечує запис мікронерівностей без значного нахилу до поздовжніх ліній паперу, установлюється маховиком 1 (рис. 6.8) вузла нівелювання. Після закінчення вимірювання перемикач 13 (рис. 6.11) установити в положення «ЗАГР» – загрублено, перемикач 12 (рис. 6.9) у положення «ВЫКЛ» – виключено.

6.2.10.2 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. 6.11). (див. на приладі ряд цифр, зафарбованих червоною фарбою).

3. Маховичок 6 (рис. 6.6) встановити на «ПП»– показуючий прилад.

4. Поворотом важеля 5 (рис. 6.6) уліво до упору перевести давач у ліве положення. При цьому стрілка показуючого приладу 3 (рис. 6.11) повинна повернутися на «0» шкали. У випадку розбіжності стрілки з «0» шкали, її необхідно встановити. Встановлення стрілки на «0» виконується рукояткою 12 (рис. 6.11).

5. Встановити давач на поверхню, що досліджується. Встановлення давача здійснюється вертикальним переміщенням мотопривода з давачем при обертанні маховика 13 (рис. 6.8). Маховик обертати доти, поки стрілка контрольного приладу 7 (рис. 6.11) не буде, знаходитися біля нижнього прямокутника. Під час вимірювання стрілка не повинна виходити з цієї ділянки. При цьому перемикач 18 (рис. 6.11) повинен знаходитися в положенні «выход усилителя».

6. Повернути перемикач 4 (рис. 6.6) 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. 6.6) у положення обраної довжини траси інтегрування відповідно: 1,6; 3,2 чи 6 мм.

8. Перемикач 13 (рис. 6.11) встановити в положення «ПП» – показуючий прилад.

9. Встановити перемикач 6 (рис. 6.11) у положення, що відповідає обраній довжині траси інтегрування 1,6; 3,2 чи 6 мм.

10. Перемикачем 4 (рис. 6.11) установити необхідну базову довжину відсічення кроку (0,08; 0,25; 0,8 чи 2,5 мм).

11. Поворотом маховика 14 (рис. 6.8) зафіксувати положення каретки з мотоприводом на стійці.

12. Включити рух давача, відвівши важіль 5 (рис. 6.6) вправо до упору. Паралельність руху давача відносно вимірювальної поверхні встановлюється маховиком 1 (рис. 6.8) вузла нівелювання, контроль паралельності здійснюється приладом 7 (рис. 6.11).

13. Після зупинки стрілки показуючого приладу провести відлік.

Після закінчення вимірювання перемикач 13 (рис. 6.11) 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».

6.2.10.3 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. 6.8) вузла нівелювання приладу на необхідну величину.

3. Для заміни використаного рулону паперу новим необхідно:

а) відкрити кришку записуючого приладу 1 (рис. 6.9);

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

в) зняти котушку 18 (рис. 6.9) 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. 6.11) 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 №7
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:

1. Гігрометр психрометричний ВІТ-2.
2. Психрометрична таблиця.
3. Гігрограф М-21А.

7.1 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 %:

$$\varphi = \left(A / A_{н}\right) \cdot 100, \qquad (7.1)$$

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:

$$\varphi = \left(P / P_{н}\right) \cdot 100, \qquad (7.2)$$

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.

7.2 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 7.1.

Таблиця 7.1 – 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. 7.1) 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.

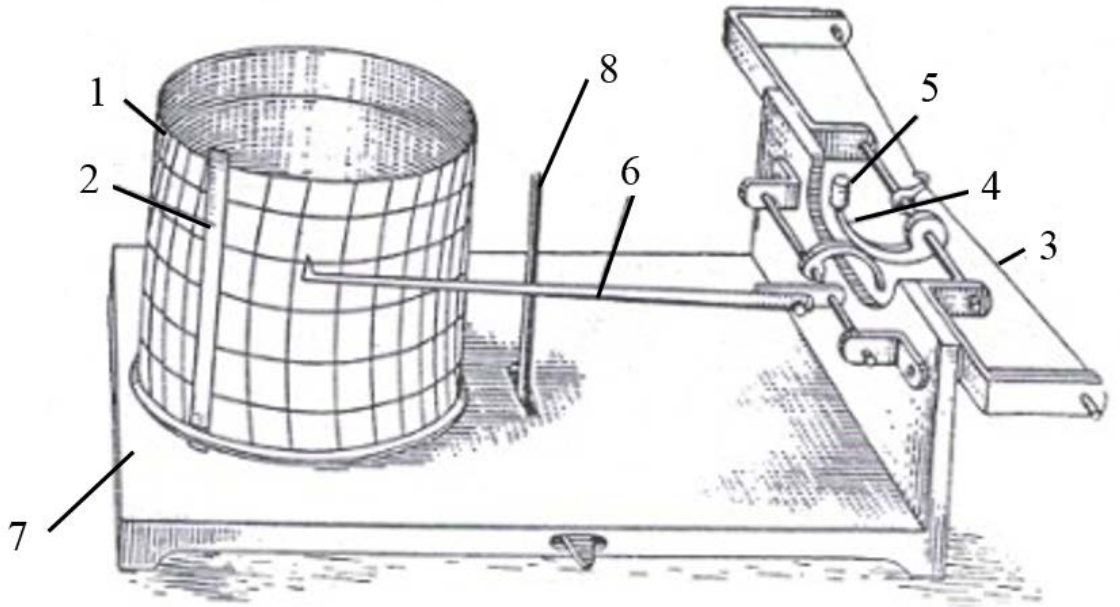


Рисунок 7.1 – Гігрограф: 1 – барабан, 2 – смугова пружина, 3 – пасмо волосся, 4 – важіль, 5 – вантаж, 6 – перо, 7 – основа, 8 – обмежувач руху стрілки

За останні 170 років будова гігрографів суттєво не змінилась. Основні елементи конструкції цього приладу подано на рисунку 7.1. 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.

7.3 Гігрометр психрометричний типу ВІТ–2

Як зразковий прилад в лабораторній роботі використовуємо гігрометр психрометричний типу ВІТ–2 (рис. 7.2).

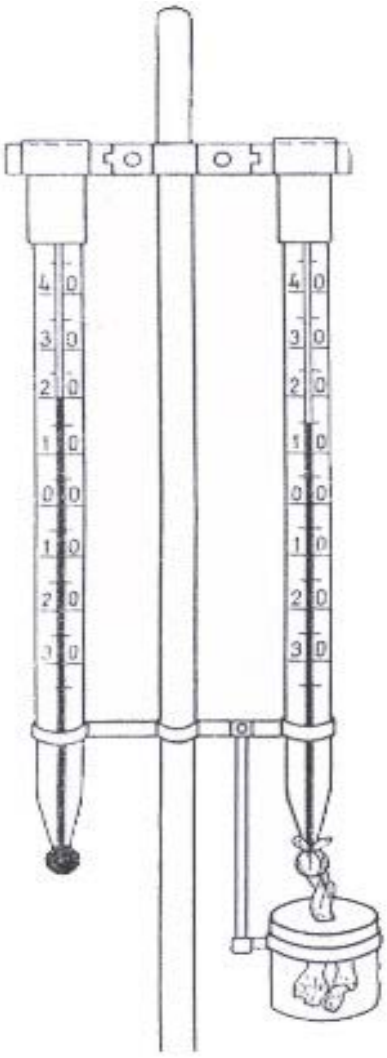


Рисунок 7.2 – Гігрометр психрометричний типу ВІТ–2

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 7.2.

Для контролю технологічних процесів широко використовуються автоматичні психрометри (рис. 7.3) зі шкалами, градуйованими в одиницях відносної вологості.

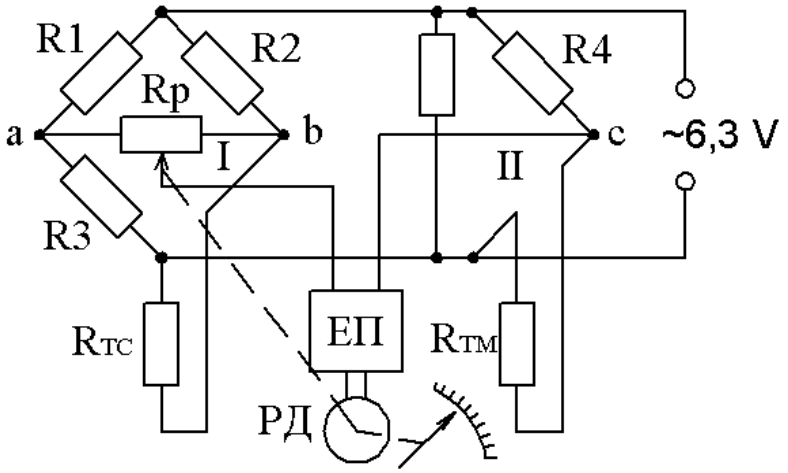


Рисунок 7.3 – Функціональна схема автоматичного психрометра

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 7.2 – Гігрометр ВІТ – 2 Психрометрична таблиця, швидкість аспірації від 0,5 до 1,0 м/с

Покази сухого термом., °С	Різниця показів термометрів, °С																					
	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

7.4 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.

7.5 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 7.3).

Таблиця 7.3 – 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%.

7.6 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. Сиротюк С. В. Віртуальні контрольно-вимірювальні прилади і системи: навч. посіб. Львів: «Магнолія 2006». 2025. 128 с.

2. Єремєєв І. С., Кисельов В. Б. Автоматизовані системи управління технологічними процесами: навч. посіб. Одеса: «Гельветика». 2022. 324 с.

3. Наливайко В. А., Радько І. П., Коробський В. В., Радько В. І.,Окушко О. В., Лут М. Т., Васюк В. В. Діагностування енергообладнання. Випробування та вимірювання в електроустановках: навч. посіб. Київ: Компринт, 2023. 378 с.

4. Солтис І. В., Деревянчук О. В. Основи метрології: навч. посіб. Чернівці: Чернівецький нац. ун-тет, 2021, 152 с.

5. Цвіркун, Л. О., Омельченко О. В. Взаємозамінність, стандартизація і технічні вимірювання: навч. посіб. Кривий Ріг: ДонНУЕТ, 2022. 117 с.

6. Нестерчук Д. М. Контрольно-вимірювальні прилади з основами метрології: конспект лекцій. URL: https://surl.li/agtkcm (дата звернення: 08.09.2025).

7. Кухарчук В. В. Основи метрології та електричних вимірювань. Частина І: конспект лекцій. URL: https://surl.li/olaaof (дата звернення: 08.09.2025).

8. 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).

9. Компоненти систем автоматизації. URL: https://surl.li/hekjps (дата звернення: 08.09.2025).

10. Денисюк В. Ю., Пташенчук В. В. Розроблення блоку цифрової індикації електроакустичного твердоміра. *«Перспективні технології та прилади»*: зб. статей. 2023. Вип. 22. С. 122-126.

11. 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.

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., Пташенчук В. В. Аналіз методів метрологічного забезпечення високоточного контролю похибок механічних пристроїв переміщень об’єктів. *«Перспективні технології та прилади»*: зб. статей. 2022. Вип. 21. С. 20-25.

14. 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.

Контрольно-вимірювальні прилади : методичні вказівки до лабораторних занять для здобувачів першого (бакалаврського) рівня освітньої програми «Мікро- та наносистемна техніка» галузі знань 17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації спеціальності 176 Мікро- та наносистемна техніка денної та заочної форм навчання / уклад. В. Ю. Денисюк. Луцьк: ЛНТУ, 2025. 80 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. 5,0. Обл. – вид. арк. 5,0.
Тираж _50_ прим. Зам. _____.

Відділ іміджу та промоцій
Луцького національного технічного університету
43018 м. Луцьк, вул. Львівська, 75