

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КІРОВОГРАДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра експлуатації та ремонту машин

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання лабораторних робіт
з курсу «Метрологія і стандартизація» для студентів напряму
підготовки 6.060101 «Будівництво»

Кіровоград - 2016

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу “Метрологія і стандартизація” для студентів напряму підготовки 6.060101 “Будівництво”. – Кіровоград: КНТУ, 2016. – 74 с.

Укладачі: викл. Ковальчук Н.В., викл. Мезенцева. О.М., викл. Труш М.М

Рецензент: д.е.н., проф. Кулешков Ю.В.

Затверджено на засіданні кафедри ЕРМ.
Протокол № 9 від 21.01.2016 р.

Кіровоград - 2016

ЗМІСТ

<i>Лабораторна робота № 1. Перевірка мікрометра.....</i>	<i>4</i>
<i>Лабораторна робота № 2. Вимірювання деталей методом безпосередньої оцінки.....</i>	<i>12</i>
<i>Лабораторна робота № 3. Вимірювання деталей методом порівняння.....</i>	<i>18</i>
<i>Лабораторна робота № 4. Вимірювання відхилень форми та розташування поверхонь циліндричної деталі.....</i>	<i>26</i>
<i>Лабораторна робота № 5. Визначення фізико-механічних характеристик основних будівельних матеріалів.....</i>	<i>40</i>
<i>Лабораторна робота № 6. Електротезометричний метод вимірювання деформацій. Електричні тензometri та їх тарування.....</i>	<i>55</i>
<i>Лабораторна робота № 7. Статичне випробування кроквяної ферми.....</i>	<i>61</i>
<i>Література.....</i>	<i>72</i>

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

ПЕРЕВІРКА МІКРОМЕТРА

Мета роботи: вивчити конструкцію мікрометра та плоскопаралельних кінцевих мір довжини; здобути навички роботи з плоскопаралельними кінцевими мірами довжини та мікрометром; здійснити перевірку мікрометра.

1.1 Стислі теоретичні відомості

Перевірка засобів вимірювання – це сукупність дій, яка виконується для визначення та оцінки похибки засобу вимірювання (ЗВ) з метою визначення його придатності до застосування.

Організація перевірок регламентована ГОСТ 8.00-86 та ГОСТ 8.513-84.

Похибку вимірювання ЗВ, як правило, знаходять на підставі порівняння ЗВ зі зразковим ЗВ або еталоном. Тим самим, здійснюється передання розміру одиниці виміру “згори-донизу” – від еталону через зразковий ЗВ до робочого ЗВ.

Зразковий ЗВ для виконання перевірки визначається по перевірочній схемі, яка визначає порядок передання розміру одиниці виміру від еталону до робочого ЗВ. Приклад перевірочної схеми приведений на рис. 1.1.

В роботі здійснюється спрощена перевірка ЗВ методом прямих вимірів. Про похибку судять по різниці між показниками мікрометра та значеннями міри, яка приймається за дійсне значення вимірюваної довжини.

Придатність до застосування ЗВ визначається шляхом порівняння похибки вимірів ЗВ з межею допустимої похибки.

Межа допустимої похибки ЗВ – це найбільше значення похибки, що встановлюється нормативно-технічним документом, наприклад, стандартом, для заданого типу ЗВ, при якому воно ще визнається придатним до застосування.

Технічний стан ЗВ визначається шляхом зовнішнього огляду та випробування.

В роботі в якості зразкового ЗВ (міри) використовують плоскопаралельні кінцеві міри довжини.

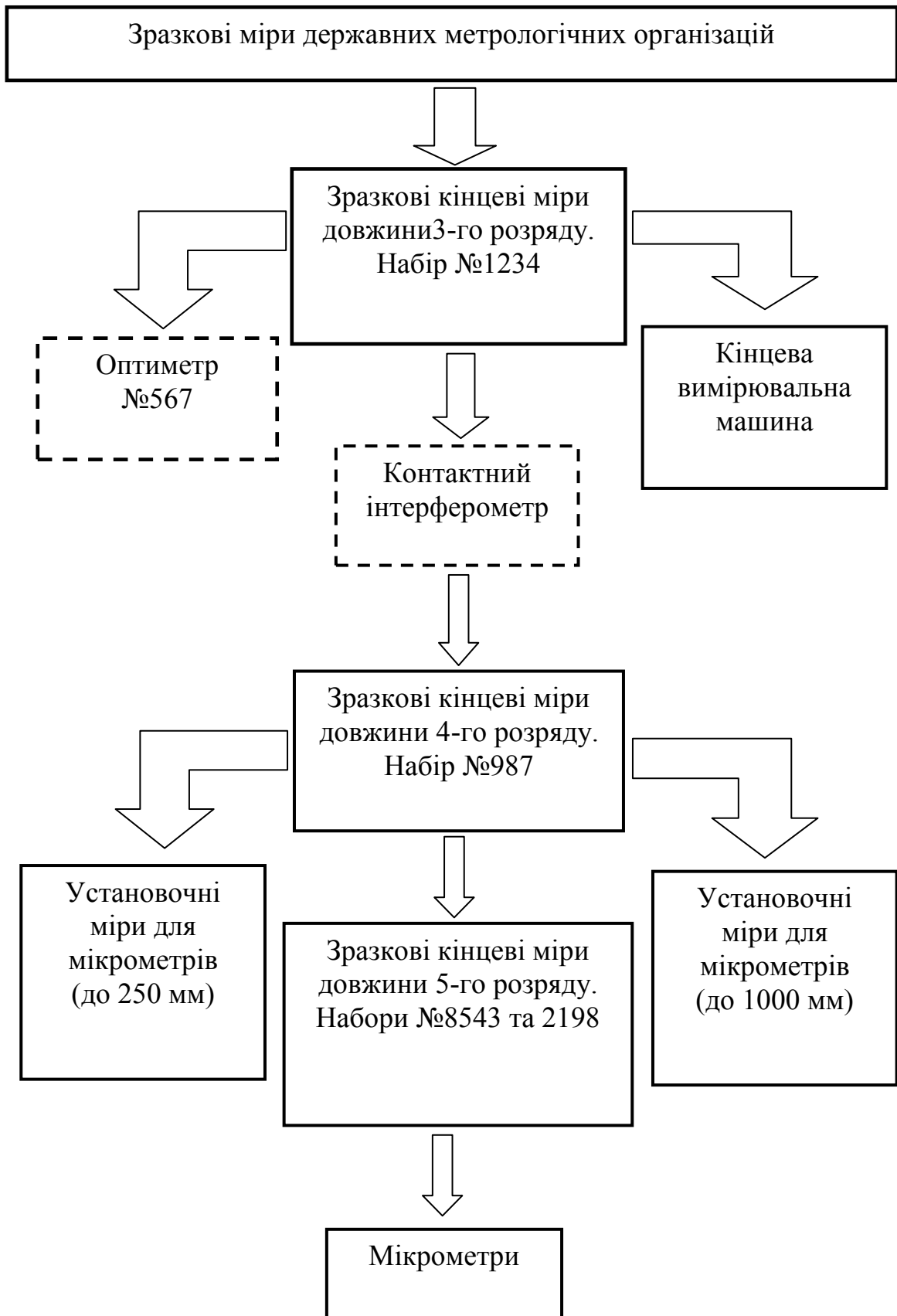


Рисунок 1.1 – Перевірочна схема (фрагмент) [1]

1.2 Плоскопаралельні кінцеві міри довжини

Плоскопаралельні кінцеві міри довжини (надалі – міри) зазвичай являють собою сталеві плитки з точно обробленими (доведеними) поверхнями (рис. 1.2). На плитках маркують номінальний розмір міри. За **розмір міри** приймають її середню довжину, тобто довжину перпендикуляру, опущеного з точки перетинання умовно проведених діагоналей однієї вимірювальної поверхні на іншу вимірювальну поверхню.

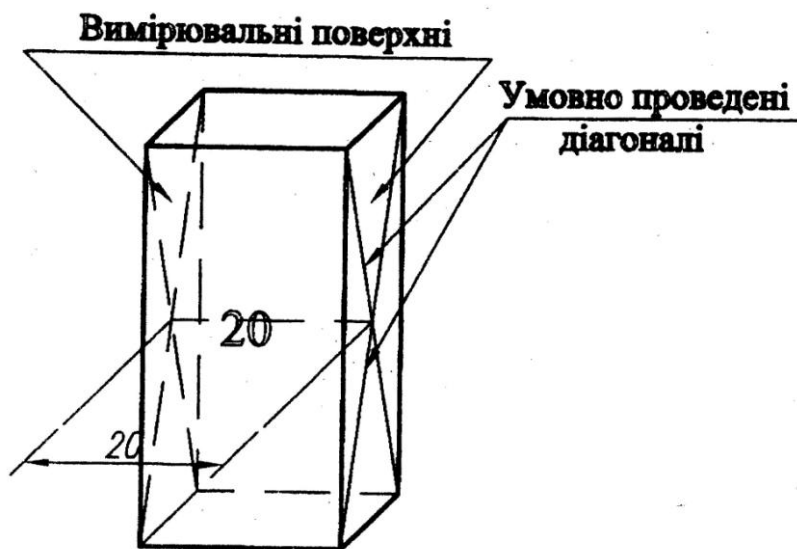


Рисунок 1.2 – Плоскопаралельна міра довжини

Кінцеві міри застосовують для збереження та передання одиниці довжини; для перевірки та градуювання мір та приладів (**зразкові міри**), а також для вимірювання розмірів деталей, налагодження верстатів і т.ін. (**робочі міри**).

Найважливішою властивістю мір є здатність притиратись – тобто міцно зчіплюватись одна з одною при насуванні однієї міри на іншу. Ця властивість дозволяє складати блоки з декількох кінцевих мір різних розмірів для одержання необхідного розміру.

Набори кінцевих мір комплектуються таким чином, щоб можна було складати блоки з необхідним розміром до третього десяткового знаку. Виготовляють набори з 87; 42; 12 та 10 мір. В табл. 1.1 приведено набір з 87 кінцевих мір.

Щоб міри менше зношувались, при складанні блоку слід намагатись, щоб він складався з можливо меншої кількості мір.

Перед складанням блоку виконують попередній розрахунок. В першу чергу підбирають кінцеві міри, в котрих розмір має тисячні частки міліметра, потім соті частки і т.д.

Таблиця 1.1 – Набір плоскопаралельних кінцевих мір довжини

Набір №1 (87 мір)	
Номінальні розміри кінцевих мір, мм	Класи набору
0,5; 1; 1,005; 1,01; 1,02; 1,03; 1,04; 1,05; 1,06; 1,07; 1,08; 1,09; 1,1; 1,11; 1,12; 1,13; 1,14; 1,15; 1,16; 1,17; 1,18; 1,19; 1,2; 1,21; 1,22; 1,23; 1,24; 1,25; 1,26; 1,27; 1,28; 1,29; 1,3; 1,31; 1,32; 1,33; 1,34; 1,35; 1,36; 1,37; 1,38; 1,39; 1,4; 1,41; 1,42; 1,43; 1,44; 1,45; 1,46; 1,47; 1,48; 1,49; 1,5; 1,6; 1,7; 1,8; 1,9; 2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5; 5,5; 6; 6,5; 7; 7,5; 8; 8,5; 9; 9,5; 10; 20; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 90; 100	0; 1; 2 та 3
Дві захисні міри з номінальним розміром 1 мм; Дві захисні міри з номінальним розміром 1,5 або 2 мм.	

Приклад: Скласти блок розміром 37,625

Перша міра блоку 1,005

Залишок 36,62

Друга міра блоку 1,12

Залишок 34,5

Третя міра блоку 4,5

Четверта міра блоку (залишок) 30

Послідовність складання блоку мір наступна:

1. Міри, призначені для складання блоку, попередньо очищують від мастила ватою, промивають чистим безводним та безкислотним авіаційним бензином, обтирають насухо полотняним рушником.

2. Накладають одну з мір на іншу приблизно на третину робочої поверхні та щільно притискаючи пальцями просувають вздовж великої осі до повного контакту робочих поверхонь (рис. 1.3).

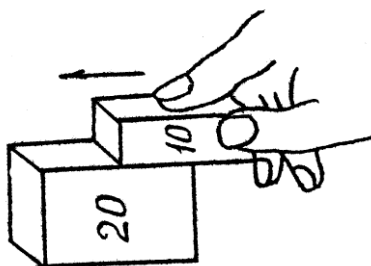


Рисунок 1.3 – Притирання міри

Якщо після цього складений блок не вдається роз'єднати за допомогою легкого зусилля, міри вважаються такими, що притерлись. Після притирання двох кінцевих мір до них притирають третю і т.д. Спочатку притирають кінцеві міри малих розмірів, далі отриманий блок притирають до міри середнього розміру а надалі – до плитки більшого розміру.

Слід дотримуватись наступних правил при роботі з мірами:

- не торкатись руками робочих поверхонь промитих мір;
- кінцеві міри розміром понад 5,5 мм слід класти на стіл тільки неробочими поверхнями;
- ні в якому разі не притирати робочу поверхню міри до неробочої.
- слід використовувати захисні міри для попередження швидкого зношування та пошкодження мір. Захисна міра завжди притирається тільки з одного боку до крайньої міри блоку. При підрахунку розміру блоку враховують розмір захисних мір.

3. Після роботи блок розібрати, міри промити авіаційним бензином, протерти, змастити та вкласти у відповідні комірочки футляру набору. [2].

1.3 Мікрометр

Мікрометр призначений для вимірювання зовнішніх лінійних розмірів з точністю до 0,01 мм. Мікрометри виготовляють з діапазоном вимірювання 0 - 25, 25–50, 50–75 і т.д. до 300 мм, 300–400, 400–500 та 500–600 мм. Конструкція мікрометра наведена на рис. 1.4.

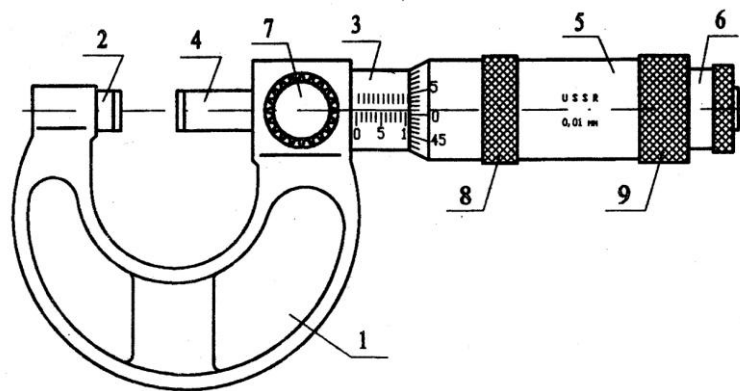


Рисунок 1.4 – Мікрометр 0–25

На скобі 1 з одного боку запресована нерухома п'ята 2, а з іншого боку по різі переміщується шпindel 4, зв'язаний із барабаном 5. Крок мікрогвинта $P = 0,5$ мм, отже, за один оберт мікрогвинта лінійне переміщення торця барабану складе 0,5 мм.

Мікрометр має два пристрої для відліку вимірюваного розміру. Перший пристрій складається зі шкали з ціною поділки 0,5 мм, яка розташована на стеблі 3 та покажчика, яким є торець барабану 5. Другий пристрій складається зі шкали, що має ціну поділки 0,01 мм, нанесеної на конусній поверхні барабану 5 та покажчика у вигляді повздовжньої риски, нанесеної на стеблі 3.

Щоб забезпечити постійний тиск вимірювального наконечника та захистити нарізний механізм від ушкодження, **обертати барабан дозволяється тільки за тріскачку 6**, що має храповичок та пружину. При

контакті наконечника шпинделя з поверхнею, що вимірюється, храповичок починає проковзувати. Для фіксування шпинделя передбачено стопорний гвинт 7.

Відлік показань здійснюють наступним способом. Спочатку по нижній частині шкали стебла відраховують цілі міліметри, по верхній частині – половини міліметрів. По шкалі барабана визначають соті частки міліметра. Приклади відліку показані на рис. 1.5.

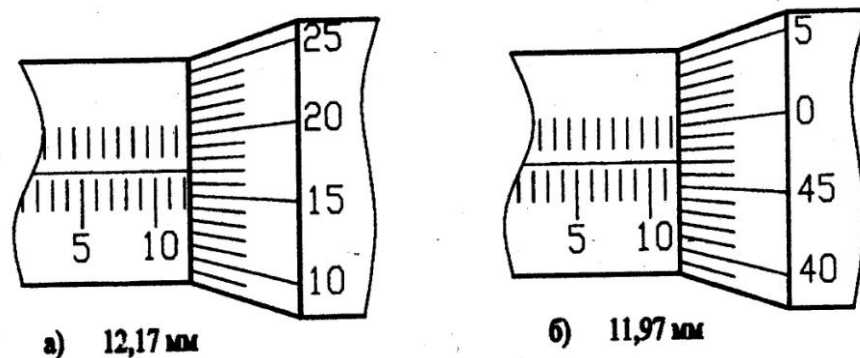


Рисунок 1.5 – Приклади відліку по шкалі мікрометра

При вимірюванні мікрометром його тримають в руках, або встановлюють на стійці. Перед початком вимірювання перевіряють нульову установку мікрометра. (Для мікрометра 0–25 перевіряють нульовий відлік, для 25–50 перевіряють відлік 25 мм і т.д.). Для мікрометрів з межами вимірювання 25–50 мм і т.д. торці п'ятки та шпинделя мікрогвинта приводять до зіткнення з плоскопаралельною кінцевою мірою довжини розміром, що дорівнює нижній межі вимірювання, або зі спеціальною циліндричною настановною мірою.

Скошений край барабану має встановитись так, щоб штрих (0; 25 і т.д.) початкової поділки шкали з ціною поділки 0,5 мм було повністю видно, а нульова поділка шкали барабану має зупинитись навпроти поздовжньої риски на стеблі.

Якщо установка неправильна, слід установити мікрометр на нуль. Ця робота виконується у наступній послідовності:

1. Застопорити гвинтом 7 шпиндель мікрогвинта.
2. Притримуючи корпус барабану за накатний виступ 8 обернути гайку 9 (яка є також корпусом тріскачки), поки корпус барабана 5 не звільниться від мікрометричного гвинта.
3. Повернути вільно сидячий на мікрометричному гвинті корпус барабана так, щоб нульова установка відновилась.
4. Після установки на нуль корпус барабана знову закріплюють гайкою 9 барабан з мікрогвинтом.

1.4 Послідовність самостійної підготовки до лабораторної роботи

1. Ознайомитись зі стислими теоретичними відомостями про перевірку ЗВ.
2. Вивчити призначення та правила роботи з плоскопаралельними кінцевими мірами довжини.

3. Вивчити конструкцію мікрометра, послідовність його установки на нуль.
4. Підготувати бланк протоколу вимірів.

1.5 Послідовність виконання роботи

1. Пройти інструктаж з техніки безпеки. Проходження інструктажу фіксується в журналі інструктажів. Студенти, що не пройшли інструктаж до виконання лабораторної роботи не допускаються.
2. Провести зовнішній огляд мікрометра, звернувши увагу на стан вимірювальних наконечників, шкал та показчиків пристроїв відліку.
3. Перевірити працездатність мікрометричного гвинта та тріскачки. Рух шпинделя має бути плавним, без заїдань. Тріскачка має спрацьовувати при незначному натисканні на вимірювану поверхню.
4. Підготувати відповідно до п.1.2 плоскопаралельні кінцеві міри довжини та скласти блоки для перевірки мікрометра. Розміри блоків узяти з табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Розміри блоків мір для перевірки мікрометрів

Верхня межа вимірювання мікрометра, мм	Розміри блоків плоскопаралельних кінцевих мір довжини, мм
0 – 25	0; 5,12; 10,24; 15,36; 21,50; 25
25 – 50	25; 30,12; 35,24; 40,36; 46,50; 50
50 – 75	50; 55,12; 60,24; 65,36; 71,50; 75
75 – 100	75; 80,12; 85,24; 90,36; 96,50; 100

5. Послідовно ввести в контакт вимірювальні поверхні мікрометра з робочими поверхнями кожного з п'яти блоків. Обертати барабан мікрометра тільки за тріскачку. Записати показання мікрометра по кожному з п'яти блоків. Кожен дослід виконувати одноразово.

6. Розрахувати похибку перевірки мікрометра δ_i , мкм., для всіх п'яти блоків по формулі

$$\delta_i = 1000(L_{mi} - L_i),$$

де L_{mi} – розмір міри, мм.;

L_i – показання мікрометра, мм.

7. За похибку перевірки приймають найбільшу із знайдених величин.

8. Порівняти похибку перевірки з допустимим значенням, наведеними в табл. 1.3. Має виконуватись умова:

$$\delta \leq \delta_{\text{доп}},$$

де $\delta_{\text{доп}}$ - межа припустимої похибки, мкм.

Таблиця 1.3 – Межі припустимих похибок мікрометрів типів МК, МЛ та МТ (ГОСТ 6507-60)

Верхня межа вимірювання мікрометра, мм	Межа допустимої похибки, мкм
15; 25; 50; 75; 100	± 4
125; 150; 175; 200	± 5

9. Зробити висновок про придатність мікрометра.

1.6 Питання для самоперевірки

1. Сутність поняття “перевірка засобів вимірювання”.
2. Призначення плоскопаралельних кінцевих мір та правила складання блоку мір.
3. Конструкція мікрометра та правила зняття відліку.
4. Послідовність настроювання мікрометра на нуль.

1.7 Зразок протоколу вимірів

Лабораторна робота № 1	(група)
Перевірка мікрометра	(прізвище студента)

Протокол вимірів

1. Метрологічна характеристика набору плоскопаралельних кінцевих мір довжини:

Завод-виготовлювач _____

Набір _____

Клас точності _____

2. Метрологічна характеристика мікрометра

Завод-виготовлювач _____

Межа вимірів, мм _____

Діапазон показань, мм _____

Ціна поділки поздовжньої шкали, мм _____

Ціна поділки кругової шкали, мм _____

Межа допустимої похибки, мкм _____

3. Результати зовнішнього огляду мікрометра

4. Результати перевірки працездатності механізмів мікрометру

5. Склад блоків кінцевих мір

Номер міри в блоці	Розмір блоку, мм				
I					
II					
III					
IV					
V					

6. Похибки перевірки мікрометра

Розмір блоку мір, мм	Показання мікрометра, мм	Похибка, мкм

7. Висновок про придатність мікрометра (придатний/непридатний)

Роботу виконав

Роботу прийняв

(підпис студента)

(підпис викладача)

“ ____ ” _____ 200 __ р.

“ ____ ” _____ 200 __ р.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

ВИМІРЮВАННЯ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ БЕЗПОСЕРЕДНЬОЇ ОЦІНКИ

Мета роботи: Вивчити конструкцію мікрометра та штангенциркуля, здобути навички роботи з цими інструментами, засвоїти правила визначення придатності деталей за розмірами.

2.1 Стислі теоретичні відомості

Вимірювання – це знаходження значення фізичної величини дослідним шляхом за допомогою спеціальних технічних засобів (ГОСТ 16263-70).

Технічний засіб, який використовується при вимірюванні та має нормовані метрологічні властивості, називають **засобом вимірювання (ЗВ)**.

В залежності від прийомів використання ЗВ та принципів вимірювання розрізняють наступні методи вимірювань: абсолютний та відносний; безпосередній та непрямий; комплексний та диференціальний.

Метод безпосередньої оцінки, який використовується в роботі, це метод, при якому значення величини визначають безпосередньо по відліковому пристрою ЗВ.

Технічний контроль – це перевірка відповідності об'єкта встановленим технічним вимогам.

При вимірювальному контролі розміру перевіряється відповідність дійсного розміру виробу гранично допустимим, встановленим кресленням.

Дійсний розмір – це розмір, що встановлений з допустимою похибкою.

Для придатної деталі повинна додержуватись умова:

$$A_{min} \leq A_d \leq A_{max},$$

де A_{min} – найменший граничний розмір;

A_{max} – найбільший граничний розмір;

A_d – дійсний розмір.

Приклад. На кресленні деталі вказаний розмір діаметру шийки вала $\varnothing 40k6 \begin{pmatrix} +0,018 \\ +0,002 \end{pmatrix}$. Найбільший граничний розмір $d_{max} = 40,018$ мм, найменший граничний розмір $d_{min} = 40,002$ мм. Придатними будуть деталі, для яких дійсні розміри d_d відповідають умові:

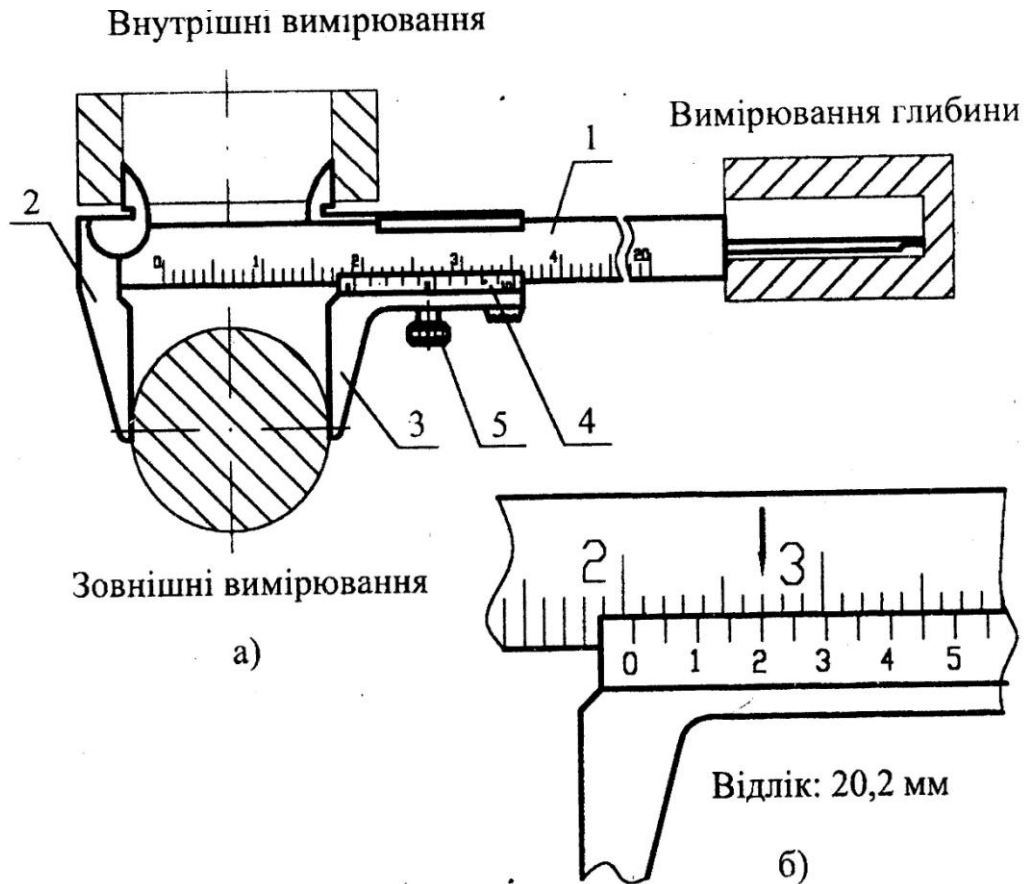
$$40,002 \leq d_d \leq 40,018$$

Метод безпосередньої оцінки має широке застосування завдяки простоті та продуктивності.

2.2 Штангенциркуль

Штангенциркуль призначений для вимірювань, що не вимагають дуже високої точності. Конструкція штангенциркуля та прийоми вимірювань ним представлені на рис. 2.1.

Діапазон вимірювань штангенциркуля визначається його *лінійкою* 1, на якій нанесено основну шкалу з ціною поділки 1 мм. Промисловість виготовляє штангенциркулі з діапазонами виміру від 0–125 до 1500–2500 мм. Зліва на лінійці розташовано *нерухомі вимірювальні губки* 2. Також на лінійці розташовано *рухомі вимірювальні губки* 3, на які нанесено шкалу ноніуса 4.



а – схеми вимірювань штангенциркулем; б – відлік по шкалі.

Рисунок 2.1 - Штангенциркуль

Точність вимірів штангенциркулем багато в чому залежить від ціни поділки шкали ноніуса. Штангенциркулі звичайної точності мають ціну поділки ноніуса 0,1 мм, підвищеної точності – 0,05 мм. Для фіксації рухомих вимірювальних губок штангенциркуля має *стопор* 5.

Відлік по шкалі штангенциркуля здійснюють наступним способом. Цілу частину розміру визначають розмірною рисою, яка розташується безпосередньо зліва від нульової риски шкали ноніуса (на рис. 2.1,б ця риска відповідає 20 мм). Дробову частину розміру знаходять по шкалі ноніуса. Вона визначається рисою, що співпала з будь-якою рисою основної шкали (на рис. 2.1,б це 4-та риска). Враховуючи, що ціна поділки шкали ноніуса, вказаної на рис. 2.1,б становить 0,05 мм, то дробова частина розміру дорівнює: $4 \times 0,05 = 0,2\text{мм}$. Таким чином, відлік по шкалі штангенциркуля становить $20 + 0,2 = 20,2\text{мм}$.

2.3 Послідовність самостійної підготовки до лабораторної роботи

1. Ознайомитись зі стислими теоретичними відомостями про методи вимірювань.
2. Вивчити конструкцію мікрометра та штангенциркуля, правила проведення вимірювань за допомогою цих інструментів.
3. Підготувати бланк протоколу вимірів.

2.4 Послідовність виконання роботи

1. Пройти інструктаж з техніки безпеки. Проходження інструктажу фіксується в журналі інструктажів. Студенти, що не пройшли інструктаж, до виконання лабораторної роботи не допускаються.

2. Заповнити метрологічну характеристику для кожного з ЗВ, які використовуються в роботі.

3. Користуючись таблицями 4-6 СТ СЭВ 144-75 (ГОСТ 25347-82) визначити граничні відхилення контрольованих розмірів та граничні розміри відповідно до рис. 2.2.

4. Перевірити налаштування мікрометра на нуль, та, при необхідності, налаштувати прилад.

5. Відповідно до схеми рис. 2.2 провести вимірювання штангенциркулем внутрішнього та зовнішнього діаметрів (D та d) та провести вимірювання мікрометром зовнішнього діаметру D .

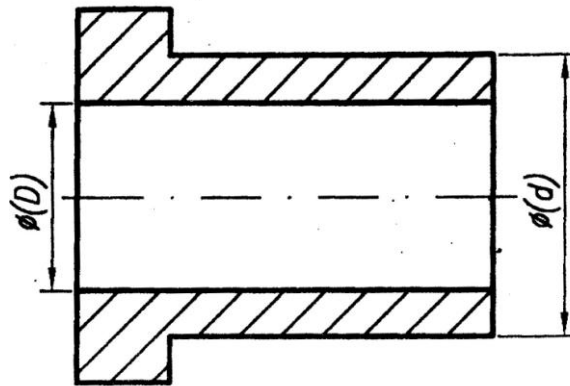


Рисунок 2.1 – Ескіз деталі

Таблиця 2.1 – Контрольні розміри деталі

№	D , мм	D , мм
1	39h6	28H12
2	45h7	30H12
3	48g6	35H12
4	49f9	39H12

Зовнішній розмір вимірювати в трьох різних перетинах у двох взаємоперпендикулярних площинах штангенциркулем та мікрометром, внутрішній розмір слід вимірювати тільки штангенциркулем біля торців у взаємоперпендикулярних площинах.

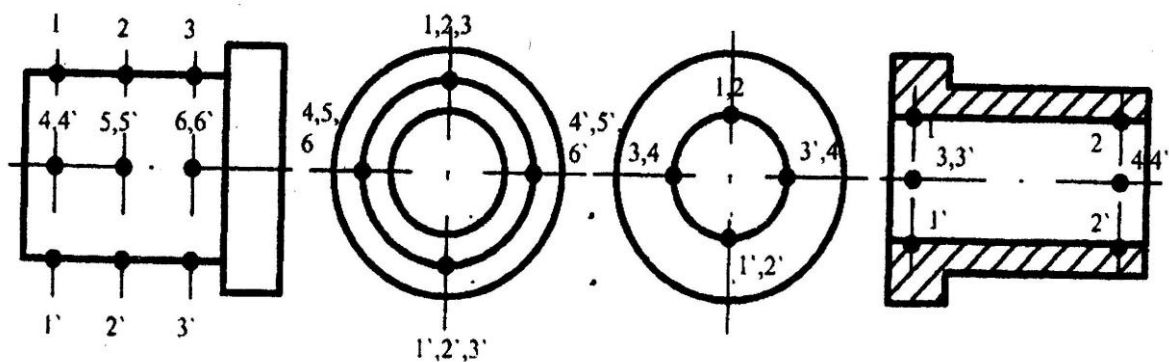


Рисунок 2.2 – Схема вимірювання розмірів деталі

Зробити висновок про придатність деталі за розмірами.

2.5 Питання для самоперевірки

1. Конструкція мікрометра.
2. Яким чином здійснюється відлік по шкалі мікрометра?
3. Як виконується налаштування мікрометра на нуль?
4. Конструкція штангенциркуля.
5. Яким чином здійснюють відлік по шкалі штангенциркуля?
6. В чому полягає метод безпосередньої оцінки?
7. Яким чином визначається придатність деталі за розмірами?

2.6 Зразок протоколу вимірів

Лабораторна робота № 2	(група)
Вимірювання деталей методом безпосередньої оцінки	(прізвище студента)

Протокол вимірів

1. Встановити метрологічну характеристику ЗВ

Метрологічна характеристика штангенциркуля

Завод-виготовлювач _____

Ціна поділки основної шкали, мм _____

Ціна поділки шкали ноніусу, мм _____

Діапазон вимірювань по основній шкалі, мм _____

Межа припустимої похибки, мкм _____

Метрологічна характеристика мікрометра

Завод-виготовлювач _____

Ціна поділки поздовжньої шкали, мм _____

Ціна поділки кругової шкали, мм _____

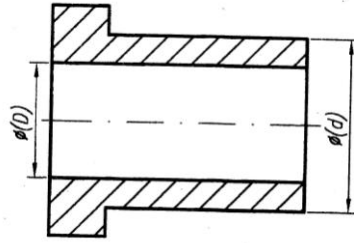
Діапазон вимірів, мм _____

Межі вимірювань _____

Межа припустимої похибки, мкм _____

2. Встановити граничні відхилення та граничні розміри деталі, мм.

Ескіз деталі (розміри вказати відповідно до номеру заданої деталі)



Граничні відхилення розміру D

- найбільше граничне відхилення ES , мкм _____;
- найменше граничне відхилення EI , мкм _____.

Граничні значення розміру D

- найменший граничний розмір, D_{min} , мм _____;
- найбільший граничний розмір, D_{max} , мм _____.

Граничні відхилення розміру d

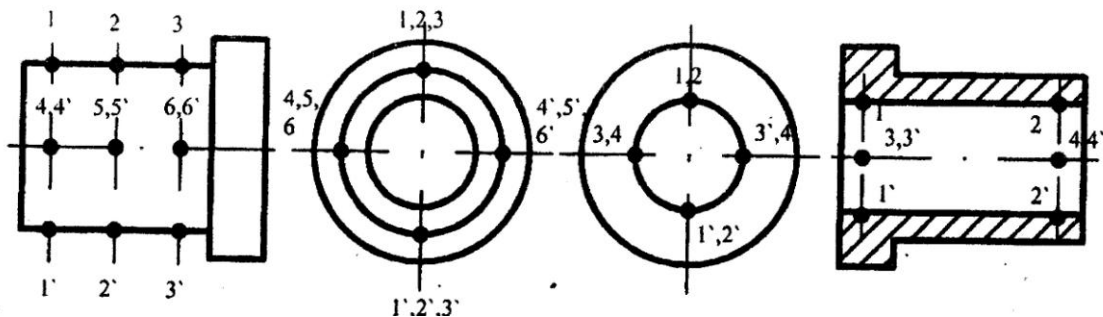
- найбільше граничне відхилення es , мкм _____;
- найменше граничне відхилення ei , мкм _____.

Граничні значення розміру d

- найменший граничний розмір, d_{min} , мм _____;
- найбільший граничний розмір, d_{max} , мм _____.

3. Провести вимірювання деталі

Схема вимірювань



Результати вимірювань

Перетин	Виміряні розміри		
	штангенциркулем		мікрометром
	d , мм	D , мм	d , мм
1 – 1`			
2 – 2`			
3 – 3`			
4 – 4`			
5 – 5`			
6 – 6`			

4. Зробити висновок про придатність деталі (придатна/непридатна)

Роботу виконав	Роботу прийняв
(підпис студента)	(підпис викладача)
“ _____ ” _____ 200 ____ р.	“ _____ ” _____ 200 ____ р.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

ВИМІРЮВАННЯ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ ПОРІВНЯННЯ

Мета роботи: ознайомитись з конструкцією та призначенням мікрокатора та індикаторного нутроміра, здобути навички роботи з цими приладами та засвоїти правила визначенні придатності деталі по розмірам.

3.1 Стислі теоретичні відомості

Метод порівняння – це метод, за яким вимірювану величину порівнюють з величиною, яку відтворює міра.

Дійсне значення вимірюваної величини A_d визначають з рівняння

$$A_d = M + \Delta, \quad (3.1)$$

де M – розмір міри (налаштовуючий розмір);

Δ – різниця між установочною мірою та вимірюваною величиною, яка визначається по шкалі ЗВ.

В даній роботі в якості міри приймають блок плоскопаралельних кінцевих мір довжини. Засіб вимірювання – **мікрокатор**, який рекомендується налаштовувати на середину поля допуску вимірюваного розміру. При цьому розмір блоку

$$M \approx \frac{d_{max} + d_{min}}{2} \quad (3.2)$$

де d_{max} , d_{min} – граничні розміри деталі за кресленням.

3.2 Мікрокатор

Мікрокатор застосовують для точних вимірювань методом порівняння розмірів та відхилень форми, а також як відліковий пристрій в різноманітних приладах.

Загальний вигляд мікрокатора та схема його будови показані на рис. 3.1. Вимірювальний стрижень 1 мікрокатора підвішений на пласких пружинах 2 та 3, які закріплені в уступах циліндричної частини корпусу 4. На нижній кінець

вимірювального стрижня надягається змінний вимірювальний наконечник 5, а на корпус 4 – аретир 6. Переміщення вимірювального стрижня передається плоскій пружині 7, під час руху якої розтягається скручена пружина 8. До середньої частини пружини прикріплена тонка кварцова стрілка 9. При розтяганні пружини 8 стрілка повертається на кут, пропорційний переміщенню вимірювального стрижня. Гвинти 10 потрібні для регулювання спіральної пружини.

Налаштування мікрокатора на нуль здійснюється по блоку кінцевих мір, який відповідає середині поля допуску. Складений блок притирають однією з вимірювальних поверхонь до столику 5 приладу (рис. 3.2).

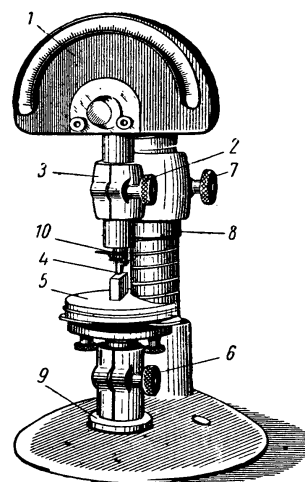
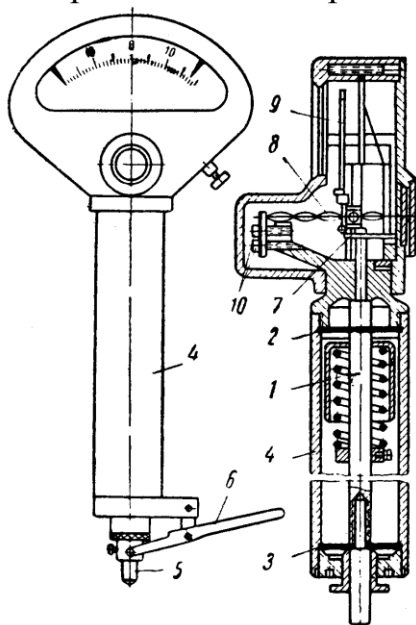


Рисунок 3.1 – Мікрокатор Рис. 3.2 – Налаштування мікрокатора на нуль

Гвинт 6 при цьому відпущений і столик обертанням гайки 9 переведено в крайнє нижнє положення. Відпустивши гвинт 7 та обертаючи підтримуючу гайку 8 плавно опускають кронштейн 3 разом з головою прибору 1 поки вимірювальний наконечник 4 не торкнеться вільної вимірювальної поверхні блоку. В момент дотику наконечника стрілка приладу почне рухатись.

Поступовим обертанням гайки 8 стрілку доводять до нульового штриху шкали. Після цього кронштейн закріплюють стопорним гвинтом 7. Остаточна установка стрілки приладу на нуль здійснюється обертанням гайки 9. Столик 5 разом з блоком підіймають до тих пір, поки стрілка приладу не сполучиться зі штрихом шкали, прийнятим за нульовий. Після цього гвинтом 6 закріплюють положення столику. Для більш точної настройки можна трохи змістити шкалу приладу.

Нульову настройку прибору перевіряють, піднімаючи та опускаючи 2-3 рази наконечник прибору за допомогою аретира.

Якщо при аретируванні стрілка не буде повертатись у вихідне положення, слід опустити гвинт 6 та знову провести установку приладу на нуль.

Після остаточної настройки приладу на нуль, за допомогою аретиру 10 підіймають наконечник приладу, та прибравши зі столика блок мір, на його

місце поміщають об'єкт вимірювання. Якщо останній має циліндричну форму, його слід щільно притискати двома пальцями до столика та, ледь-ледь підкочуючи під вимірювальним наконечником, слідкувати за рухом стрілки. Якщо стрілка зміщується вліво, показання приладу є від'ємними, якщо вправо – додатними. Найбільше показання приладу (з урахуванням знаку) буде відповідати відхиленню розміру діаметра об'єкта від настановної міри.

3.3 Індикаторний нутромір

Нутромір призначений для вимірювання отворів. Конструктивна схема нутроміра звичайної точності показана на рис. 3.3. В якості вимірювального пристрою в індикаторному нутромірі використовують індикатор часового типу 1. Він встановлюється в трубку нутроміра 2 та закріплюється цанговим затискачем, розрізним кільцем 13 та гайкою 14.

Вимірювальні стрижні – рухомий 3 та нерухомий 4 (змінна вставка) розташовані в корпусі 5.

Вимірювальний стрижень 3 закінчується клином, який при переміщенні стрижня діє на шарик 6, що передає рух на стрижень 7 та на вимірювальний стрижень індикатора. Центруючий місток 8 шарнірно з'єднаний через вісь 9 з корпусом 5. Зусилля містка створюється пружиною 10, що діє на місток через ковпачок 11.

Вимірювальне зусилля створюється індикатором та пружиною.

В комплект нутроміра входить шість змінних вимірювальних вставок 4, дві шайби 15, два подовжувача 16 та ключ. Цей набір дозволяє змінювати нульову установку приладу в межах вимірювання.

Під час роботи прилад слід тримати за теплоізолюючу рукоятку.

Налаштування приладу на нуль здійснюється за допомогою блоку кінцевих мір (рис. 3.4). До складеного блоку мір *B* притирають спеціальні боковики 3 та 4 і разом з ними блок затискають в тримачі 5, підтискаючи боковик колодкою 7. Остаточню блоку затискають в тримачі гвинтом 8.

Обережно віджимаючи центруючий місток 9, підготований до вимірювання, індикаторний нутромір обережно вводять в простір між боковиками 3 та 4, та невеликим похитуванням знаходять граничне положення великої стрілки індикатора при його руху за годинниковою стрілкою. Це положення відповідає найменшій відстані між поверхнями установочної міри. До цього положення стрілки підводять нульову поділку шкали.

Після установки на нуль прилад обережно виводять з настановного пристрою та, віджимаючи центруючий місток, уводять в отвір, який перевіряють. Невеликим похитуванням знаходять найменше показання, яке відповідає діаметру отвору.

Після завершення вимірювань перевіряють нульове показання приладу. У випадку порушення його більше, ніж наполовину поділки, шкали вимірювання вважають недійсними.

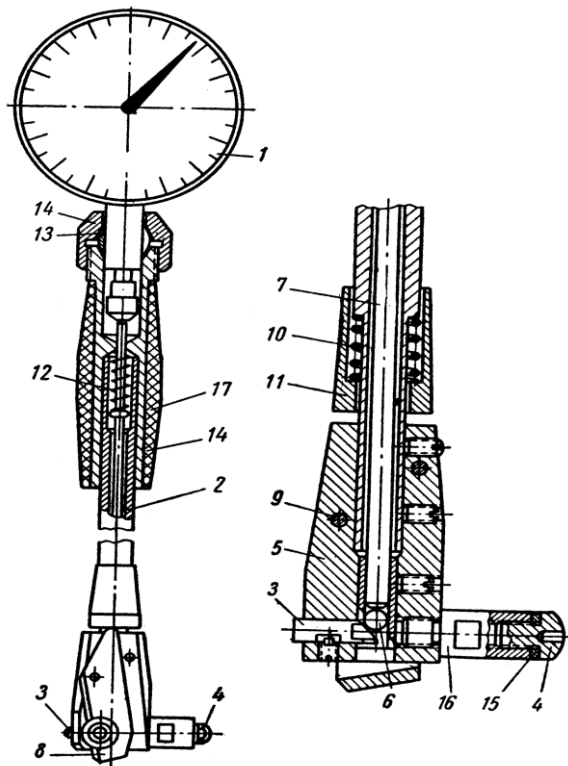


Рисунок 3.3 – Індикаторний нутромір

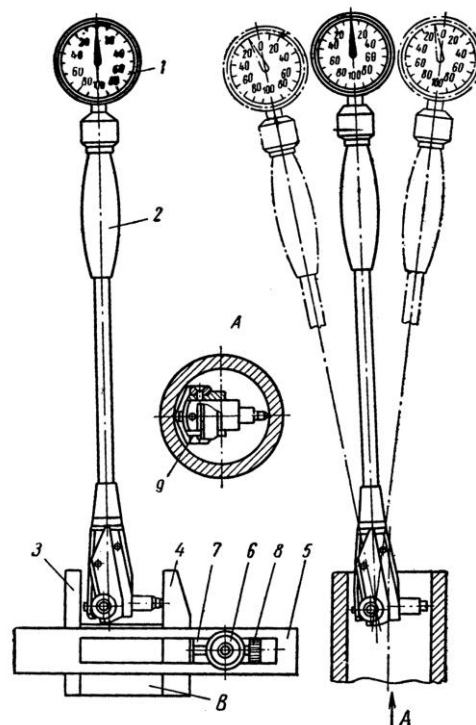


Рисунок 3.4 – Налаштування на нуль нутроміра

3.4 Послідовність самостійної підготовки до лабораторної роботи

1. Ознайомитись зі стислими теоретичними відомостями про вимірювання методом порівняння та вимірювальними приладами, які використовуються в роботі.
2. Підготувати бланк протоколу вимірів.

3.5 Послідовність виконання роботи

1. Пройти інструктаж з техніки безпеки. Проходження інструктажу фіксується в журналі інструктажів. Студенти, що не пройшли інструктаж до виконання лабораторної роботи не допускаються.
2. Заповнити метрологічну характеристику для кожного з ЗВ, які використовуються в роботі.
3. Користуючись таблицями 4-6 СТ СЭВ 144-75 (ГОСТ 25347-82) визначити граничні відхилення контрольованих розмірів та граничні розміри відповідно до рис. 3.5.

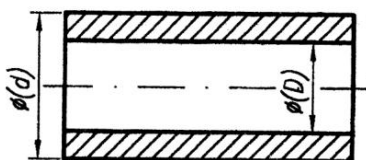


Рисунок 3.5 – Ескіз деталі

Таблиця 3.1 – Контрольні розміри деталі

№	d, мм	D, мм
1	38h6	25H8
2	40h7	30H8
3	42h6	32H7
4	45h9	34H11

4. Скласти блок з плоскопаралельних кінцевих мір довжини для вимірювання зовнішніх розмірів. Розмір блоку розрахувати по формулі 3.2.

5. За допомогою складеного блоку налаштувати мікрокатор на нуль.

6. Виміряти відхилення розміру деталі від розміру, на який налаштовано мікрокатор. Вимірювання проводити у взаємоперпендикулярних площинах в трьох перетинах відповідно до схеми на рис. 3.6 а.

Дійсні розміри деталі визначити по формулі 3.1. Показання мікрокатору Δ брати зі своїм знаком.

7. Скласти блок з плоскопаралельних кінцевих мір довжини для вимірювання внутрішніх розмірів. Розмір блоку розрахувати по формулі 3.2.

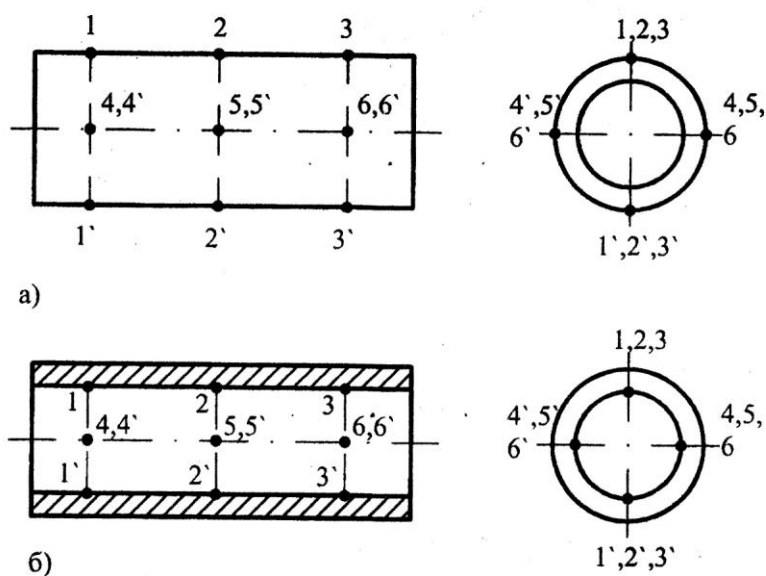


Рисунок 3.6 – Схеми вимірювання розмірів

8. За допомогою складеного блоку встановити шкалу індикаторного нутроміра на нуль.

9. Виміряти відхилення розміру деталі від розміру, на який настроєно нутромір. Вимірювання проводити у взаємоперпендикулярних площинах в трьох перетинах відповідно до схеми на рис. 3.6,б.

Дійсні розміри деталі визначити по формулі 3.1. Показання індикатора Δ брати зі своїм знаком.

9. Зробити висновок про придатність деталі по зовнішньому та внутрішньому розмірах.

3.6 Питання для самоперевірки

1. Конструкція мікрокатора, послідовність його налаштування на нуль та порядок роботи з ним.

2. Конструкція індикаторного нутроміра, послідовність його налаштування на нуль та порядок роботи з ним.

3. В чому полягає сутність вимірювань методом порівняння?

4. Як визначити придатність деталі по розміру?

3.7 Зразок протоколу вимірів

Лабораторна робота № 3	(група)
Вимірювання деталей методом порівняння	(прізвище студента)

Протокол вимірів

1. Встановити метрологічну характеристику ЗВ

Метрологічна характеристика набору плоскопаралельних кінцевих мір довжини:

Завод-виготовлювач _____

Набір _____

Клас точності _____

Метрологічна характеристика мікрокатора

Завод-виготовлювач _____

Модель _____

Ціна поділки шкали, мм _____

Діапазон показань, мм _____

Межі припустимої похибки, мкм

- в діапазоні шкали _____

- на ділянці 0,1 мм _____

Метрологічна характеристика індикаторного нутроміра

Завод-виготовлювач _____

Модель _____

Діапазон вимірювання, мм _____

Ціна поділки шкали, мм _____

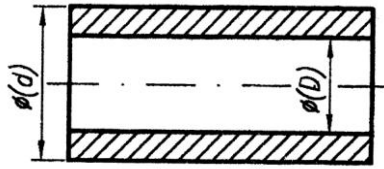
Максимальна глибина вимірювання, мм _____

Межі припустимої похибки, мкм

- в межах всього переміщення вимірювального стрижня _____

- на ділянці 0,1 мм _____
2. Встановити граничні відхилення та граничні розміри деталі, мм.

Ескіз деталі (розміри вказати відповідно до номеру заданої деталі)



Граничні відхилення розміру D

- найбільше граничне відхилення ES , мкм _____;
- найменше граничне відхилення EI , мкм _____.

Граничні значення розміру D

- найменший граничний розмір, D_{min} , мм _____;
- найбільший граничний розмір, D_{max} , мм _____.

Граничні відхилення розміру d

- найбільше граничне відхилення es , мкм _____;
- найменше граничне відхилення ei , мкм _____.

Граничні значення розміру d

- найменший граничний розмір, d_{min} , мм _____;
- найбільший граничний розмір, d_{max} , мм _____.

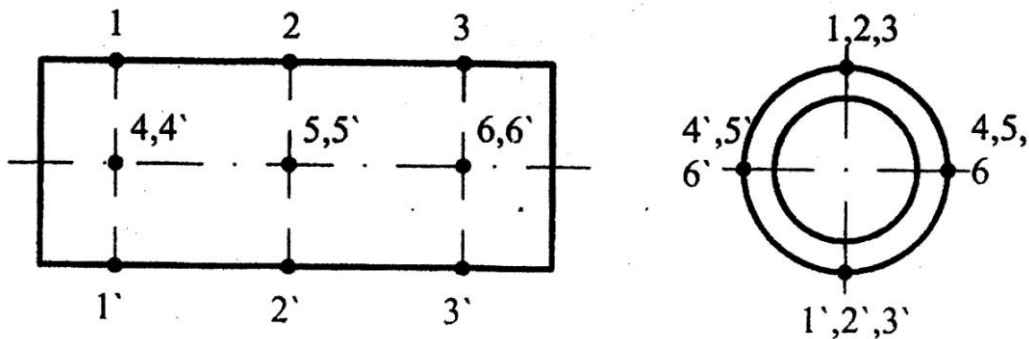
3. Розрахувати технологічний розмір при вимірюванні зовнішнього діаметру, мм.

$$M \approx \frac{d_{max} + d_{min}}{2} = \underline{\hspace{2cm}}$$

4. Записати склад блоку плоскопаралельних кінцевих мір довжини

5. Провести вимірювання зовнішнього діаметру деталі

Схема вимірювань зовнішнього діаметру



Результати вимірювань

Перетин	Показання мікрокатора, мкм	Дійсний розмір, мм
1 – 1`		
2 – 2`		
3 – 3`		
4 – 4`		
5 – 5`		
6 – 6`		

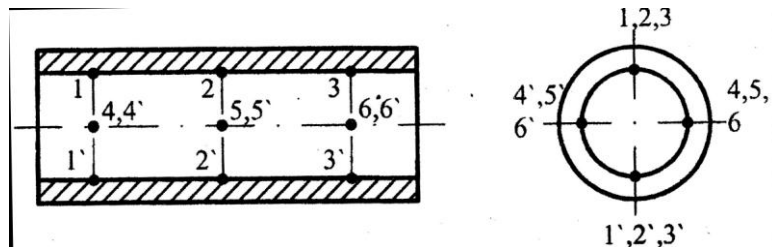
6. Розрахувати технологічний розмір при вимірюванні внутрішнього діаметру, мм.

$$M = \frac{D_{max} + D_{min}}{2} = \underline{\hspace{2cm}}$$

7. Записати склад блоку плоскопаралельних кінцевих мір довжини

8. Провести вимірювання внутрішнього діаметру деталі

Схема вимірювань внутрішнього діаметру



Результати вимірювань

Перетин	Показання індикаторного нутроміра, мкм	Дійсний розмір, мм
1 – 1`		
2 – 2`		
3 – 3`		
4 – 4`		
5 – 5`		
6 – 6`		

4. Зробити висновок про придатність деталі (придатна/непридатна)

Роботу виконав	Роботу прийняв
(підпис студента)	(підпис викладача)
“ _____ ” _____ 200 ____ р.	“ _____ ” _____ 200 ____ р.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

ВИМІРЮВАННЯ ВІДХИЛЕНЬ ФОРМИ ТА РОЗТАШУВАННЯ ПОВЕРХОНЬ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ДЕТАЛІ

Мета роботи: ознайомитись з основними відомостями про нормування форми та розташування поверхонь; вивчити будову та принцип дії індикатору годинникового типу; здобути практичні навички контролю відхилень форми та розташування поверхонь циліндричної деталі.

4.1 Стислі теоретичні відомості

Терміни та визначення, які відносяться до відхилень та допусків форми та розташування, встановлює ГОСТ 24642-81.

Під **відхиленням форми** Δ розуміють відхилення форми реальної поверхні або реального профілю від форми номінального профілю або поверхні.

Для кількісної оцінки відхилень форми використовують принцип прилягаючих поверхонь, ліній та профілів. Наприклад, для оцінки відхилень від круглості зовнішньої циліндричної поверхні (валу) застосовують прилягаючу окружність – окружність найменшого радіусу, що описана довкола реального профілю вала.

Для оцінки відхилень профілю поздовжнього перетину циліндричної поверхні використовують дві паралельні прямі, що дотикаються до реального профілю та розташовані поза матеріалом деталі. При цьому найбільше відхилення точок, які утворюють профіль від відповідного боку прилягаючого профілю має мінімальне значення (рис. 4.1).

Допуск форми T – це найбільше допустиме значення відхилення форми.

Стандарт встановлює п'ять видів відхилень форми:

1 – відхилення від прямолінійності;

- 2 – відхилення від площинності;
- 3 – відхилення від круглості;
- 4 – відхилення від циліндричності;
- 5 – відхилення профілю поздовжнього перерізу.

В даній роботі вимірюється відхилення від круглості, яке визначається найбільшою відстанню від точок реального профілю до прилягаючої окружності (рис. 4.1).

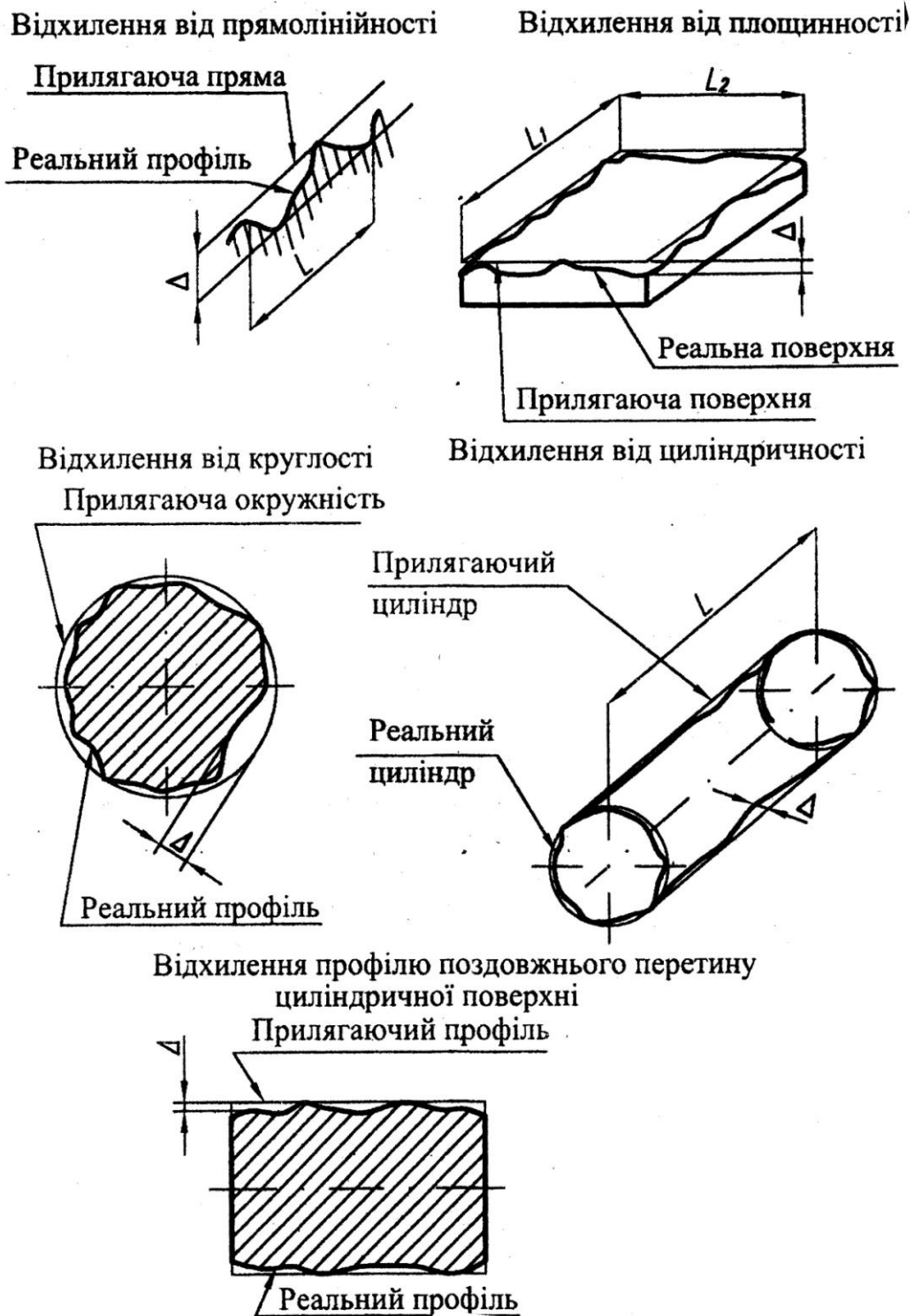
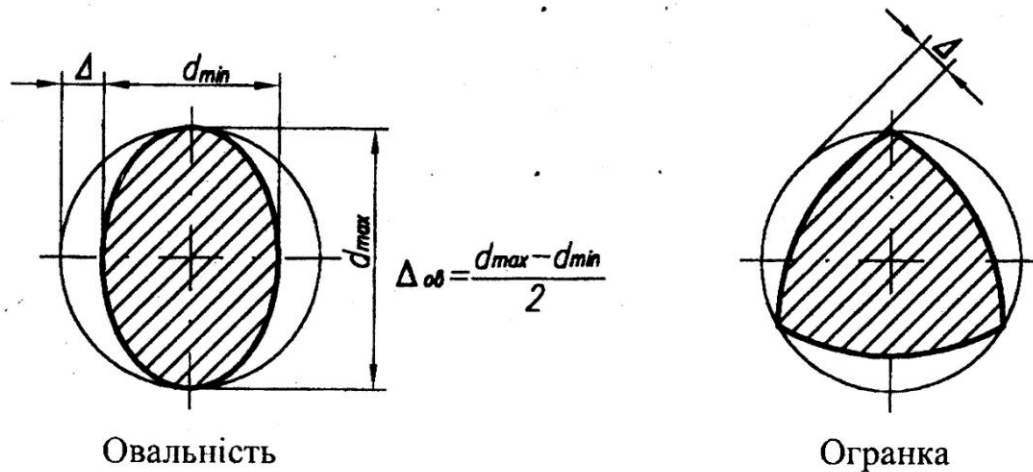


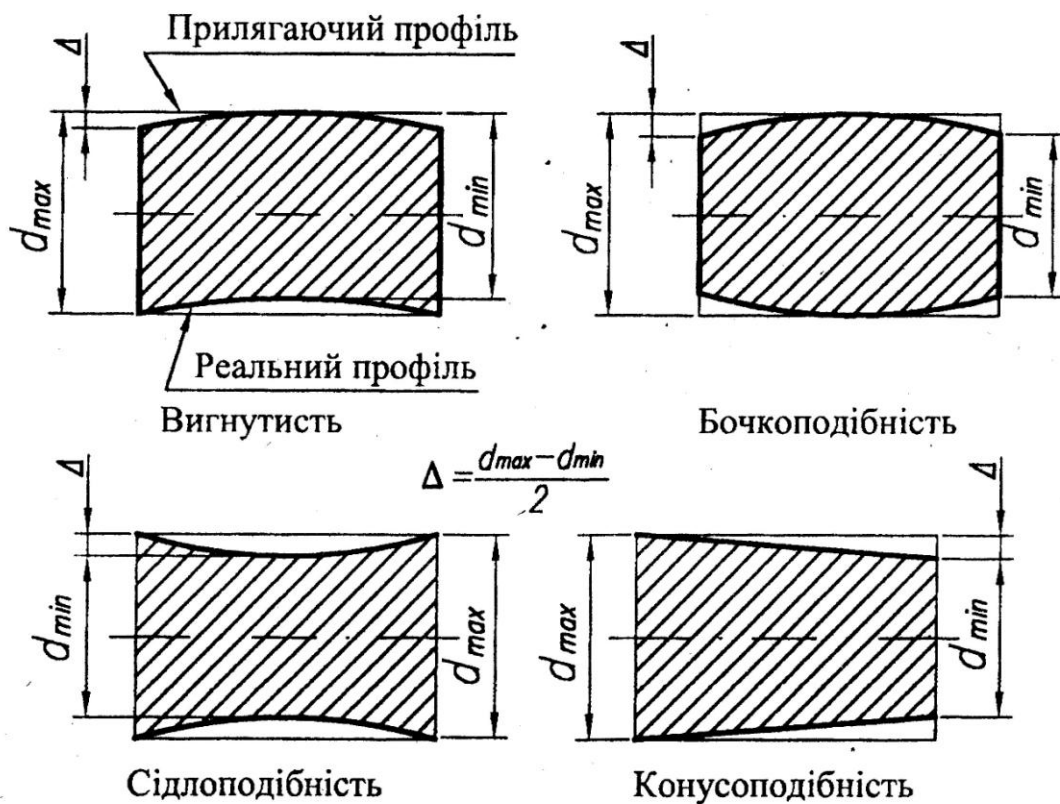
Рисунок 4.1 – Відхилення форми

Відхиленням розташування Δ називають відхилення реального розташування розглянутого елемента (поверхні або профілю) від його номінального розташування.

Відхилення від круглості



Відхилення профілю поздовжнього перетину циліндричної поверхні



Продовження рис. 4.1 – Окремі види відхилень форми циліндричних поверхонь по ГОСТ 24642-81

До відхилень розташування відносяться, наприклад, відхилення від паралельності, відхилення від перпендикулярності, відхилення від співвісності, відхилення від симетричності та ін.

В даній роботі вимірюється величина радіального та торцевого биття.

Радіальне биття (рис. 4.2) – це різниця між найбільшою та найменшою відстанню від точок реального профілю поверхні обертання до базової вісі в перетині площиною, перпендикулярною базовій осі. Радіальне биття є результатом спільного прояву відхилень від круглості профілю в розглянутому перетині та відхилення його центра відносно базової осі (ексцентриситет I).

Торцеве биття (рис. 4.2) – це різниця між найбільшою та найменшою відстанями від точок реального профілю до площини, що перпендикулярна базовій вісі. Торцеве биття є результатом спільного прояву відхилення від площинності та відхилення від перпендикулярності торця відносно вісі базової поверхні.

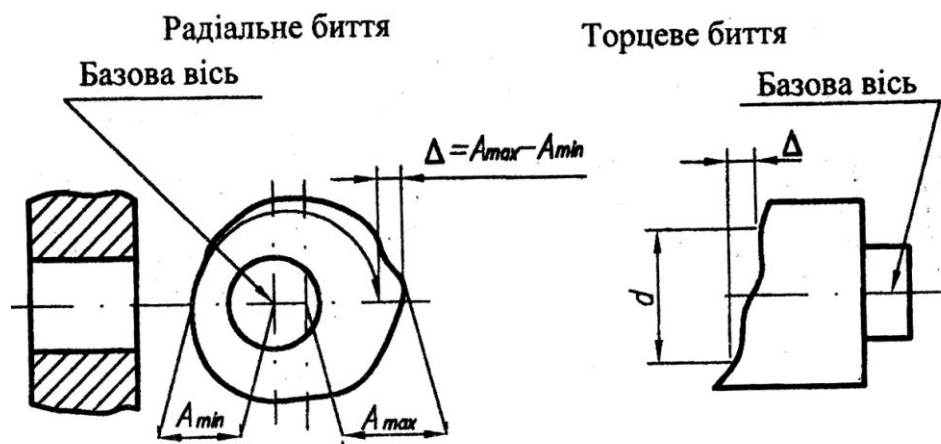


Рисунок 4.2 – Биття поверхонь

Вид допуску форми або розташування позначається на кресленнях умовними символами: O – допуск круглості; $=$ – допуск форми поздовжнього перерізу; $/O/$ – допуск циліндричності; $\uparrow$ – допуск биття; $\uparrow _ \uparrow$ – допуск повного биття (радіального або торцевого).

4.2 Індикатор годинникового типу

При вимірюванні відхилень форми та розташування широке застосування знаходять вимірювальні головки різних типів. В даній роботі застосовують індикатор годинникового типу.

Найбільш поширеним є індикатор годинникового типу з ціною поділки 0,01 мм. Його застосовують як для відносних, так і для абсолютних вимірювань, причому відносний метод є більш точним.

Загальний вигляд індикатора годинникового типу з ціною поділки 0,01 мм показано на рис. 4.3.

В індикаторі рух вимірювального стрижня 1 викликає переміщення великої стрілки 2 по шкалі 3.

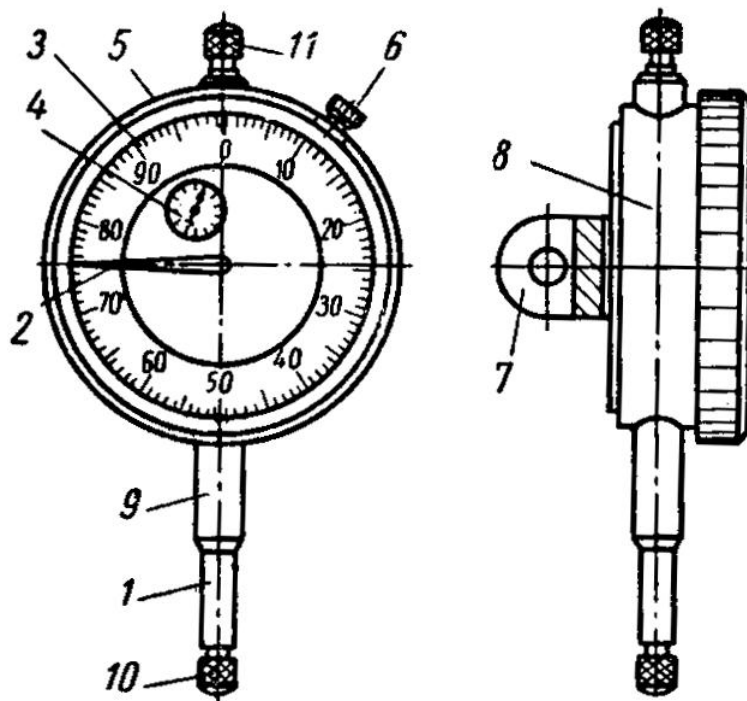


Рисунок 4.3 – Індикатор годинникового типу

Шкала 3 має 100 поділок, отже, повний оберт великої стрілки відповідає переміщенню вимірювального наконечника на 1 мм.

Кожен повний оберт великої стрілки відповідає повороту на одну поділку маленької стрілки по шкалі 4 показчика поворотів, отже, ціна поділки шкали показчика поворотів дорівнює 1 мм.

Шкала індикатору разом з обідком 5 може обертатись відносно корпусу приладу. Це використовують при установці приладу в нульове положення, коли навпроти великої стрілки встановлюють нульовий штрих. Деякі індикатори мають стопорний пристрій 6, що запобігає випадковому повороту шкали.

Для роботи індикатор закріплюють за гільзу 9 або вушко 7 в різних стійках та штативах.

4.3 Скоба індикаторна

Індикаторна скоба (рис. 4.4) складається з корпусу 4, в отворах якого закріплено індикатор годинникового типу 1, пересувна п'ятка 6 та вимірювальна п'ятка 7. Для відводу вимірювальної п'ятки служить важіль 2.

Індикаторну скобу настраюють по блоку плоскопаралельних кінцевих мір довжини. Для цього відпускають затискний гвинт 10, знімають ковпачок 5 (якщо він є на скобі) та пересувають пересувну п'ятку таким чином, щоб між вимірювальною та пересувною п'ятками розмістився блок мір. Після цього пересувну п'ятку рухають до тих пір, поки стрілка індикатору не зробить приблизно один оберт. Це положення п'ятки фіксують гвинтом 10. Поворотом шкали індикатора сполучають велику стрілку з нульовою поділкою шкали. Натискаючи та відпускаючи важіль 2 перевіряють правильність нульового налаштування.

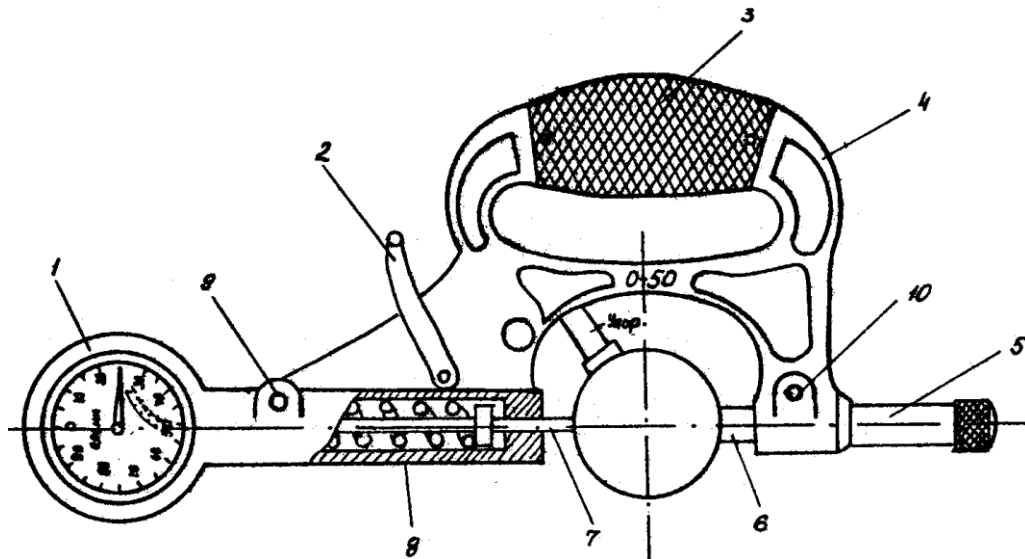


Рисунок 4.4 – Скоба індикаторна

4.4 Вимірювання

Методи та засоби вимірювання (ЗВ) відхилень форми та розташування залежать від наступних факторів:

- вид відхилення;
- точність вимірювання;
- конструктивні особливості деталі;
- наявність ЗВ та ін.

4.4.1 Вимірювання круглості може здійснюватись: із застосуванням зразка круглості, засобами для вимірювання діаметру, з застосуванням призми, а також сідлоподібної призми.

- **вимірювання із застосуванням зразка круглості** представлено на рис. 4.5. Вимірювана деталь 1 сполучається зі зразковим по формі кільцем 2, яке матеріалізує прилягаючу окружність. Вимірювальною головкою 3 (індикатором годинникового типу), закріпленою на зразковому кільці, реєструється максимальна різниця показань за один оберт деталі.

Відхилення круглості

$$\Delta = A_{max} - A_{min},$$

де A_{max} , A_{min} – показання індикатору, мм.

- **вимірювання засобами для вимірювання діаметру** (двоточкове вимірювання)

Варіант I (рис. 4.6) Вимірювану деталь 1 встановлюють на нерухомому опорі 2, підтискаючи до бокового упору 4. Вимірювальна головка 3 закріплюється на стійці 5.

В процесі вимірювання деталь повертають не менш, ніж на 180° і фіксують показання індикатора: $\Delta A = A_{max} - A_{min}$.

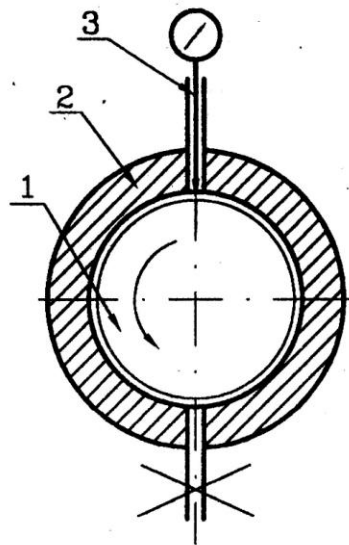


Рисунок 4.5 – Вимірювання із застосуванням зразка круглості

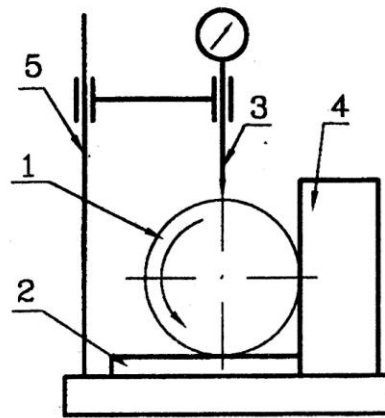


Рисунок 4.6 – Двоточкове вимірювання

Відхилення від круглості

$$\Delta = \frac{\Delta A}{2}.$$

Варіант II (рис. 4.7) Вимірюють діаметр деталі в трьох (рис. 4.7 а) або чотирьох (рис. 4.7 б) напрямках, рівномірно розташованих по окружності. Засіб вимірювання – мікрометр або індикаторна скоба. Після цього визначають різницю діаметрів: $\Delta A = d_{max} - d_{min}$.

Відхилення від круглості

$$\Delta = \frac{\Delta A}{F},$$

де $F = 1,6$ при вимірюванні в трьох напрямках, $F = 1,7$ при вимірюванні в чотирьох напрямках.

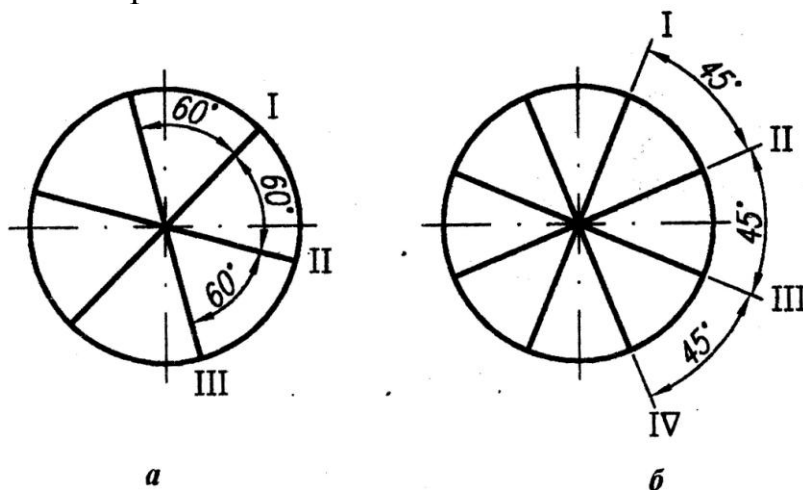


Рисунок 4.7 – Вимірювання овальності в трьох (а) або чотирьох (б) напрямках

Метод застосовують для вимірювання овальності чи огранювання с парним числом граней.

- вимірювання із застосуванням призми (треточкове вимірювання)

Можливі два варіанти:

- симетрична схема вимірювання (рис. 4.8 а);
- несиметрична схема вимірювання (рис. 4.8 б).

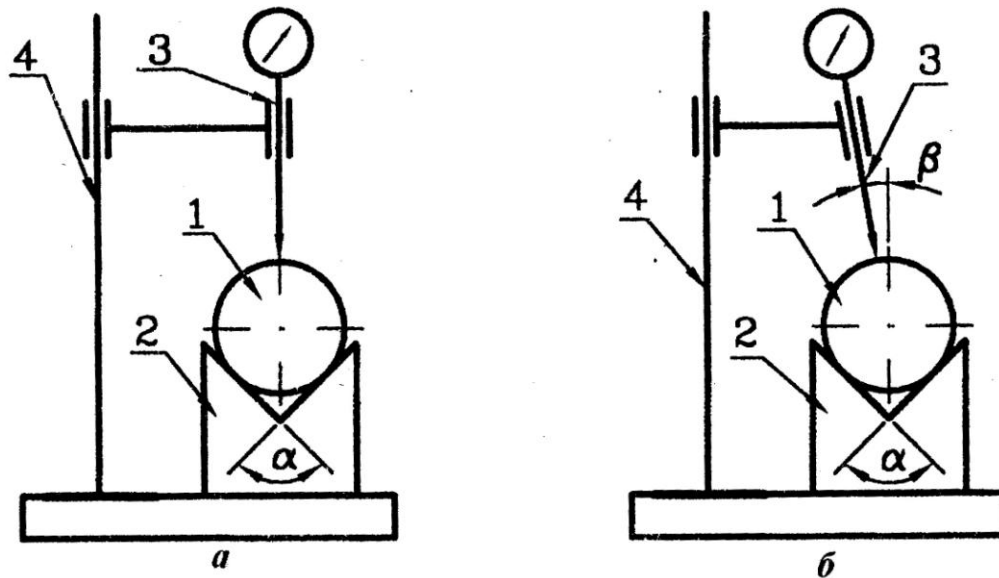


Рисунок 4.8 – Вимірювання відхилення від круглості в призмі

Обертаючи вал 1, встановлений в призмі 2, за допомогою вимірювальної головки 3, встановленої на штативі 4, визначають найбільшу різницю показань індикатора $\Delta A = A_{max} - A_{min}$ за один оберт.

Відхилення від круглості

$$\Delta = \frac{\Delta A}{F_n},$$

де F_n – поправочний коефіцієнт, що залежить від числа граней на вимірюванім профілі та кутів α та β . Його визначають по таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Значення поправочного коефіцієнта F_n при вимірюванні відхилень від круглості в призмах

n, 1/об	F_n						
	симетрична схема вимірювання				несиметрична схема вимірювання		
	$\alpha = 108^\circ$	$\alpha = 90^\circ$	$\alpha = 60^\circ$	$\alpha = 120^\circ$	$\alpha = 120^\circ$ $\beta = 60^\circ$	$\alpha = 60^\circ$ $\beta = 30^\circ$	$\alpha = 120^\circ$ $\beta = 10^\circ$
2	1,38	1,00	-	1,58	2,38	1,41	1,64
3	1,38	2,00	3,00	1,00	2,00	2,00	0,88
4	-	0,41	-	0,42	1,01	1,41	0,96
5	2,24	2,00	-	2,00	2,00	2,00	1,73
6	-	1,00	3,00	-	0,42	0,73	1,08
7	1,38	-	-	2,00	2,00	2,00	1,73

Вимірювання в призмі застосовується для деталей невеликих розмірів, що мають огранювання профілю з непарним числом граней n . Значення n слід визначити попередньо.

- **вимірювання з застосуванням сідалоподібної призми (наїзника).** Вимірювана деталь 1 обертається в призмах, центрах 4 або патроні верстата (рис. 4.9). На деталь встановлюють наїзника 2, вимірювальна головка 3 якого реєструє показання за один оберт валу.

Відхилення від круглості

$$\Delta = \frac{\Delta A}{F_n},$$

де F_n – коефіцієнт, значення якого наведено в таблиці 4.2.

Область застосування методу таж, що і в попереднього.

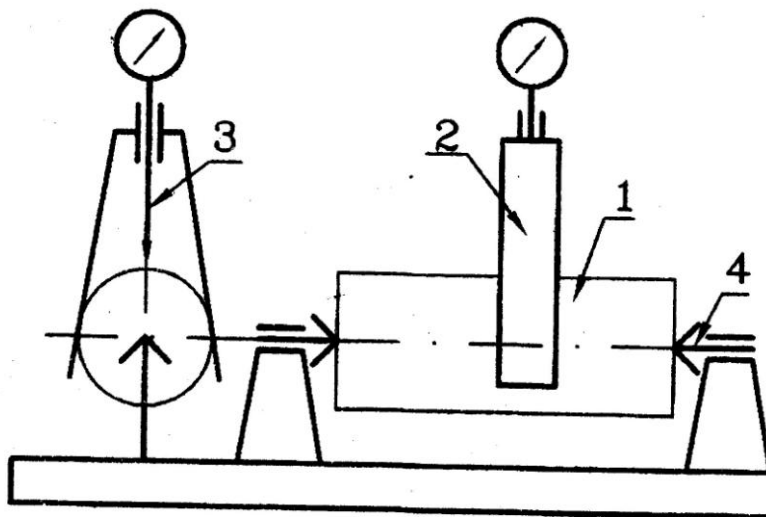


Рисунок 4.9 - Вимірювання з застосуванням сідалоподібної призми

Таблиця 4.2 - Значення кутів призми та поправочного коефіцієнта F_n для наїзників

$n, 1/\text{об}$	F_n		
	$\alpha = 72^\circ$	$\alpha = 90^\circ$	$\alpha = 120^\circ$
2	1,53	1,00	0,42
3	2,62	2,00	1,00
4	2,38	2,41	1,58
5	1,00	2,00	2,00
6	0,38	1,00	2,15
7	0,62	-	2,00

4.4.2 Вимірювання відхилення профілю поздовжнього перетину з застосуванням двоточкового вимірювального приладу Схема вимірювання представлена на рис. 4.10.

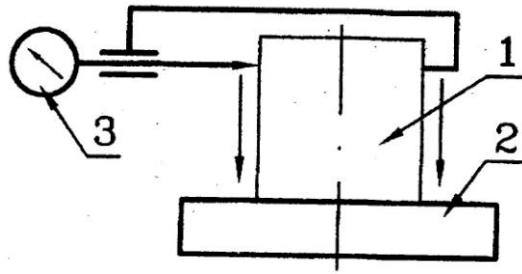


Рисунок 4.10 – Схема вимірювання відхилення профілю поздовжнього перетину

Деталь 1 розташовано на перевірочній плиті 2. Використовують двоточковий засіб вимірювання 3 (мікрометр або скобу індикаторну).

Вимірюючи діаметри в різних точках (не менше трьох) одного поздовжнього перетину, визначають різницю: $\Delta d = d_{max} - d_{min}$. Відхилення профілю поздовжнього перетину

$$\Delta = \frac{\Delta d}{2}.$$

Метод не дозволяє виявити відхилення від прямолінійності вісі профілю.

4.4.3 Вимірювання биття Вимірювальна база визначається по кресленню деталі.

Варіант I Якщо базою є спільна вісь двох поверхонь, наприклад, опорних шийок валу, деталь встановлюється на призму по цих поверхнях.

Варіант II Якщо базою є спільна вісь центрових отворів, деталь встановлюється в центрах (рис. 4.11). Вимірювальний наконечник індикатору вводиться в контакт з контрольованою поверхнею (циліндр або торець).

Величина биття визначається як різниця найбільших та найменших показників індикатору за один оберт деталі: $\Delta = A_{max} - A_{min}$.

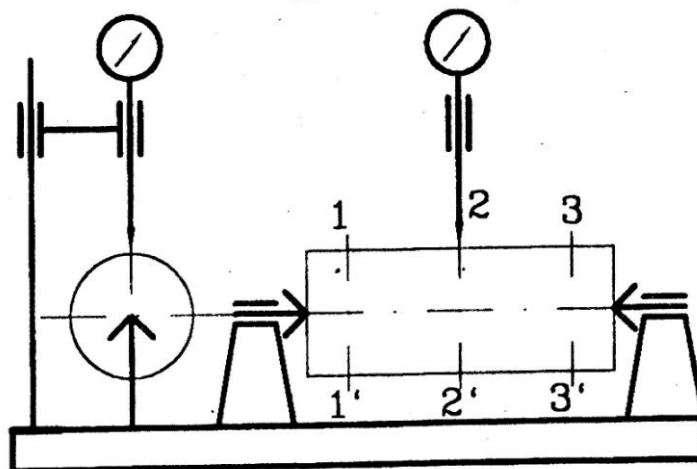


Рисунок 4.11 – Контроль радіального биття в центрах

4.5 Послідовність самостійної підготовки до роботи

1. Вивчити теоретичні відомості.
2. Ознайомитись з будовою та принципом дії індикатора годинникового типу.
3. Ознайомитись з методами вимірювання круглості, відхилення форми поздовжнього перетину, радіального та торцевого биття.
4. Підготувати форму протоколу вимірювань.

4.6 Послідовність виконання роботи

1. Ознайомитись з ЗВ та приналежностями, необхідними для виконання роботи.
2. Виміряти відхилення від круглості заданої деталі в наступній послідовності:
 - а) за допомогою зразкового кільця;
 - б) за допомогою ЗВ для вимірювання діаметра (мікрометром або скобою індикаторною);
 - в) триточковим методом із застосуванням призми;
 - г) за допомогою призми-наїзника.
3. Результати вимірювань занести в протокол.
4. Зробити висновок про придатність деталі по допуску круглості.
5. Виміряти відхилення профілю поздовжнього перетину за допомогою ЗВ для вимірювання діаметра в трьох точках. Результати вимірювання d_1 ; d_2 ; d_3 занести в протокол.
6. Зробити висновок про придатність деталі по допуску форми поздовжнього перетину.
7. Виміряти радіальне биття, базуючи деталь в призмах.
8. Виміряти радіальне та торцеве биття, базуючи деталь в центрах.
9. Результати вимірювання биття занести в протокол.
10. Зробити висновок про придатність деталі по допускам биття.
11. Зробити висновок про придатність деталі по формі та розташуванню поверхонь.

4.7 Питання для самоконтролю

1. Які допуски форми встановлює ГОСТ 24642-81? Як вони позначаються на кресленнях?
2. Які різновиди відхилень форми поперечного та поздовжнього перетину профілю циліндричних поверхонь вам відомі?
3. В чому полягає принцип прилягаючих поверхонь, ліній та профілів?
4. Якими методами можна виміряти відхилення від круглості? В чому суть цих методів?
5. Як виміряють радіальне та торцеве биття? Які вимірювальні бази при цьому використовуються?

6. Які відхилення форми та розташування поверхонь відносяться до сумарних і чому?

4.8 Зразок протоколу вимірів

Лабораторна робота № 4	(група)
Вимірювання відхилень форми та розташування циліндричної деталі	(прізвище студента)

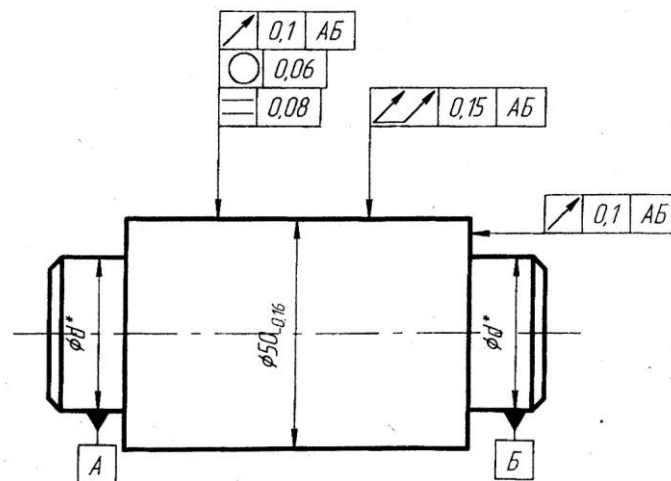
1. Завдання

1.1 Вивчити будову та принцип дії індикатора годинникового типу та скоби індикаторної.

1.2 Ознайомитись з системою нормування відхилень форми і розташування поверхонь деталі.

1.3 Отримати навички вимірювання відхилень форми та розташування поверхонь циліндричних деталей.

2 Вимірювана деталь



3 Метрологічні характеристики ЗВ

3.1 Індикатор годинникового типу

Межі вимірювання _____ мм;

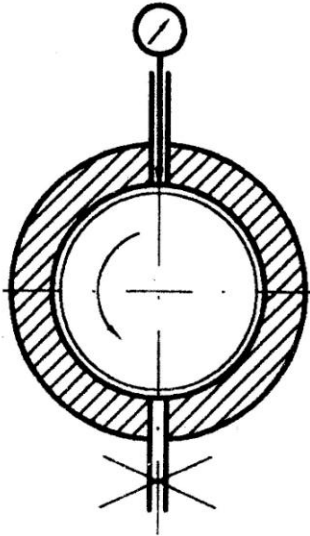
Ціна поділки _____ мм;

Межа припустимої похибки _____ мкм.

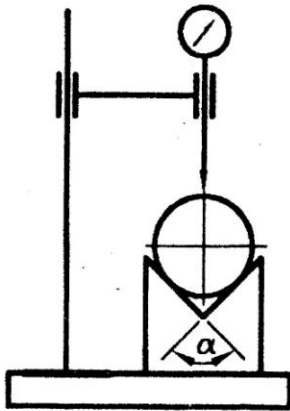
3.2 Скоба індикаторна

Межі вимірювання _____ мм.

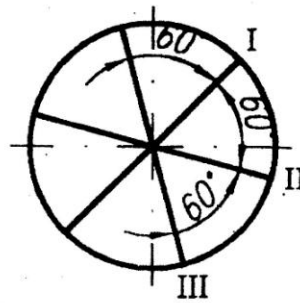
4 Схеми вимірювання



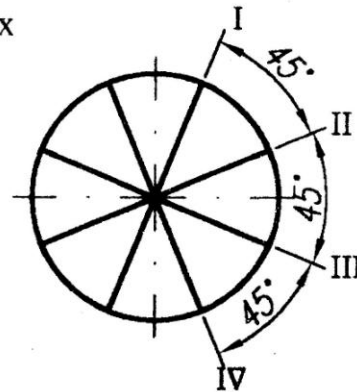
Вимірювання із застосуванням зразка круглості



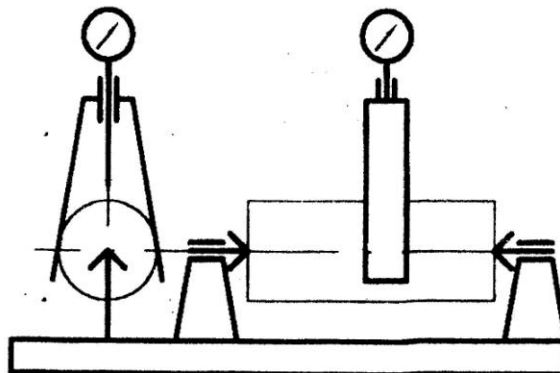
Вимірювання відхилення від круглості в призмі



Вимірювання овальності в трьох точках



Вимірювання овальності в чотирьох точках



Вимірювання із застосуванням сідалоподібної призми

5 Результати вимірювання

5.1 Вимірювання відхилення від круглості

5.1.1 Вимірювання із застосуванням зразка круглості

- показання індикатора: A_{max} _____

A_{min} _____

- відхилення від круглості Δ = _____

5.1.2 Вимірювання двоточковим методом

- показання індикаторної скоби: d_{max} _____

d_{min} _____

- відхилення від круглості $\Delta =$ _____

5.1.3 Вимірювання із застосуванням призми (треточкове)

- показання індикатора за один оберт деталі A_{max} _____

A_{min} _____

- ΔA _____

- відхилення від круглості

$\alpha =$ _____;

$n =$ _____;

$F_n =$ _____;

$\Delta = \frac{\Delta A}{F_n} =$ _____

5.1.4 Вимірювання із застосуванням призми-наїзника

- показання індикатора за один оберт деталі A_{max} _____

A_{min} _____

- ΔA _____

- відхилення від круглості

$\alpha =$ _____;

$n =$ _____;

$F_n =$ _____;

$\Delta = \frac{\Delta A}{F_n} =$ _____

5.2 Вимірювання відхилення профілю поздовжнього перетину

- показання скоби індикаторної:

d_1 _____ мм;

d_2 _____ мм;

d_3 _____ мм;

$\Delta d = d_{max} - d_{min} =$ _____ мм;

- відхилення профілю поздовжнього перетину

$\Delta = \frac{\Delta d}{2} =$ _____

5.3 Вимірювання биття

5.3.1 Вимірювання радіального биття в призмах

Перетин	Показання індикатору		Радіальне биття Δ
	A_{max}	A_{min}	
1 – 1			
2 – 2			
3 – 3			

5.3.2 Вимірювання радіального биття в центрах

Перетин	Показання індикатору		Радіальне биття Δ
	A_{max}	A_{min}	
1 – 1			
2 – 2			
3 – 3			

5.3.3 Вимірювання торцевого биття в центрах

- показання індикатора: A_{max} _____

A_{min} _____

- торцеве биття $\Delta = \Delta A =$ _____

6 Висновок про придатність

Вид відхилення	Величина відхилення Δ , мм	Допуск T , мм	Висновок про придатність
Відхилення від круглості			
Відхилення форми поздовжнього перетину			
Радіальне биття			
Торцеве биття			

Роботу виконав

Роботу прийняв

(підпис студента)

(підпис викладача)

“ _____ ” _____ 200 __ р.

“ _____ ” _____ 200 __ р.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 5 (4-ГОДИНИ)

ВИЗНАЧЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОСНОВНИХ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

5.1 Визначення фізико-механічних характеристик сталі

5.1.1 Сталі для будівельних конструкцій

За хімічним складом будівельні сталі, підрозділяються на дві основні групи: маловуглецеві та низьколеговані.

Маловуглецева сталь, в залежності від ступені розкислення при розливі підрозділяють на три групи: спокійну, напівспокійну і киплячу.

Залежно від гарантій при поставках сталі поділяють на групи і категорії. Розрізняють три групи вуглецевих сталей:

група А - сталь має гарантовані механічні властивості;

група Б - гарантований хімічний склад;

група В - сталь має гарантовані механічні властивості та хімічний склад.

Для будівельних конструкцій вживається лише маловуглецева сталь групи поставки В.

Згідно ГОСТ 380-94 маловуглецеві сталі позначають так: ВСт3кп2, ВСт3пс6, ВСт3сп5 тощо. Остання цифра марки позначає категорію поставки.

Леговані сталі в залежності від утримання легуючих елементів розділяють на високолеговані, середньолеговані і низьколеговані. У будівництві найбільше застосовані низьколеговані. У складі низьколегованих сталей не менше 2,5% легуючих елементів, серед яких, у першу чергу, варто назвати порівняно дешеві та доступні - марганець, кремній та хром, а потім нікель і мідь, в невеликій кількості.

У позначеннях марок легованих сталей відображено їх хімічний склад, який впливає на механічні властивості сплавів. Літери є умовними позначеннями назви компонентів сплаву. Наприклад, (С) кремній - підвищує міцність і жаростійкість; (Г) марганець - підвищує міцність, твердість і опір втомному руйнуванню; (Х) хром - аналогічно кремнію; (Н) нікель - сприяє поліпшенню в'язкості без зниження міцності; (Ю) алюміній - добрий розкислювач; (Д) мідь - підвищує стійкість сталі до атмосферної корозії; (М) молібден, (В) вольфрам, (Ф) ванадій - найпоширеніші легуючі компоненти, що покращують механічні властивості сталей. Серед шкідливих домішок слід відзначити: фосфор - робить сталь холодноламкою, в зв'язку з чим його вміст не повинен перевищувати 0,05%; присутність понад 0,07% сірки викликає червоноламкість сталі, а також знижує її витривалість і корозійну стійкість.

Для металевих конструкцій рекомендують такі низьколеговані сталі: 09Г2, 14Г2 - марганцеві, 09Г2С, 10Г2С, 10Г2СІ - марганцевокремнеєві, 15ГФ, 15Г2СФ - марганцевованадієві, тощо. Дві перші цифри показують склад вуглецю в сотих долях відсотка, а цифри перед умовними позначеннями елементів - їхній вміст у відсотках.

З метою спрощення визначення значень механічних характеристик сталей у ГОСТ 27772-88 марки сталей згруповані і подаються як С235, С245, С255...С590. Наприклад, сталь С235 об'єднує такі рекомендовані для використання у металевих конструкціях марки: ВСт3кп2, 18кп; сталь С245 - ВСт3пс6.

5.1.2 Методи лабораторних випробувань сталі для будівельних конструкцій

Оцінка якості будівельної сталі, що надійшла з заводу-постачальника, починається з перевірки співробітником лабораторії наявності сертифіката (паспорта). При прийомі партії прокатної сталі перевіряють зовнішнім оглядом форму, розміри і якість поверхні сталі, що повинні відповідати маркуванню і сертифікату, а також вимогам стандарту. На поверхні сталі не повинно бути

тріщин й розшарувань; наявність подряпин, раковин та вм'ятин допускається в межах, встановлених стандартом. Обріз стержнів повинен бути під прямим кутом.

Для механічних випробувань від кожної перевіреної по зовнішньому вигляду партії сталі відбирають по два вироби, із яких виготовляють зразки для визначення властивостей матеріалу. Форма і розміри зразків зазначені при описанні засобів випробувань і приймаються згідно ГОСТ.

Для оцінки якості будівельної прокатної сталі проводять лабораторні випробування зразків на розтяг, визначають твердість і ударну в'язкість, а також виконують металографічні і технологічні випробування сталі на зварюваність.

5.1.3. Випробування сталі на розтяг

Згідно ГОСТ 1497-84 статичне випробування сталі на розтяг проводять на спеціально виготовлених зразках на універсальних випробувальних машинах. Зразки доводять до руйнування. При цьому визначають основні механічні характеристики сталі: межу пропорційності, межу текучості, тимчасовий опір при розтягу, відносне видовження, відносне звуження. Зразки сталі можуть бути циліндричними або плоскими. Їх виготовляють шляхом відповідної механічної обробки заготовок. Зразки циліндричної форми повинні мати стандартні розміри (таблиця 5.1).

Таблиця 5.1 - Зразки сталі для випробування на розтяг

Зразки		Довжина робочої частини l_0 , мм	Площа поперечного перетину робочої частини A_0 , мм	Діаметр робочої частини круглого
Довгий	Нормальний	200	314	20
Короткий		100		
Довгий	Пропорційний	$11,3 \sqrt{S_0}$	Довільна	Довільний
Короткий		$5,65 \sqrt{S_0}$		

Зразок закріплюють у захватах машини і центрують його. Для запису діаграми розтягу на барабані автоматичного самописного приладу закріплюють міліметровий папір і встановлюють масштаби навантажень і деформацій. Після установки стрілки шкали вагоміру випробувальної машини на нуль включають двигун і повільно доводять зразок до повного руйнування. При проведенні випробування навантаження контролюється за стрілкою вагоміру, а деформації зразка - за записом діаграми деформації. Наростання навантаження повинно бути поступовим; середня швидкість наростання навантаження при випробуванні до межі текучості не повинна бути більше 10 МПа/с.

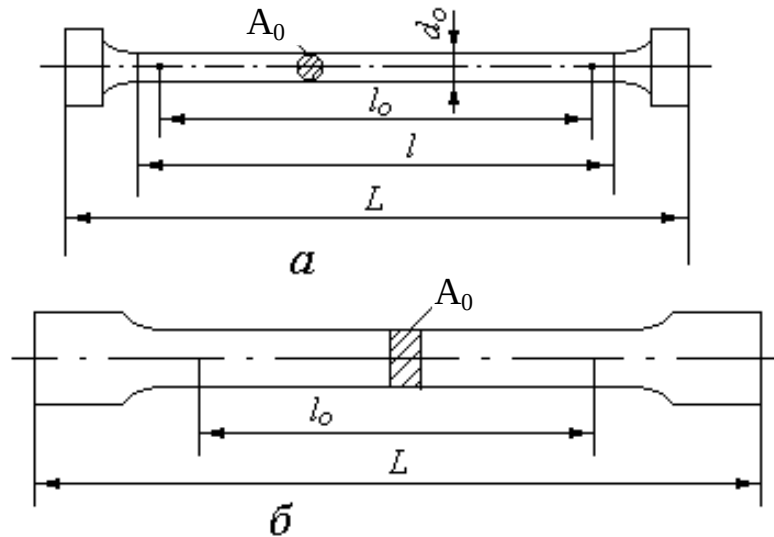


Рисунок 5.1 - Зразки сталі для випробування на розтяг:
а - циліндричні; б - плоскі

Результати випробувань сталевих зразків на розтяг представляють у вигляді залежності "навантаження - деформація" (рис. 5.2).

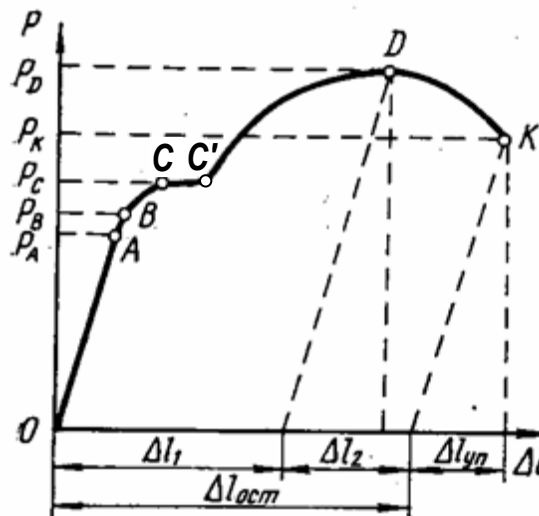


Рисунок 5.2 - Діаграма розтягу зразка маловуглецевої сталі

На діаграмі по вертикальній осі відкладається навантаження, а по горизонтальній осі - абсолютне видовження зразка Δl для різних значень навантаження аж до повного його руйнування. Діаграма роботи сталі має ряд характерних ділянок. Пряма ділянка діаграми розтягу (від початку координат до точки А) відповідає пружним деформаціям сталі, тобто видовження зразка Δl зростає пропорційно прикладеному навантаженню P . Якщо зразок піддати розтягу навантаженням, рівного або меншої P_{pr} , а потім зняти це навантаження, то зразок прийме початкову довжину - залишкові деформації будуть відсутні. Точка А на кривій розтягу відповідає межі пропорційності

$$\sigma_{pr} = P_{pr} / A_0, \quad (5.1)$$

де P_{pr} - навантаження при межі пропорційності;
 A_0 - початкова площа перерізу зразка.

При збільшенні навантаження понад P_{pr} видовження зразка випереджає зростання навантаження. Таким чином, пропорційність порушується і на кривій розтягу пряма ділянка діаграми переходить у криву лінію А-С, а потім у горизонтальну лінію С-С'. Наявність горизонтальної ділянки вказує на зростання деформацій при постійному навантаженні. Момент появи текучості сталі називається межею текучості. Розрізняють межу текучості фізичну і межу текучості умовну.

Фізичною межею текучості називають найменше напруження, при якому зразок починає деформуватися без явного збільшення навантаження. При випробуваннях цей момент фіксується за показаннями стрілки вагоміру. Як тільки сталь досягне межі текучості (при цьому деформації ростуть без збільшення навантаження), стрілка приладу зупиняється, а потім знову починає рухатися. Значення навантаження P_y у момент зупинення стрілки фіксують і приймають за навантаження, що відповідає фізичній межі текучості і обчислюють за формулою

$$\sigma_y = P_y / A_0, \quad (5.2)$$

де P_y - навантаження при межі текучості;
 A_0 - початкова площа поперечного перерізу.

Умовною межею текучості називають напруження, при якому зразок має залишкове видовження $\Delta l = 0,2\%$ від початкової його довжини. Умовну межу текучості визначають у випадках, коли при розтягу зразка не має різко вираженого явища текучості і фізична межа текучості не фіксується зазначеним вище способом.

Межею міцності при розтягу називають напруження, що відповідають максимальному навантаженню перед руйнуванням зразка. Максимальне навантаження визначається за максимальним відхиленням контрольної стрілки випробувальної машини.

На діаграмі розтягу точкою D (рис. 5.2) показано максимальне навантаження, що витримує зразок. Починаючи з точки D , зразок починає швидко розтягуватися, площа поперечного перерізу зменшується, навантаження падає до точки K , де і відбувається руйнування зразка.

Межа міцності при розтягу σ_u , обчислюють по формулі

$$\sigma_u = P_u / A_0, \quad (5.3)$$

де P_u - найбільше навантаження, перед руйнуванням зразка;
 A_0 - початкова площа поперечного перерізу зразка.

Фізико-механічні характеристики деяких маловуглецевих сталей наведені в табл.5.2.

Таблиця 5.2 – Фізико-механічні характеристики маловуглецевих сталей

Марка сталі	Межа текучості по розрядах товщини прокату, МПа			Тимчасовий опір розтягу, МПа	Відносне видовження, % для зразка	
	1	2	3		<i>l</i> -10d	<i>l</i> -5d
СтЗкп	240	220	211	380-400	23	27
				410-430	22	26
				440-470	21	25
СтЗпс, СтЗсп	240	230	220	380 -100	23	27
				110-430	22	26
				440-470	21	25

Відносним видовженням називають, відношення збільшення розрахункової довжини зразка після розриву до його початкової довжини. З метою визначення відносного видовження випробуваного зразка його обидві частини прикладають впритул одну до іншої та вимірюють l_1 .

Значення відносного видовження δ обчислюють по формулі, %

$$\delta = (l_1 - l_0) / l_0 \cdot 100, \quad (5.4)$$

де l_1 - довжина зразка після розриву ;

l_0 - розрахункова (початкова) довжина зразка.

Відносне видовження обчислюють як середнє арифметичне з результатів усіх випробувань.

5.1.3. Випробування сталі на твердість

Твердістю сталі називають здатність протидіяти проникненню в її поверхню іншого, більш твердого тіла визначеної форми і розміру. Випробування твердості сталі виконують методами Бринеля, Роквела тощо.

Твердість сталі за Бринелем (НВ) відповідно стандарту визначають шляхом вдавлювання в попередньо відшліфовану поверхню зразка сталевий загартованої кульки. По діаметру отриманого відбитка на зразку судять про твердість сталі. Перед випробуванням на поверхні сталевий зразка старанно зачищають невеличку ділянку, щоб при вимірюванні його діаметра межі отриманого відбитка було видно достатньо чітко.

Для випробування твердості сталі за Бринелем використовують стаціонарні прилади гідравлічного типу. Найбільше поширення одержав прилад ТШ із наконечником, що закінчується сталевією загартованою кулькою діаметром 5 і 10 мм. Через кульку передається навантаження 30 кН і витримують це навантаження 30 с. Кульковий твердомір (рис. 5.3) складається зі станини 1 із підйомним гвинтом 2, на якому за допомогою напівшарової опори укріплені змінні столики 3 для випробуваних зразків. У голівці приладу 5 розміщений шпindel 4, в який вставляють змінні наконечники зі сталевими кульками різного діаметра. Шпindel спирається на пружину 6. Навантаження на шпindel подають за допомогою системи важелів 7 і 8 і шатуна 11, закріпленого на осі 9. На вільному кінці важеля 8 є підвіска 10 для установки на ній вантажів різної маси.

Діаметр відбитка на зразку вимірюють за допомогою вимірювального мікроскопа з точністю до 0,05 мм у двох взаємно перпендикулярних напрямках і за кінцевий результат приймають середнє арифметичне; при цьому значення діаметра повинно знаходитися в межах $0,2 d < d < 0,6 D$, де D - діаметр кульки в мм; d - діаметр відбитка в мм. Якщо ця умова не виконана, випробування вважають недійсним і повторюють його знову.

Твердість за Бринелем виражають числом твердості HB і обчислюють по формулі

$$HB = 2F / \left[\pi \cdot D - \sqrt{D^2 - d^2} \right], \quad (5.5)$$

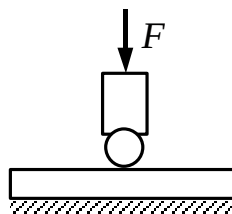
де F - навантаження на кульку (Н);

D - діаметр кульки в (мм);

d - діаметр відбитка (мм).

Між тимчасовим опором вуглецевої сталі та твердістю HB існує кореляційна залежність

$$\sigma = 0,35 HB, \text{ МПа.}$$



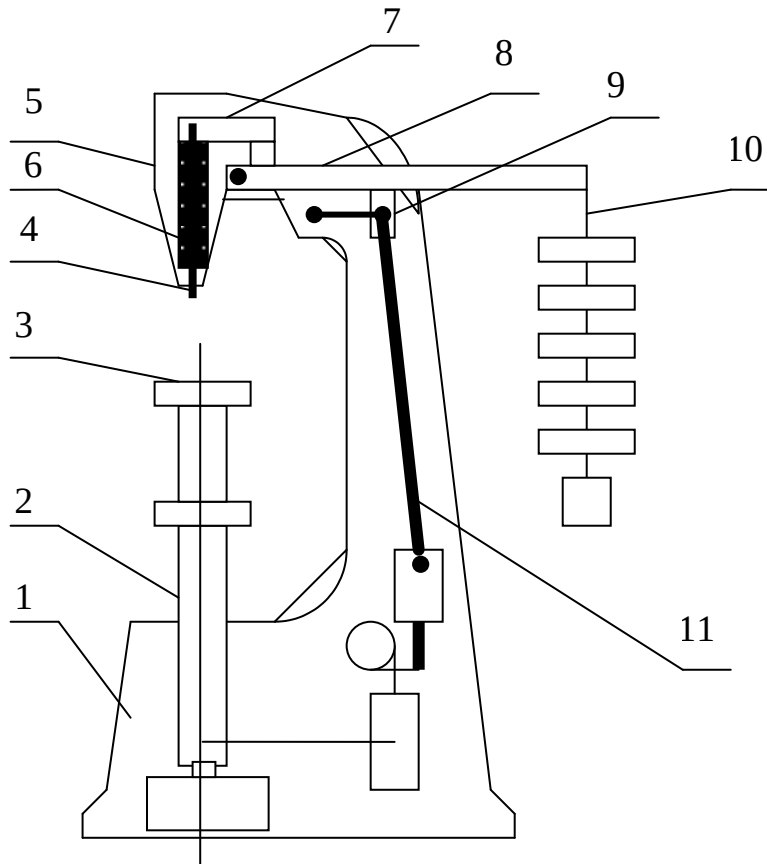


Рисунок 5.3 - Схема кульового твердоміра ТШМ

5.1.3. Випробування сталі на ударну в'язкість

Ударна в'язкість згідно ГОСТ 9454-78 визначається як відношення роботи удару до початкової площі поперечного перерізу зразка в місці концентратора. Ударну в'язкість визначають на маятниковому копрі (рис. 5.4). Він складається зі станини 5 і маятника 3, закріпленого на осі 2. Вісь 2 закріплена на масивній підставі 6. У верхній частині станини є шкала 4, градування якої дає можливість відрховувати значення роботи з точністю не менше 0,5% максимальної енергії копра. У нижній частині станини копра знаходиться шаблон-кондуктор, за допомогою якого зразок 1 встановлюють надрізом всередину прольоту. Швидкість ножа маятника в момент удару складає 4-7 м/с, що відповідає підйому ударного ніжу маятника 0,8-2,5 м. Перед проведенням випробування маятник перевіряють у вільному польоті. Зразки (мал. 1.6) для випробування мають форму бруска квадратного перерізу з надрізом в середині. Випробуваний зразок вкладають щільно на опори копра так, щоб надріз був розташований симетрично опорам і навпроти удару.

По ступеню відхилення маятника після удару або по шкалі визначають роботу A_H , витрачену на руйнацію зразка по формулі, Дж

$$A_H = F \cdot l \cdot (\cos \beta - \cos \alpha), \quad (5.6)$$

де F - вага маятника;

l - довжина маятника - відстань від осі до центру ваги;

α і β - кути відхилення маятника відповідно до і після зламу зразка, град.

Ударну в'язкість a_H обчислюють по формулі, Дж/м²

$$a_H = \frac{A_H}{S}, \quad (5.7)$$

де S - площа поперечного перерізу зразка в місці концентратора до випробування.

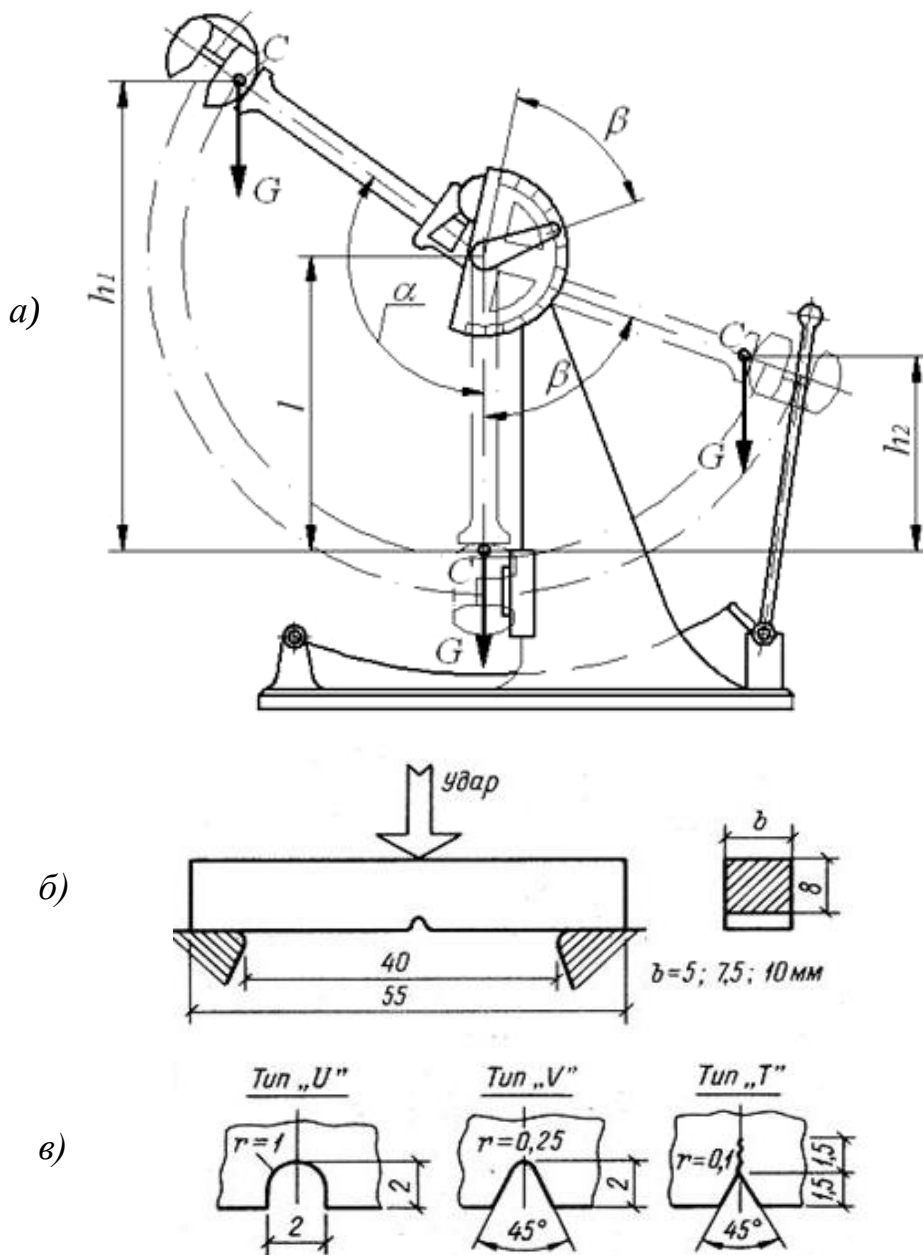


Рисунок 5.4 - Випробування на ударну в'язкість:

а – схема маятнікового копра; б – випробувальний зразок;

в – типи концентраторів

5.2 Визначення міцності бетону

Згідно з ГОСТ 10180-90 міцність бетону визначають шляхом випробування контрольних зразків, виготовлених із бетонної суміші з подальшим твердінням у заданих умовах.

Проби бетонної суміші для виготовлення контрольних зразків відбирають відповідно до вимог стандарту. Відібрана проба повинна бути за розміром у 1,5-2 рази більша, ніж потрібно для виготовлення зразків. У лабораторії контрольні зразки виготовляють із бетонної суміші, перемішуючи її компоненти в технологічній послідовності.

Міцність бетону визначають шляхом випробувань контрольних зразків.

Форму і розміри зразків для визначення міцності бетону приймають за табл. 5.3.

Таблиця 5.3 – Форма та розміри зразків для визначення міцності бетону

Вид випробування	Форма зразка	Геометричні розміри зразка, мм
Визначення міцності на стиск і на розтяг при розколюванні	Куб	Довжина ребра: 70; 100; 150; 200; 300
	Циліндр	Діаметр: 70; 100; 160; 200; 300. Висота дорівнює одному або двом діаметрам

За базовий приймають зразок із розмірами робочого перетину 150x150 мм.

Для виготовлення контрольних зразків застосовують металеві роз'ємні форми. Вони повинні мати достатню жорсткість, не деформуватися при формуванні зразків. З'єднання елементів форм повинно бути щільними, що виключає втрату цементного молока при формуванні зразків. Відхилення розмірів відформованих зразків по довжині ребер кубів, сторін поперечного перерізу призм і вісімок, діаметра циліндрів допускається не більше ніж 1% від зазначених у таблиці 5.3. Непаралельність опорних поверхонь кубів і циліндрів, що прилягають до плит преса, не повинна перевищувати 0,05 мм на 100 мм довжини. Непрямолінійність утворюючих зразків-циліндрів, призначених для випробування на розколювання, не має перевищувати 0,1 мм на 100 мм довжини. Внутрішні поверхні форм (стінки і днище), що стикаються з опорними гранями бетонних зразків, повинні бути шліфованими.

Виготовлені зразки накривають вологою тканиною і зберігають у формах у приміщенні при температурі повітря $20 \pm 2^\circ\text{C}$ протягом доби, після чого їх звільняють із форм, маркують водостійкою фарбою на верхній грані і переносять у камеру нормального твердіння, де зберігають до випробування при температурі $20 \pm 2^\circ\text{C}$ і відносній вологості повітря не менше ніж 90%.

Опалубку знімають не раніше від 4 діб після виготовлення зразків. При тепловій обробці опалубку знімають після її закінчення.

Бетонні зразки перед випробуванням повинні протягом 2-4 годин знаходитися в приміщенні лабораторії. Тут їх старанно оглядають, установлюють наявні сколи ребер, раковини і тріщини. Опорні грані на

зразках-кубах, призначених для випробування на стиск, вибирають таким чином, щоб навантаження при випробуванні було спрямоване паралельно прошаркам укладання бетонної суміші у формі.

5.2.1 Визначення міцності на стиск

Для випробування на стиск зразки встановлюють однією із бокових граней на опорну плиту преса і центрують таким чином, щоб сила стиску була направлена паралельно шарам укладки бетонної суміші. Швидкість прикладання навантаження на зразок повинна забезпечувати зростання напруження у зразку $0,6 \pm 0,4$ МПа/с до його руйнування.

Міцність на стиск визначають за формулою:

$$R = \alpha \cdot \frac{P_u}{A} \cdot k_w, \quad (5.9)$$

де P_u – максимальне навантаження, кН;

A – середня площа робочого перерізу зразка, см²;

α – масштабний коефіцієнт міцності в зразках базового розміру;

k_w – коефіцієнт вологості бетонного зразка, для звичайних бетонів $k_w = 1,0$.

Площу робочого перерізу кожного зразка визначають за результатами виміру як середнє арифметичне значення площ двох протилежних граней.

5.2.2 Випробування міцності бетону у виробках і конструкціях неруйнуючими методами

До найпростіших не руйнуючих методів оцінки міцності бетону належить метод пластичних деформацій, який реалізують на практиці за допомогою молотків Й.А. Фізделя та К.П. Кашкарова.

Еталонний молоток конструкції К.П. Кашкарова (рис. 5.5). Метод визначення міцності бетону полягає у тому, що при ударі по залізобетонній поверхні одночасно утворюється відбиток на бетоні та на еталоні, відношення між якими не залежить від сили удару.

За непряму характеристику міцності бетону приймають відношення (d_e/d_s) , за яким визначають міцність бетону в даному місці конструкції. Еталонний стрижень 3 виготовлений із м'якої сталі марки Ст.3, довжина його – 150 мм, діаметр – 10 мм, кінець стрижня загострений.

При випробуванні бетону еталонним молотком завдають не менше від 10 ударів у різних точках по довжині або по площі конструкції. Під час випробування необхідно стежити за тим, щоб вісь голівки молотка була перпендикулярна до поверхні випробовуваної конструкції. Після кожного удару еталонний стрижень пересувають у стакані молотка таким чином, щоб відстань між центрами сусідніх відбитків була не менше ніж 10 мм. Удари по поверхні конструкції слід завдавати з таким розрахунком, щоб відстань між відбитками не перевищувала 30 мм.

Діаметри лунок на бетонній поверхні й еталонному стрижні вимірюють із точністю до 0,1 мм за допомогою кутового шаблона, мікроскопа тощо.

Міцність бетону в конструкціях визначається за графіком (рис. 5.7) відповідно до обчисленого відношення $H=d_{\sigma}/d_{\epsilon}$ як середньоарифметичного результатів 10 ударів молотка. Отримані в такий спосіб значення R_{cm} справедливі для бетону вологістю 2...6 %. У випадку підвищеної вологості визначену межу тривкості бетону необхідно помножити на коефіцієнт вологості K_{ϵ} , що приймається при вологості бетону 8 і 12% відповідно 1,1 та 1,2, а при мокрій поверхні бетону – 1,4.

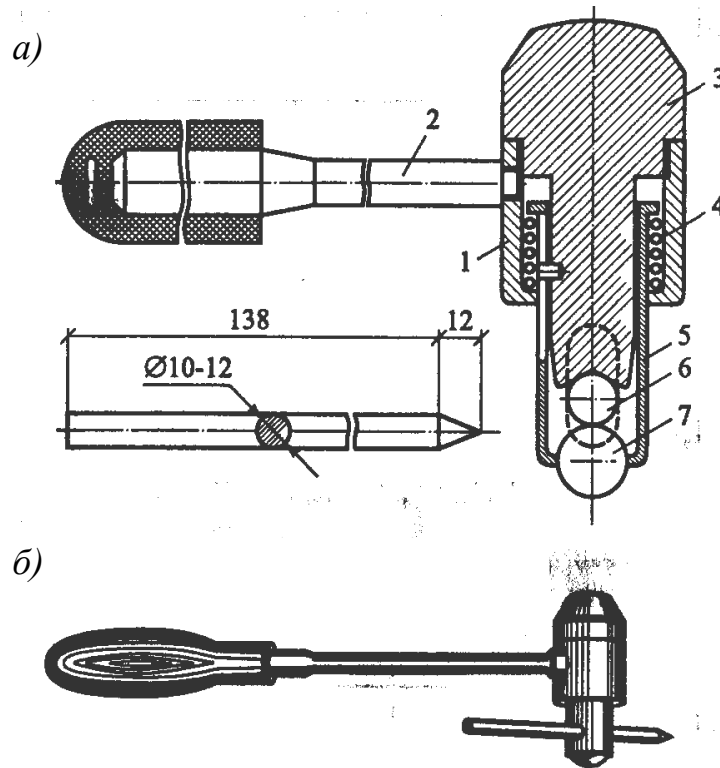


Рисунок 5.5 - Еталонний молоток конструкції К.П. Кашкарова:
а – схематичний розріз; б – зовнішній вигляд;
1 – корпус; 2 – металева рукоятка; 3 – головка; 4 – пружина;
5 – стакан з отворами для кульки 7 та еталонного стрижня 6.

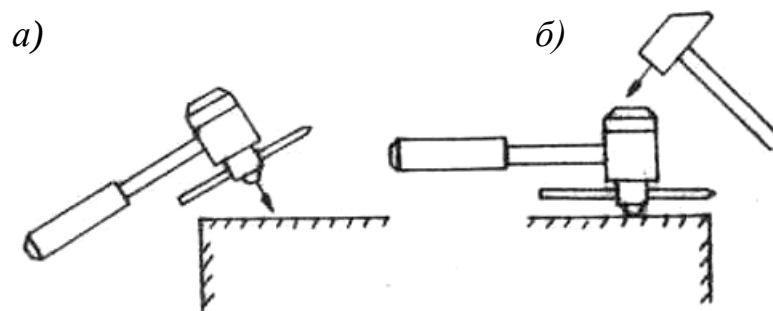


Рисунок 5.6 - Методи випробування бетону:
а – нанесення ударів еталонним молотком;
б – нанесення ударів на вузьких ребрах конструкції.

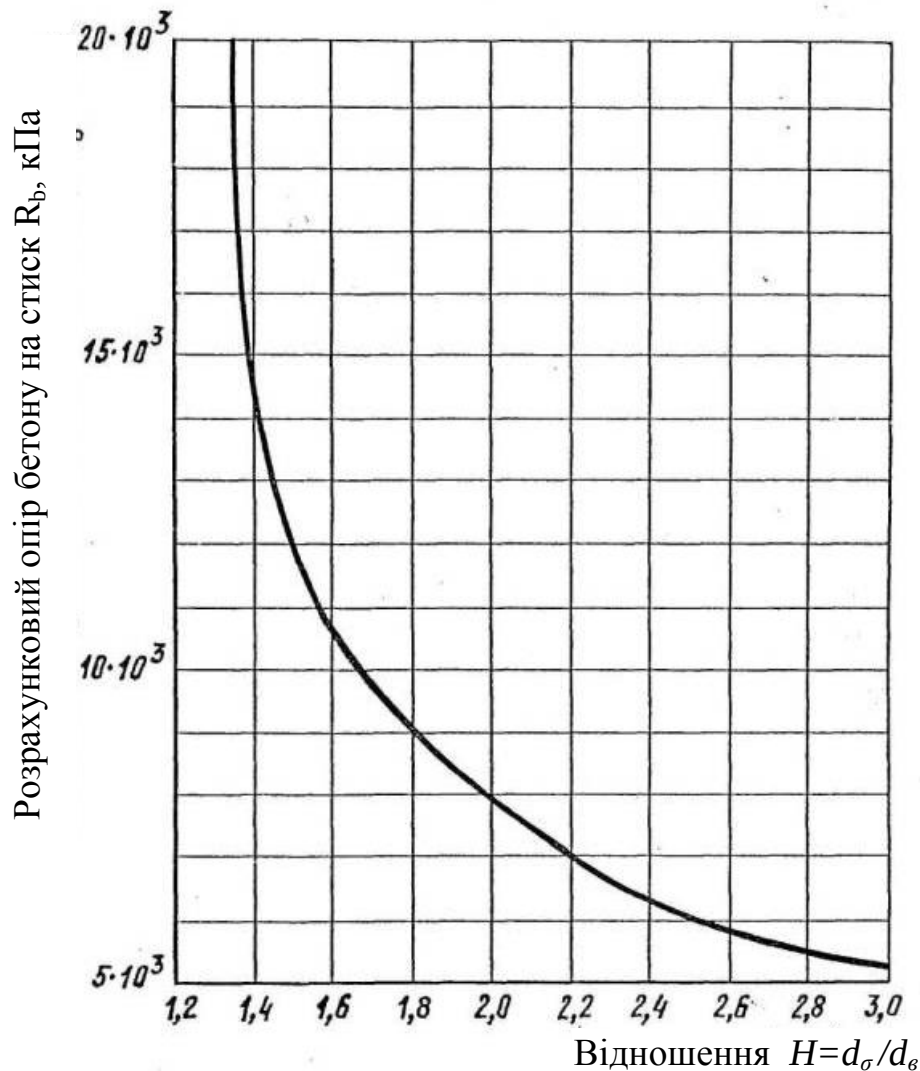


Рисунок 5.7 - Уніфікована залежність:

R_{cm} – міцність у кубах з довжиною ребра 150 мм від відношення H .

5.2.2 Контроль розташування арматури і товщини захисного шару залізобетонних виробів

Контроль розташування арматури виконують на залізобетонних виробих із числа зразків, відібраних для контролю форми, розмірів та зовнішнього вигляду. Для контролю розташування арматури можуть бути також використані вироби, доведені до руйнування при випробуваннях.

Кількість виробів для перевірки розташування арматури встановлюється при відсутності відповідних указівок у Держстандартах на даний вид виробів технічними умовами на вироби і повинна складати не менше від 1% при кількості виробів у партії 500 од. і більше, але не менше ніж 5 од. від партії при кількості виробів у партії менше ніж 500 од.

В умовах будівельного майданчика основним способом контролю розташування арматури і товщини захисного шару є не руйнуючі методи за допомогою вимірювачів захисного шару, наприклад ИЗС-10Н, ИЗС-1, ИЗС-2, ИЗС-3 і ИЗС-7.

Вимірювач захисного шару ІЗС-2М забезпечує для арматури діаметром від 6 до 16 мм вимірювання відстані від робочої поверхні датчика до арматури на глибину до 70 мм. Відносна похибка приладу складає 4% на верхній межі виміру і 1% на нижній. Маса приладу – 4,2 кг.

При контролюванні товщини захисного шару в залізобетонних виробках вибирають місця, найбільш характерні положенню арматури в небезпечних перерізах виробу. Якщо в місцях перевірки товщини захисного шару приладами проектом передбачено щільне армування, то місця перевірки слід вибирати в перерізах, де сусідня арматура (поздовжня або поперечна) розташована на відстані, що перевищує мінімально допустиму для даного приладу.

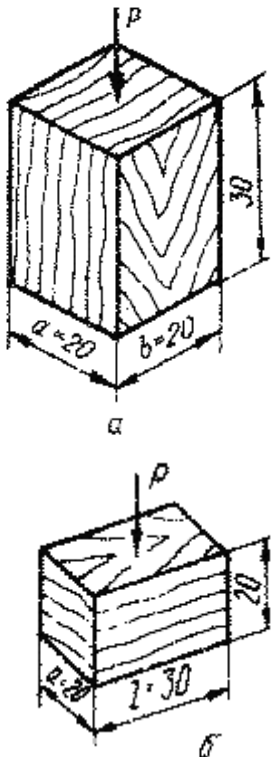
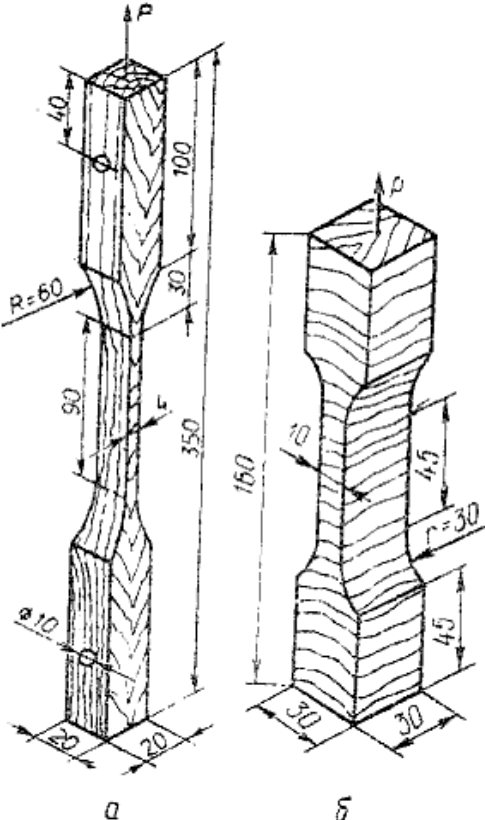
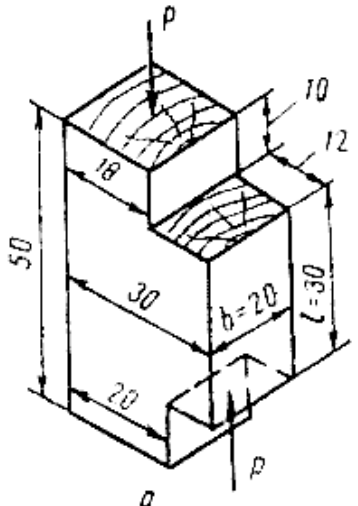
5.3 Дерев'яні конструкції

5.3.1 Випробування дерев'яних конструкцій

Деревина має неоднакову міцність у різних напрямках унаслідок особливостей її структури.

Опір деревини стиску вдовж волокон визначається згідно з ГОСТ 16183.10-73. Зразки виготовляють у формі прямокутних призм з основою 20х20 мм і довжиною вздовж волокон 30 мм (таблиця 5.4).

Таблиця 5.4 - Зразки для випробування деревини

		
Зразки для випробування на стиск	Зразки для випробування на розтяг	Зразок для випробування на сколювання

Межа міцності на стиск (розтяг) визначається:

$$R_w = F_u / (a \cdot b), \quad (5.10)$$

де F_u – максимальне навантаження;
а, b – розміри поперечного перерізу.

Межу міцності перераховують на вологість 12% з точністю 0,5 МПа для зразків із вологістю, меншою від межі гігроскопічності:

$$R_{12} = R_w [1 + \alpha (w - 12)], \quad (5.11)$$

де α – поправковий коефіцієнт, що дорівнює 0,04 на 1% вологості.

Для зразків із вологістю, що дорівнює або перевищує межу гігроскопічності:

$$R_{12} = R_w \cdot k_{12}, \quad (5.12)$$

де k_{12} – розрахунковий коефіцієнт для різних порід деревини.

Опір деревини стиску впоперек волокон визначається згідно з ГОСТ 16483.23-73 на зразках розмірами 20x20x30 мм (див. табл. 5.4).

Межу міцності зразка R_w з вологістю w у момент випробувань визначають із точністю до 0,1 МПа:

$$R_w = F / (b \cdot l). \quad (5.13)$$

Міцність деревини на розтяг згідно з ГОСТ 16483.23-73 і ГОСТ 16483.28-73 визначають за двома напрямками – вздовж і впоперек волокон на стандартних зразках (див. табл. 1.4).

Межу міцності зразка R_w з вологістю w у момент випробувань визначають із точністю 1,0 МПа:

$$R_w = F_u / (a \cdot b), \quad (5.14)$$

де F_u – максимальне навантаження;
а, b – розміри поперечного перерізу.

5.3.2 Визначення вологості деревини

Вологість деревини визначають у відсотках до маси сухого зразка. Для цього беруть зразок 20x20x30 мм, очищають та визначають його масу до 0,001 г. Потім зразок висушують від 6 до 10 годин залежно від породи деревини при $t = 103 \pm 2^\circ\text{C}$ і знову визначають масу.

Вологість деревини визначають із точністю до 0,1%:

$$W = [(m_1 - m_2) / (m_2 - m)] \cdot 100, \quad (5.15)$$

де m – маса порожньої бюкси;
 m_1 – маса бюкси з вологим зразком;
 m_2 – маса бюкси з сухим зразком.

Вологість деревини також можна виміряти електровологомірами ЕВА-2, ЕВ-2М, ЕВП-4, ІВД-1 тощо.

5.3.3 Визначення міцності деревини вогнепальним методом Кашкарова

Серед не руйнуючих методів оцінювання міцності деревини заслуговує уваги вогнепальний метод, запропонований К.П. Кашкаровим. Суть методу полягає у визначенні глибини проникнення кулі в масив деревини. Залежно від глибини проникнення, користуючись емпіричними залежностями автора, можна визначити міцність матеріалу та його об'ємну вагу на момент випробування.

Постріл виконується із спортивної малокаліберної зброї (гвинтівки ТОЗ-8, ТОЗ-12) у деревину із відстані 100 мм в радіальному напрямку. Обріз ствола гвинтівки фіксують на вказаній відстані за допомогою упорної підставки, яка має отвори для виходу порохових газів.

У досліджуваній зразок виконують не менше трьох пострілів.

Визначення характеристик деревини виконується за емпіричними формулами.

Для сосни межа міцності визначається:

$$\text{на стиск} \quad R_{C15} = \frac{101120}{h_{cp} - 0,443} + 1861, \quad (\text{МПа}), \quad (1.16)$$

$$\text{на згин} \quad R_{U15} = \frac{186000}{h_{cp} - 0,443} + 3420, \quad (\text{МПа}), \quad (1.17)$$

$$\text{об'ємна вага} \quad \gamma_{15} = \frac{10760}{h_{cp} - 0,443} + 268, \quad (\text{кг/м}^3), \quad (1.18)$$

де h_{cp} у формулах визначається в мм.

Питання для самоконтролю

1. Як класифікуються будівельні сталі?
2. Які існують методи випробовування сталі для будівельних конструкцій?
3. В чому полягає суть випробовування сталі на розтяг? Які готують зразки?
4. В чому полягає суть способу визначення твердості металу за Бринелем?
5. Яка суть випробовування сталі на ударну в'язкість?
6. Як готують зразки для визначення міцності бетону?
7. Які існують методи випробовування дерев'яних конструкцій?
8. Які необхідні зразки при випробовуванні деревини?
9. Як визначити вологість деревини?
10. Поясніть як визначається міцності деревини вогнепальним методом Кашкарова?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 6

ЕЛЕКТРОТЕЗОМЕТРИЧНИЙ МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ ДЕФОРМАЦІЙ. ЕЛЕКТРИЧНІ ТЕНЗОМЕТРИ ТА ЇХ ТАРУВАННЯ

6.1. Загальні відомості

Важливою задачею експериментальних досліджень є визначення напруженого стану будівельної конструкції, їх окремих елементів чи вузлів у процесі впливу силових або інших експлуатаційних факторів. Вимірювання напружень можливо тільки непрямым шляхом - через вимірювання деформацій матеріалу. Прилади, призначені для вимірювання місцевих фібрових деформацій, називаються *тензометрами*. Тензометри повинні мати високу чутливість, швидку і надійну установку, можливість дистанційного керування, широкий діапазон вимірювання тощо. Найбільш універсальним тензометром, що відповідає перерахованим вимогам, є дротяний тензодатчик опору або *тензорезистор* (рис. 6.1).

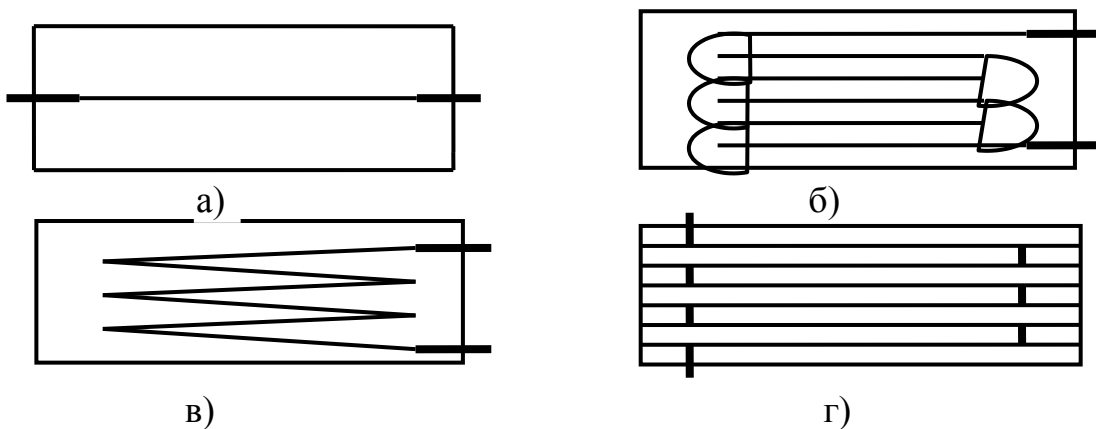


Рисунок 6.1 - Основні типи дротяних тензорезисторів

6.2. Основи роботи тензорезисторів

Принцип дії тензорезистора ґрунтується на властивості провідників та напівпровідників змінювати свій омичний опір при деформуванні. Це явище називається *тензоефектом*. Зміна омичного опору дротяного датчика відбувається в результаті зміни геометричних розмірів дроту при деформації. При деформуванні матеріалу конструкції тензорезистор, жорстко закріплений на поверхні, сприймає ці деформації. При цьому відбувається відносна зміна довжини провідника $\Delta l/l$, омичного опору $\Delta R/R$ і площі поперечного перерізу. Опір провідника R прямо пропорційний його довжині l , питомому опору ρ та протилежно пропорційний площі перерізу A

$$R = l \cdot \rho / A, \quad (6.1)$$

Таким чином, при розтягу дроту опір тензорезистора збільшується, а при стиску - зменшується.

Основною характеристикою тензорезистора є коефіцієнт тензочутливості K , який дорівнює відношення відносної зміни опору провідника до його відносної деформації:

$$K = (\Delta R / R) / (\Delta l / l), \quad (6.2)$$

де, $\Delta l / l = \varepsilon$ відносна деформація матеріалу конструкції в місці установки тензорезистора.

Таким чином, вимірювання деформації зводиться до визначення величини відносної зміни опору провідника тензорезистора, що здійснюється за допомогою високочутливої апаратури

$$\varepsilon = (\Delta R / R) / K. \quad (6.3)$$

Коефіцієнт тензочутливості K визначають за допомогою тарування тензорезисторів.

Ідеальний провідник для тензорезистора повинен мати високу тензочутливість, високий питомий опір та низький температурний коефіцієнт опору (ТКО). Для виготовлення тензорезисторів використовується дріт із сплавів з високим питомим омичним опором ρ , таких як константан, едванс, елінвар т. ін. діаметром до 30 мкм.

6.3. Типи тензорезисторів

Найпростішим тензорезистором є лінійний провідник, по всій довжині закріплений на досліджуваній поверхні матеріалу (рис.6.1, а), такі тензорезистори можуть застосовуватися лише в спеціальних випадках, тому що значення їхнього омичного опору невелика (60-70 Ом), і для виміру зміни опору при деформації потрібно дуже чутлива вимірювальна апаратура.

Дротяні тензорезистори з зигзагоподібними решітками (рис. 6.1, б і 6.1, в) є найбільш поширеним типом тензорезисторів. Такі типи решіток забезпечують достатній номінальний омичний опір при невеликій довжині тензорезистора. Недоліком петльових дротяних тензорезисторів є їх поперечна тензочутливість, тобто додаткова зміна омичного опору, викликана деформацією петель у напрямку, перпендикулярному головній осі тензорезистора. Із зменшенням бази (довжини) тензорезисторів та збільшенням числа петель зростає погрішність виміру деформацій вздовж осі тензорезистора.

Основна перевага тензорезисторів безпетльового типу (рис. 6.1, г) - відсутність поперечної чутливості. Сприймаюча решітка утворена пучком паралельних дротів, замкнутих попарно мідними низькоомними перемичками, що практично виключає ефект поперечної чутливості.

Фольгові тензорезистори (рис. 6.2) виготовляють фотолітографічним способом із константанової фольги товщиною 2-5 мкм. Основою служить тонка полімерна плівка. Перевагами фольгових тензорезисторів є низька поперечна тензочутливість за рахунок збільшення площі петель, висока технологічність виготовлення і отримання чутливих елементів будь-якої форми з базою до 0,5 мм.

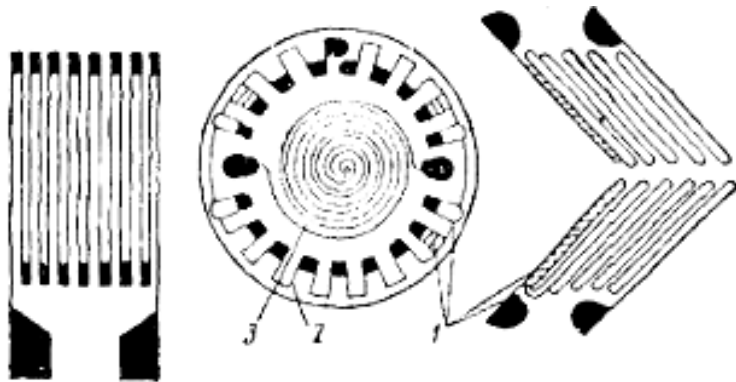


Рисунок 6.2 - Фольгові тензорезистори

Напівпровідникові тензорезистори виготовляють з монокристалів кремнію або германію з розмірами бази 2-15 мм. Головною перевагою таких тензорезисторів є висока тензочутливість, яка перевищує чутливість дротяних приблизно в 50-60 разів. Серед недоліків напівпровідникових тензорезисторів слід відзначити температурну нестабільність, залежність чутливості від рівня деформації та обмежений діапазон вимірювання. Найбільш доцільним є використання цих тензорезисторів в простих та компактних вимірювальних пристроях.

6.4. Реєструюча апаратура

Вихідним сигналом тензорезистора є відносна зміна його омичного опору $\Delta R/R$ при дуже низькому значенні $\Delta R \cong 10^{-4} \dots 10^{-5}$ ом. Таку незначну зміну опору можливо зареєструвати тільки за допомогою спеціальних електричних схем. Найбільш поширеною в електротензометрії є мостова схема Уїтстона (рис. 6.3).

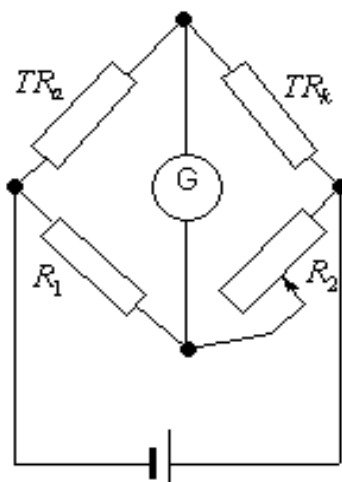


Рисунок 6.3 – Мостова схема вимірювання показників тензорезисторів:

TR_a – активний (робочий) тензорезистор; TR_k – компенсаційний тензорезистор;
 R_1 та R_2 – опори приладу, один з яких змінний; G – гальванометр

Міст Уїтстона складається з джерела струму, чотирьох пліч з омичними опорами, діагоналі з підсилювачем і приладом для реєстрації струму.

Тензорезистор TR_a , закріплений на поверхні випробуваного елемента, називається активним і складає одне плече моста. Компенсаційний тензорезистор TR_k складає друге плече моста і кріпиться на недеформований елемент із того ж матеріалу, що і випробувана конструкція. Це забезпечує температурний баланс в контурі моста і не викликає додаткового струму в діагоналі моста. Умовою балансу моста є рівність потенціалів діагоналей моста $U_a = U_c$, що забезпечується при рівних опорах активного (робочого) тензорезистора TR_a і компенсаційного тензорезистора TR_k . При такому співвідношенні струм у діагоналі моста відсутній ($I_q = 0$). При деформації матеріалу в місці установки робочого тензорезистора його омичний опір зміниться на значення $\pm \Delta R$. Баланс моста порушується й у діагоналі з'являється струм ($I_q \neq 0$), який реєструється вимірювальною апаратурою. В апаратурі сила струму перетворюється в зручну для сприйняття чи обробки форму.

Мостові схеми реєстрації деформацій покладені в основу роботи вимірювальних приладів типу АВД-4 (автоматичний вимірювач деформацій), ТК-2 (автоматичний тензометричний реєстратор з дискретним виходом), та ін.

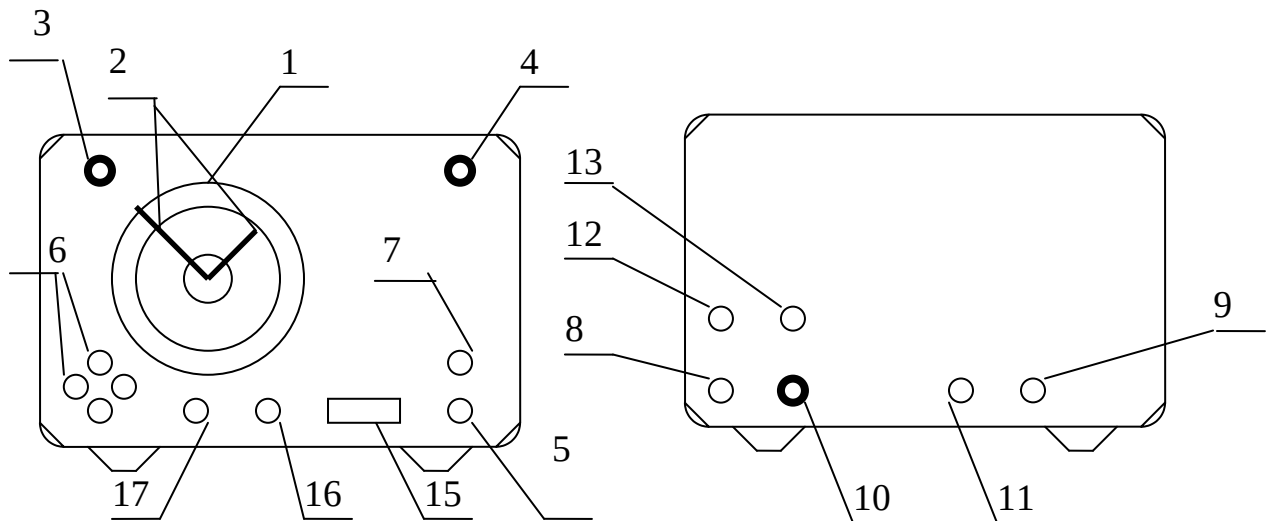


Рисунок 6.4 - Схема автоматичного вимірювача деформацій (АВД-4):

1- шкала; 2- відлікові стрілки; 3- індикатор фазування; 4- ручка регулювання балансу моста по фазі; 5- вимикач живлення; 6- клеми для підключення тензорезисторів чи перемикача; 7- клемма для заземлення приладу; 8- вилки живлення приладу із запобіжником; 9- ручка регулятора підсилювача; 10- перемикач напруги мережі; 11- перемикач напруги живлення моста; 12, 13- ручки регулювання масштабу шкали; 15- клеми для переходу на вимірювання з зовнішніми напівмостами (магазинами опорів); 16- кнопка; 17- тумблер.

Відлік за шкалою прилада АВД-4 (рис. 6.4.) ведеться за двома стрілками: коротка стрілка показує сотні, а довга - десятки та одиниці. Максимальне значення відліку становить 999.

Перед початком роботи проводиться тарування реєструючих приладів, тобто визначається ціна поділки шкали і при необхідності корегується до необхідних зручних значень. При таруванні в якості активного R_a й

компенсуючого R_k тензорезисторів використовують магазини опорів, які дозволяють встановлювати необхідний омичний опір з точністю до 1 Ома. Схема підключення магазинів опорів приведена на рисунку 6.3.

Під час проведення експерименту на досліджувальній конструкції розміщують велику кількість тензорезисторів. В таких випадках доцільно використовувати реєстраційну установку з одним вимірювальним мостом і комутуючим пристроєм для почергового підключення будь-якого числа активних тензорезисторів. Схема групової комутації тензорезисторів, що використовуються в сучасних установках показана на рис. 6.5. Перевагою схеми групової комутації тензорезисторів є економність схеми - на декілька активних тензорезисторів приходить один компенсаційний. Недоліками можна вважати незначну зміну значень опорів контактів Π_1 і Π_2 і те, що компенсаційний датчик постійно знаходиться під струмом. Область застосування таких комутаторів при випробуванні масштабних моделей та натурних конструкцій.

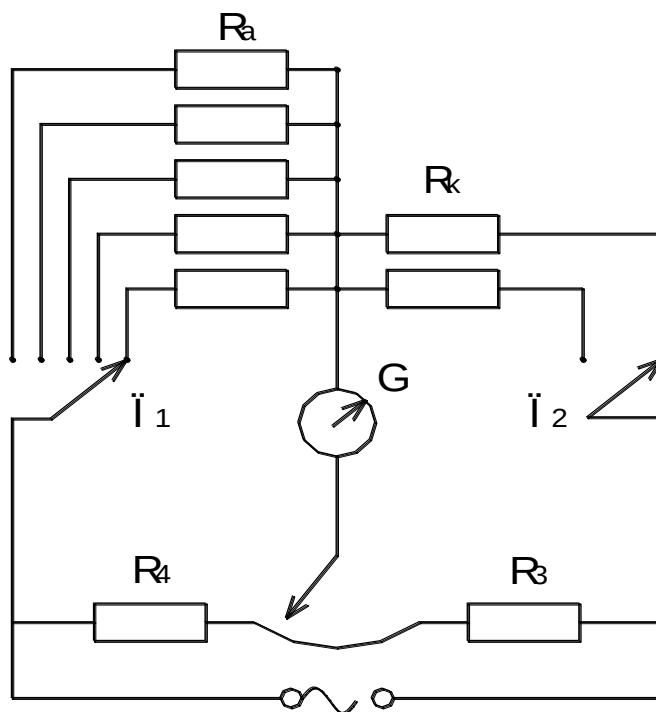


Рисунок 6.5 - Схема групової комутації тензорезисторів

6.5. Основні характеристики тензорезисторів. Визначення коефіцієнта тензочутливості

При атестації тензорезисторів визначають до 14 характеристик: омичний опір R , коефіцієнт тензочутливості K , повзучість, гістерезис, вплив температури тощо. Оскільки всі тензорезистори не можуть бути індивідуально перевірені, їх тарують вибірково (5-10% від партії).

При визначенні коефіцієнта тензочутливості (6.2) величина ϵ задається тензорезистору за допомогою тарувальної балки, а відносна зміна опору $\Delta R/R$

реєструється приладом мостового типу. Тарувальна балка у вигляді консолі рівного опору показана на рисунку 6.6.

Основна властивість *балки рівного опору* полягає в тому, що деформації мають однакове значення на всій довжині прольоту балки. Таким чином постійна деформація поверхні балки служить еталонним значенням при порівнянні з показниками тензорезисторів, що таруються.

Фіброва деформація балки, визначена за законом Гука становить

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{M/W}{E}. \quad (6.4)$$

Після перетворень маємо наступну залежність

$$\varepsilon = \frac{6 \cdot F \cdot L}{B \cdot t^2 \cdot E}, \quad (6.5)$$

де F - навантаження на консоль;

L/B - постійне для даної балки відношення;

t - товщина балки.

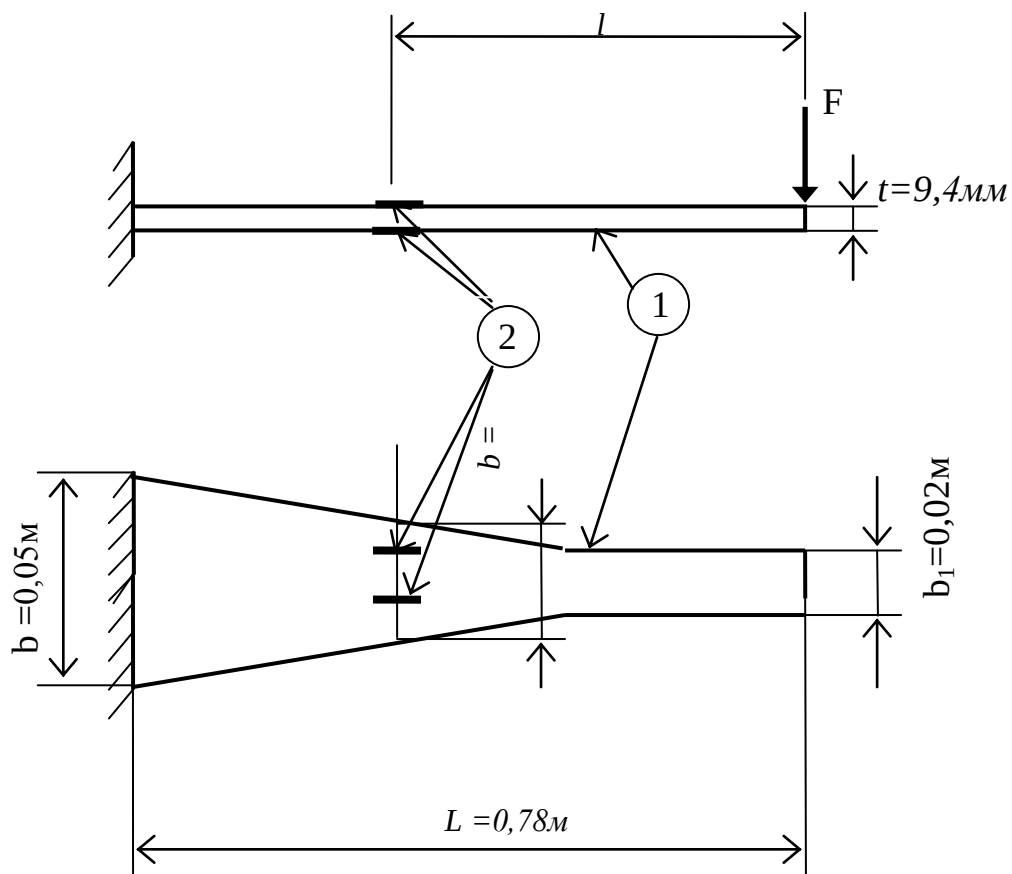


Рисунок 6.6 - Тарувальна балка рівного опору:
1- сталева балка; 2- тензорезистори, що випробовуються

Для виміру відносної зміни омичного опору $\Delta R/R$ тензорезистори наклеюють на поверхню балки на довільній відстані l і послідовно підключають до вимірювального ланцюга реєстраційного приладу. Балку

навантажують ступенями. Для кожного тензорезистора по формулі (6.2) визначають коефіцієнт тензочутливості при заданому значенні деформації.

Питання для самоконтролю:

1. Яке призначення тензометрів (тензорезисторів) ?
2. В чому полягають основи роботи тензорезисторів?
3. На які типи поділяються тензорезистори?
4. Як працює реєструюча апаратура ?
5. Поясніть роботу мостової схеми Уїтстона?
6. Які основні характеристики тензорезисторів?
7. Як визначити коефіцієнт тензочутливості?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 7

СТАТИЧНЕ ВИПРОБОВУВАННЯ КРОКВЯНОЇ ФЕРМИ

7.1. Загальні вказівки

При теоретичному аналізі напружено-деформованого стану кроквяних конструкцій фактичні властивості матеріалу й дійсну геометричну схему конструкції замінюють ідеалізованими матеріалами і розрахунковою схемою конструкції. Це стосується і натурних конструкцій і моделей. Тому фактична робота конструкцій під навантаженням відрізняється від розрахункових припущень, неточність яких можна виявити порівнянням теоретичних результатів з даними експериментальних досліджень.

Аналітичний розрахунок ферм допускає, що у вузлах системи розташовані шарніри, осі всіх стержнів прямолінійні, розміщені в одній площині і перетинаються в центрі вузла. В стержнях такої ідеальної системи виникають тільки на осьові зусилля й нормальні напруження розподіляються рівномірно по перерізу елемента.

Але в реальних конструкціях виникають додаткові напруження від моментів через порушення центрування в вузлах ферми та викривлення окремих елементів. Тому стержні ферм працюють на позacentровий стиск чи позacentровий розтяг. Крім цього в елементах ферм виникають додаткові напруження від жорсткості вузлів. Теоретичними розрахунками ці додаткові напруження не враховуються, але іноді можуть впливати на напружений стан елементів.

Найбільш помітно додаткові напруження проявляються ближче до середини довжини стержнів кроквяної ферми. Зафіксувати їх можливо за допомогою електротензометричних вимірювань.

Дійсну несучу здатність усієї ферми й окремих її елементів можна визначити тільки експериментальним дослідженням.

Таким чином, метою проведення експериментального дослідження кроквяної сталеної ферми є:

- визначити дослідні значення переміщень, деформацій, напружень і зусиль, що виникають у досліджуваних елементах конструкції;
- набути досвід по установці і використанню приладів, запису й обробці отриманих експериментальних даних;
- показати, як на підставі порівняння експериментальних величин напружень та прогинів з їхніми теоретичними значеннями можна отримати дані про дійсну роботу конструкції;
- виконати порівняння експериментальних і теоретичних значень зусиль.

Експериментальні дослідження проводяться на сталевій зварній фермі прольотом 14,5 м, встановленій на випробувальному стенді кафедри КМДіП. Перерізи елементів ферми виконані з парних кутиків. Для забезпечення стійкості з площини ферма розкріплена тяжами до стіни і спеціальним стійкам.

Геометрична схема ферми з нумерацією вузлів показана на рисунку 7.1, загальний вигляд випробувального стенду – на фото 7.1.

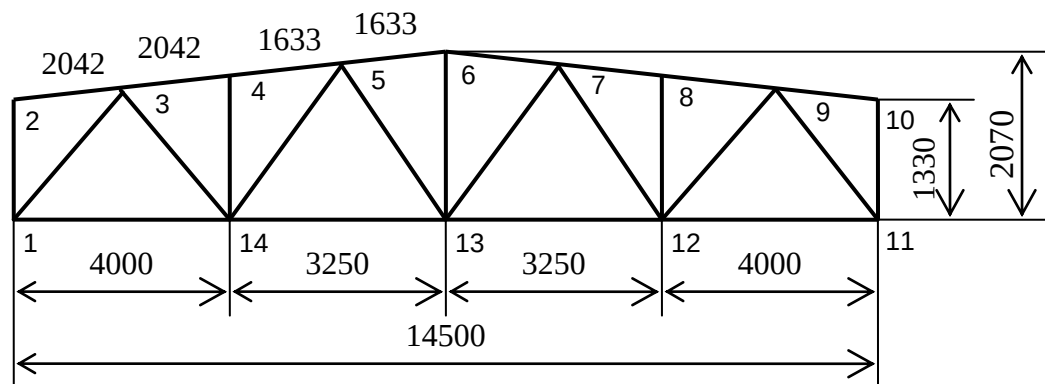


Рисунок 7.1 - Геометрична схема ферми



Фото 7.1 - Загальний вигляд стенду для випробування ферми



Фото 7.2 - Гідравлічний домкрат з траверсою для завантаження ферми





Фото 7.3 – Багатоканальний тензометричний комплекс для вимірювання деформацій «ВМП-8»

7.2. Обстеження кроквяної ферми

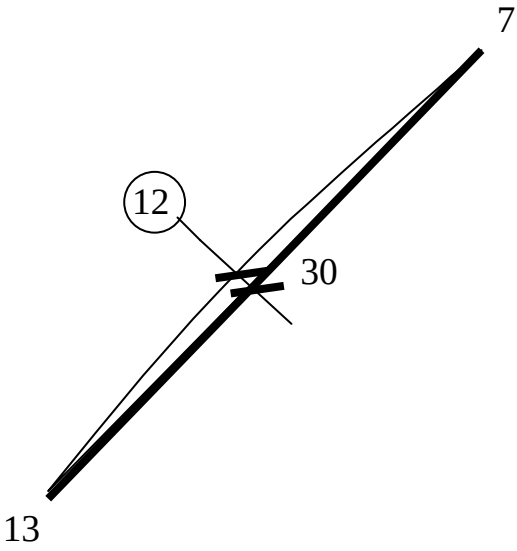
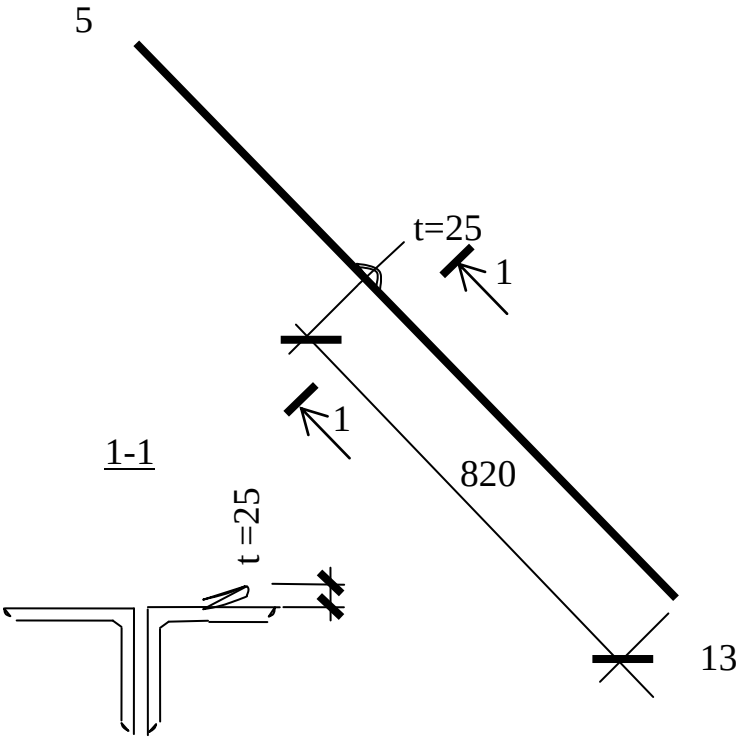
Обстеження є важливою складовою частиною комплексу робіт по оцінюванню технічного стану конструкцій. Метою обстеження є встановлення реальної несучої здатності й експлуатаційної придатності будівельних конструкцій для визначення їх надійності та необхідності підсилення або реконструкції. Питання обстеження металевих конструкцій регламентуються ДБН 362-92.

В ході лабораторної роботи проводиться візуальне обстеження сталюї необхідність та можливість підсилення. кроквяної ферми, оцінюється її загальний стан, а також визначається Особливу увагу слід звернути на наступні дефекти та пошкодження: викривлення окремих елементів ферми; місцеві вм'ятини та викривлення; тріщини; ушкодження корозією; якість зварних та болтових з'єднань

При проведенні обстеження ферми усі виявлені дефекти та пошкодження заносяться у відповідну відомість дефектів. Приклад оформлення виявлених дефектів й пошкоджень наведено в табл.7.1.

Таблиця 7.1 - Відомість дефектів

№ дефе кту	Вісь / вузол	Описання дефекту. Ескіз	Підсилення
1	2	3	4
1	11	Корозійні пошкодження ряду елементів ферми до 20% поперечного перетину	Обмеження несучої здатності ферми

1	2	3	4
2	11	Відсутність прокладок («сухариків») загалом до 15%	Встановити відсутні прокладки
3	11	 Загальний прогин 30 мм елементу 7-13 із площини ферми в сторону вісі 12 (в площині загальні прогини показуються суцільною лінією)	Необхідно виконати підсилення
4	11	 Місцевий прогин полицки елементу 5-13 на 25мм	Потрібно виконати підсилення

За результатами обстеження робляться висновки щодо можливості подальшої експлуатації ферми, обмеження її несучої здатності з вказаних причин, вказівки про необхідність підсилення елементів конструкції і заходи по захисту конструкцій від зовнішніх впливів тощо.

7.3 Теоретична частина

У таблиці 7.2 наведені результати статичних розрахунків на міцність кроквяної ферми від одиничних навантажень. Розрахунки виконано за допомогою ПЕОМ по програмі "OSCAR" для фактичних перерізів ферми. Для різних варіантів завантаження визначені поздовжні сили N у стержнях ферми й осьові напруження σ_{oc} . Переміщення ферми f_m від одиничних навантажень при тих же завантаженнях наведені в таблиці 7.3.

Таблиця 7.2 - Теоретичні зусилля і осьові напруження від одиничних навантажень

Положення елемента для різних схем завантаження	Елемент ферми	Зусилля N _i (кН) для схеми навантаження				Переріз	Площа A, см ²	Моменти інерції, см ⁴		Напруження σ _{ос} (кН/см) при схемі завантаження			
		1	2	3	4			I _x	I _y	1	2	3	4
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Верхній пояс	3-4	-2,5	-3,46	-1,15	-4,62	2L130x90x10	42,6	286	1648	0,092	0,130	0,042	0,17
	4-5	-2,5	-3,46	-1,15	-4,62					0,054	0,108	0,065	0,172
	5-6	-1,46	-2,92	-1,76	-4,67								
Нижній пояс	1-14	2,07	2,6	0,65	3,26	2L100x75x10	33,4	157	783	0,062	0,078	0,019	0,098
	14-13	1,63	3,15	1,48	4,63					0,058	0,094	0,044	0,139
Розкоси і стійки	1-3	-2,6	-3,27	-0,82	-4,09	2L120x80x8	31,2	165	104	0,160	0,200	0,050	0,252
	3-14	0,54	1,06	0,63	1,68	2L60x6	13,8	46,3	11,4	0,039	0,077	0,046	0,122
	4-14	-0,99	-0,99	0,00	-0,99					0,104	0,104	0,000	0,104
	5-14	0,86	0,45	-0,50	-0,05					0,062	0,033	0,036	0,004
	5-13	-0,74	-0,38	0,41	0,03					0,118	0,061	0,066	0,005
	6-13	0,29	0,56	-0,63	-0,05	2L60x6	13,8	19,5		0,021	0,040	0,046	0,004

Таблиця 7.3 - Переміщення ферми f_m від одиничних навантажень ($F=1$)

Номер точки	Переміщення для схеми завантаження, см			
	1	2	3	4
14	0,008	0,013	0,005	0,017
13	0,007	0,014	0,007	0,021

По максимально напруженому елементу можна визначити найбільше теоретичне навантаження на вузол ферми із умови міцності

$$F_{max} = \sigma_y / \sigma_{oc}^T \quad (7.1)$$

де σ_y - межа текучості сталі ферми, визначена за результатами механічних досліджень зразків матеріалу ферми;

σ_{oc}^T - теоретичне значення осьового напруження в елементі ферми (табл. 7.2).

За максимальним теоретичним прогином можна визначити найбільше теоретичне навантаження на вузол ферми із умови жорсткості

$$F_{max} = f_T / f'_T \quad (7.2)$$

де f_T - максимальний теоретичний прогин ферми;

f'_T - максимальний прогин ферми від одиничного навантаження (таблиця 7.3).

За теоретичну несучу здатність ферми приймають менше з двох отриманих F_{max} і призначають 3-4 ступені навантаження ферми під час проведення випробування до значення, що не перевищує $0,5F_{max}$.

7.4 Експериментальна частина

Експериментальні випробування проводять після того, як отримані всі дані першого етапу дослідження: проведено обстеження конструкції; виконані перевірочні розрахунки; визначені теоретичні значення контрольованих навантажень.

До початку випробувань перевіряють основні перерізи, нумерацію та прив'язку наклеєних на них тензодатчиків (рис. 7.2, 7.3).

Завантаження ферми здійснюється двома насосними станціями за допомогою гідравлічних домкратів. Схеми можливих варіантів завантаження показані на рис. 7.4. Кожний домкрат через траверсу передає навантаження на два вузли (за виключенням схеми №3).

Для контролю за рівнем навантаження на вузли ферми під час проведення експерименту користуються технічним манометром насосної станції, попередньо обчисливши тиск масла (кг/см²) в домкратах при заданих навантаженнях

$$p = \frac{F}{A_{II}},$$

де F - навантаження на домкрат в кг;

A_{II} - площа поршня домкрата в см².

В лабораторній установці використовуються домкрати ДГ-50 з діаметром поршня 125 мм.

Для вимірювання прогинів на ферму встановлено прогиноміри Аистова ПАО-6. Прогиноміри встановлено у точках 13 та 14 (рис.7.1).

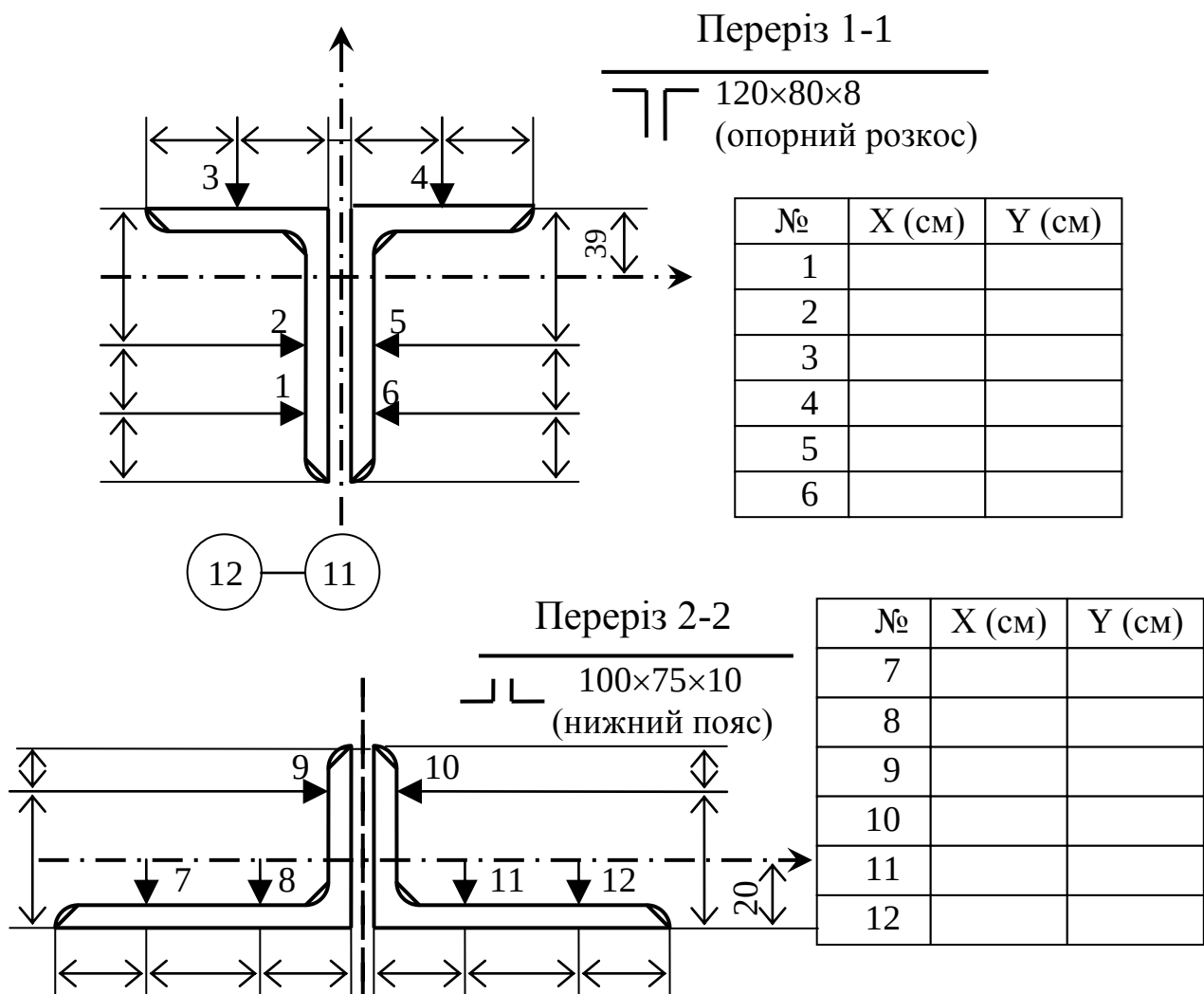
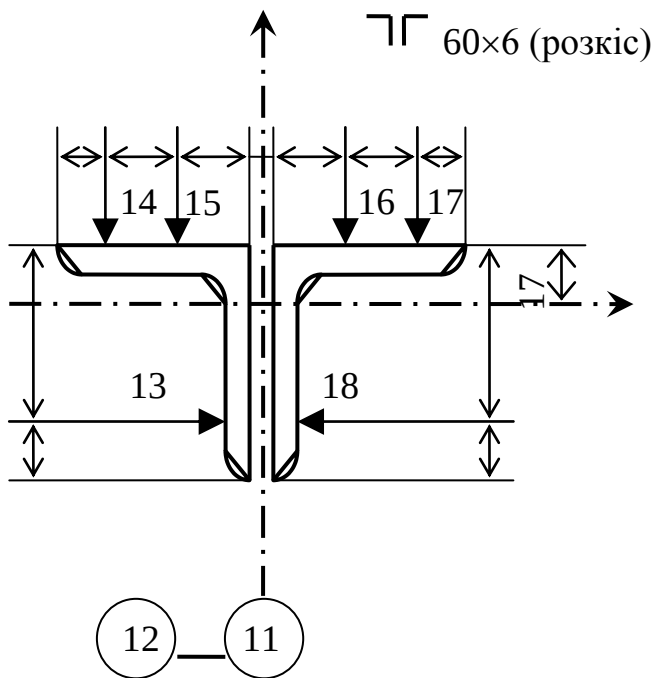


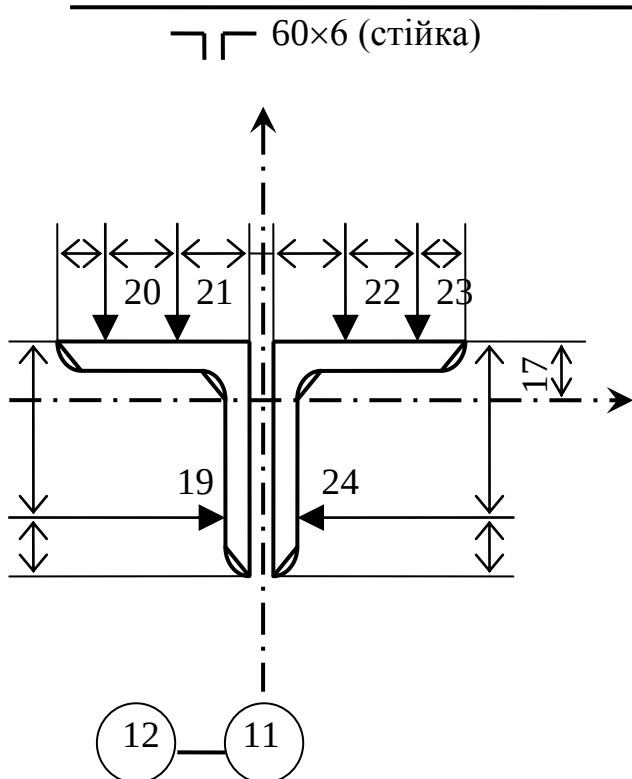
Рисунок 7.2 - Схеми прив'язки тензодатчиків у перерізах, що випробовуються

Переріз 3-3



№	X (см)	Y (см)
13		
14		
15		
16		
17		
18		

Переріз 4-4



№	X (см)	Y (см)
19		
20		
21		
22		
23		
24		

Рисунок 7.3 - Схеми прив'язки тензодатчиків у перерізах, що випробовуються

Вимірювання фібрових деформацій в елементах кроквяної ферми відбувається за допомогою тензорезисторів, які наклеєні на кутики у кількості 3-6 шт на кожний. Відліки деформацій виконуються багатоканальною тензометричною системою ВНП-8 або автоматичним вимірювачем деформацій АД-4. Інструкція по роботі з ВНП-8 наведена у додатку 2.

Експериментальне навантаження на ферму прикладається ступенево. Тривалість витримки конструкції під навантаженням складає 10-15 хвилини на кожній ступені навантаження. В кінці кожного етапу знімають відліки по приладам і результати заносять до журналу лабораторних робіт.

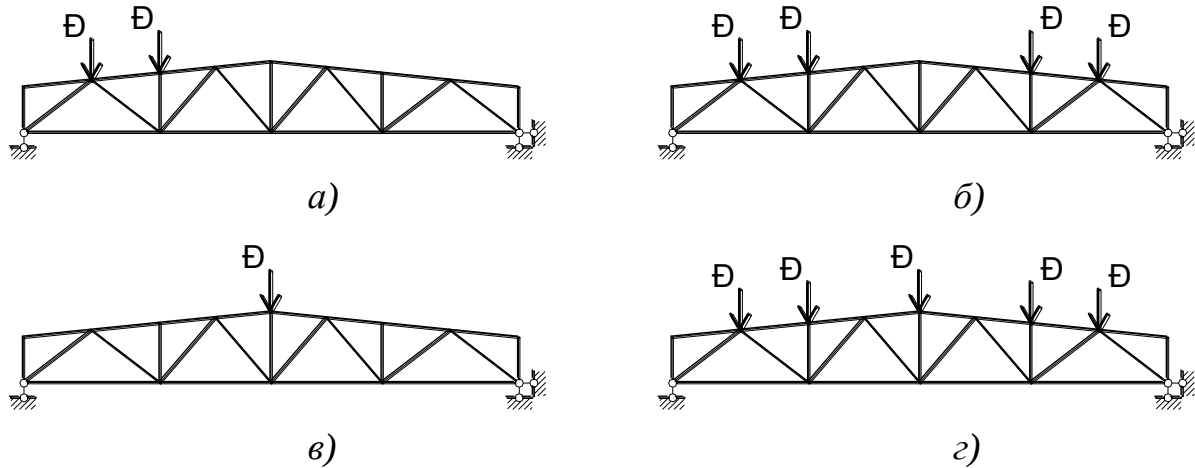


Рисунок 7.4 - Можливі схеми завантаження ферм
а - г – варіанти завантаження ферми

7.5. Визначення зусиль в елементах ферми за виміряними поздовжніми деформаціями

В реальних умовах стержні ферми працюють не тільки на центральний розтяг або стиск, а й на згин в площині та з площини ферми і на кручення. Нормальні напруження визначаються за виразом

$$\sigma_i = \sigma_N + \sigma_x + \sigma_y + \sigma_w = \frac{N}{A} + \frac{M_x}{I_x} \cdot y + \frac{M_y}{I_y} \cdot x + \frac{B_w}{I_w}. \quad (7.1)$$

Компоненти нормальних напружень при врахуванні трьох перших складових виразу (7.1) вираховуються з розв'язання системи рівнянь:

$$\begin{cases} n \cdot a + b \cdot \sum y_i + c \cdot \sum x_i = \sum \sigma_i \\ a \cdot \sum x_i + b \cdot \sum x_i y_i + c \cdot \sum x_i^2 = \sum \sigma_i x_i \\ a \cdot \sum y_i + b \cdot \sum y_i^2 + c \cdot \sum x_i y_i = \sum \sigma_i y_i, \end{cases} \quad (7.2)$$

а при врахуванні тільки двох перших складових - із системи рівнянь:

$$\begin{cases} n \cdot a + b \cdot \sum y_i = \sum \sigma_i \\ a \cdot \sum y_i + b \cdot \sum y_i^2 = \sum \sigma_i y_i, \end{cases} \quad (7.3)$$

де: $a = \frac{N}{A}$; $b = \frac{M_x}{I_x}$; $c = \frac{M_y}{I_y}$; n - кількість тензодатчиків в перерізі.

Розрахунок системи (7.2) виконується на персональному комп'ютері за допомогою програми SLAU (рішення системи лінійних рівнянь за методом Гауса, автор Пащенко А.М.).

Питання для самоконтролю:

1. Яка мета випробовування кроквяної сталюї ферми?
2. В чому полягає обстеження ферми?
3. Які можливі дефекти і пошкодження?
4. В чому полягають статичні розрахунки на міцність кроквяної ферми?
5. Як проводяться експериментальні випробування ферми?
6. Які можливі схеми завантаження ферми при випробуванні?

ЛІТЕРАТУРА

1. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи. Норми проектування. – К.: Мінбуд України, 2006.-60с.
2. ДСТУ Б В.1.2-3:2006. Прогини і переміщення. Вимоги проектування. – К.: Мінбуд України, 2006 -14с.
3. ДБН 362-92. Оцінка технічного стану сталевих конструкцій виробничих будівель і споруд, що знаходяться в експлуатації. / Держбуд України. - Київ, 1995.-44с.
4. ГОСТ 22690.2-77. Рекомендации по определению прочности бетона эталонным молотком Кашкарова. – М.: СИ, 1985. – 24 с.
5. Аистов Н.Н. Испытания сооружений. М.-.:Госстройиздат, 1960.-398 с.
6. Аронов Р.И. Испытания сооружений. М.: Высшая школа, 1974. – 60 с.
7. Борисенко В.Г., Андреев Ф.В. Метрологическое обеспечение строительного производства. Справочник строителя. М.: Стройиздат,, 1990г.
8. П.Ф.Вахненко, О.В.Горик, О.О.Довженко, Є.В.Клименко С.М.Микитенко, А.М.Павліков Метрологія, стандартизація, контроль якості та випробування в будівництві, 2000.– 216 с.
9. Долидзе Д.Е. Испытание конструкций и сооружений. М.: Высшая школа, 1975, 102с.
10. Долговечность стальных конструкций в условиях реконструкции. / Под ред. Е.В.Горохова. – М.:, Стройиздат, 1994. -483с.
11. Лужин О.В. и др. Обследование и испытание сооружений. М.: Стройиздат, 1987.– 301с.
12. Попов Л.Н. Лабораторный контроль строительных материалов и изделий. – М.: СИ, 1986. – 349 с.
13. Малишев О.М. Технічне обстеження та нагляд за безпечною експлуатацією будівель та інженерних споруд. Розробники навчального посібника: О.М.Малишев, В.Д.Віроцький, О.О.Нілов, О.В.Сергійчук, В.С.Бачинський, Н.О.Костира, Л.І. Лавріненко, М.А.Новгородський, за ред.. О.М.Малишева і Державного підприємства «Головний навчально-методичний цент» України, 2007-708с.
14. Калинин А.А. «Обследование, расчет и усиление зданий и сооружений». – М., изд. АСВ, 2002.
15. Кліменко В.З., Белов І.Д. Випробування та обстеження будівельних конструкцій і споруд. – К.: Основа, 2005. -208с.
16. Ренский А.Б., Баранов Д.С., Макаров Р.А. Тензометрирование строительных конструкций и материалов. – М.: СИ, 1977. – 240 с.
- 17.Тетиор А.Н., Померанец В.Н. Обследование и испытание сооружений Киев: Вища школа, 1988. – 304с.
18. Журнал до лабораторних робіт із дисципліни «Метрологія і стандартизація» для студентів 7.092101, 7.092103, 7.092104, 7.092105, 7.120102 „Промислове та цивільне будівництво”, „Міське будівництво та господарство”, „Технологія будівельних конструкцій, виробів і

матеріалів”, „Автомобільні дороги та аеродроми”, „Містобудування” /
Полтава: Полтавський державний технічний університет імені Юрія
Кондратюка, 2013. – 34 с.

Навчально-методичне видання

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт
з курсу “Метрологія і стандартизація” для студентів
напряму підготовки 6.060101 “Будівництво”

Укладачі: викл. Ковальчук Н.В.,
викл. Мезенцева. О.М.,
викл. Труш М.М

Ум. др. арк. 4,6
м. Кіровоград, КНТУ