

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Донбаська державна машинобудівна академія

ОПР МАТЕРІАЛІВ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторних робіт

(для студентів усіх механічних спеціальностей денної форми навчання)

Затверджено
на засіданні методичної ради
Протокол № від 2008 р.

Краматорськ 2008

УДК 599.4

Опір матеріалів : методичні вказівки до лабораторних робіт для студентів усіх механічних спеціальностей / укл.: Овчаренко В.А., Кутовий Л.В. – Краматорськ: ДДМА, 2008. – 80 с.

Методичні вказівки містять стислі теоретичні відомості, методика і послідовність проведення експериментів.

Укладачі:

В.А.Овчаренко, доц.

Л.В.Кутовий, доц.

Відповідальний за випуск

С.В.Подлесний, доц.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
Загальні вказівки до виконання лабораторних робіт	6
1 ВИПРОБУВАННЯ МАЛОВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ НА РОЗТЯГАННЯ	7
1.1 Стислі теоретичні відомості	7
1.1.1 Зразок для випробування	8
1.1.2 Діаграма розтягання	10
1.1.2.1 Ділянка пружності OB.....	11
1.1.2.2 Ділянка загальної текучості CD.....	12
1.1.2.3 Ділянка зміцнення DE	13
1.1.2.4 Ділянка місцевої текучості EF	14
1.1.2.5 Розвантаження та повторне навантаження	15
1.2 Опис випробувальної машини.....	17
1.3 Проведення випробувань та обробка результатів.....	19
1.4 Контрольні запитання	22
2 ВИПРОБУВАННЯ НА СТИСКАННЯ МАЛОВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ ТА СІРОГО ЧАВУНУ	22
2.1 Стислі теоретичні відомості.....	23
2.1.1 Пластичність та пружність.....	23
2.2 Випробування на стискання пластичного матеріалу – маловуглецевої сталі.....	23
2.3 Випробування на стискання крихкого матеріалу – сірого чавуну	25
2.4 Проведення випробувань та обробка результатів	27
2.5 Контрольні запитання	27
3 ВИПРОБОВУВАННЯ НА СТИСКАННЯ АНІЗОТРОПНИХ МАТЕРІАЛІВ	28
3.1 Стислі теоретичні відомості	28
3.2 Опис лабораторної установки.....	29
3.3 Проведення випробувань і обробка даних.....	30
3.3.1 Випробування дерева на стискання уздовж волокон	30
3.3.2 Випробування дерева на стискання упоперек волокон	32
3.4 Контрольні запитання	33
4 ВИПРОБОВУВАННЯ СТАЛІ НА ЗРІЗ.....	33
4.1 Стислі теоретичні відомості	34

4.2	Опис лабораторних установок.....	36
4.2.1	Опис лабораторної установки для випробування сталі на подвійний зріз. Порядок проведення експерименту та опрацювання його результатів.....	36
4.2.2	Опис лабораторної установки для випробування сталі на зріз за периметром пуансона з утворенням отвору в металевій пластині. Порядок проведення експерименту та опрацювання його результатів	38
4.3	Контрольні запитання	39
5	ВИПРОБОВУВАННЯ ДЕРЕВИНИ НА СКОЛЮВАННЯ	40
5.1	Стислі теоретичні відомості	40
5.2	Опис лабораторної установки.....	40
5.3	Контрольні запитання	42
6	ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУЖЕНЬ В СТАЛЬНІЙ БАЛЦІ ПРИ ЗГИНАННІ.....	43
6.1	Стислі теоретичні відомості	43
6.2	Тарування приладу	47
6.3	Проведення вимірювання	51
6.4	Обробка результатів експерименту	53
6.5	Контрольні запитання	54
7	ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИН ЛІНІЙНИХ ТА КУТОВИХ ПЕРЕМІЩЕНЬ ПРИ ЗГИНАННІ КОНСОЛЬНОЇ БАЛКИ	54
7.1	Стислі теоретичні відомості	55
7.2	Опис випробувального приладу	55
7.2.1	Технічна характеристика приладу.....	55
7.2.2	Принцип роботи приладу	56
7.3	Проведення досліджень і обробка даних	57
7.4	Контрольні запитання	58
8	ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИН ПРОГИНІВ ТА КУТІВ ПОВОРОТУ ПЕРЕРІЗІВ БАЛКИ. ДОСЛІДНА ПЕРЕВІРКА ТЕОРЕМИ ПРО ВЗАЄМНІСТЬ РОБІТ ТА ПЕРЕМІЩЕНЬ.....	60
8.1	Опис дослідної установки.....	60
8.1.1	Технічна характеристика	60
8.2	Пристрій установки та її принцип роботи	60
8.3	Проведення випробувань та обробка результатів.....	62

8.4 Контрольні запитання.....	64
9 ВИЗНАЧЕННЯ МОМЕНТА ЗАЦІМЛЕННЯ ОДНОПРОГІННОЇ СТАТИЧНО НЕВИЗНАЧУВАНОЇ БАЛКИ.....	65
9.1 Стислі теоретичні відомості	65
9.2 Опис випробувальної установки	67
9.2.1 Технічна характеристика	67
9.2.2 Конструкція і принцип дії.....	67
9.3 Проведення випробування й опрацювання даних	69
9.4 Контрольні питання.....	70
10 ВИЗНАЧЕННЯ РЕАКЦІЇ ОПОРИ ДВОПРОГІННОЇ СТАТИЧНО НЕВИЗНАЧУВАНОЇ БАЛКИ	71
10.1 Загальні відомості	72
10.2 Проведення випробувань та обробка результатів.....	72
10.3 Контрольні запитання.....	73
11 ДОСЛІДЖЕННЯ КОЛИВАНЬ ДВООПОРНОЇ БАЛКИ	74
11.1 Стислі теоретичні відомості.....	74
11.2 Опис дослідної установки	76
11.3 Проведення роботи та обробка результатів	77
11.4 Контрольні запитання	78
ЛІТЕРАТУРА.....	79

ВСТУП

У даних методичних вказівках наводяться відомості для лабораторних робіт, які виконуються студентами механічних спеціальностей Донбаської державної машинобудівної академії.

ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Опір матеріалів – наука, яка широко використовує експериментальні дані про механічні властивості матеріалів для обґрунтування і застосування розрахунків на міцність, жорсткість і стійкість.

Виконання лабораторного практикуму є обов'язковим етапом вивчення курсу «Опір матеріалів».

Основними цілями лабораторного практикуму є:

1 Ознайомлення студентів з механічними властивостями матеріалів і методами їх дослідження.

2 Дослідне підтвердження фізичної сутності явищ, розглянутих в курсі «Опір матеріалів».

3 Ознайомлення студентів з сучасними експериментальними методами обробки дослідних даних.

4 Здобуття студентами елементарних навиків проведення експериментів.

При виконанні циклу лабораторних робіт студенти знайомляться із спеціальними (випробувальними) машинами, призначеними для дослідження механічних властивостей, лабораторними установками, стендами, вимірювальними засобами.

Достовірність експериментальних даних перш за все залежить від точності використаних прикладів і методів вимірювання. Ось чому вибору вимірювальних засобів і точності вимірювання приділяється велика увага.

Виконання лабораторної роботи складається з трьох основних етапів:

- підготовка до лабораторної роботи;
- проведення експерименту;

– обробка результатів експерименту.

Методичні вказівки призначені забезпечити виконання студентами всіх трьох етапів лабораторної роботи.

Студенти, які показали себе не підготовленими, до роботи не допускаються і відпрацьовують її за окремим графіком.

1 Перед виконанням лабораторної роботи студент повинен:

- а) опрацювати відповідний розділ теоретичного курсу;
- б) вивчити методичні вказівки до лабораторної роботи;
- в) підготувати форму звіту про роботу згідно з додатком;
- г) підготуватись за відповідною темою до поточного контролю знань.

2 Звіт про роботу складається самостійно кожним студентом.

3 До звіту про роботу акуратно вносяться необхідні схеми, ескізи, діаграми для всіх фізичних величин, які характеризують дані досліджень і їх результати, вказуються їх одиниці в міжнародній системі одиниць (СІ).

4 Лабораторна робота вважається виконаною після бесіди з викладачем і підпису ним звіту.

5 При виконанні лабораторних робіт студент повинен точно дотримуватись правил техніки безпеки, з якими він ознайомився на першому занятті.

1 ВИПРОБУВАННЯ МАЛОВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ НА РОЗТЯГАННЯ

***Мета роботи:** вивчити поведінку сталі при розтяганні та визначити механічні характеристики матеріалу: міцність, пластичність та в'язкість.*

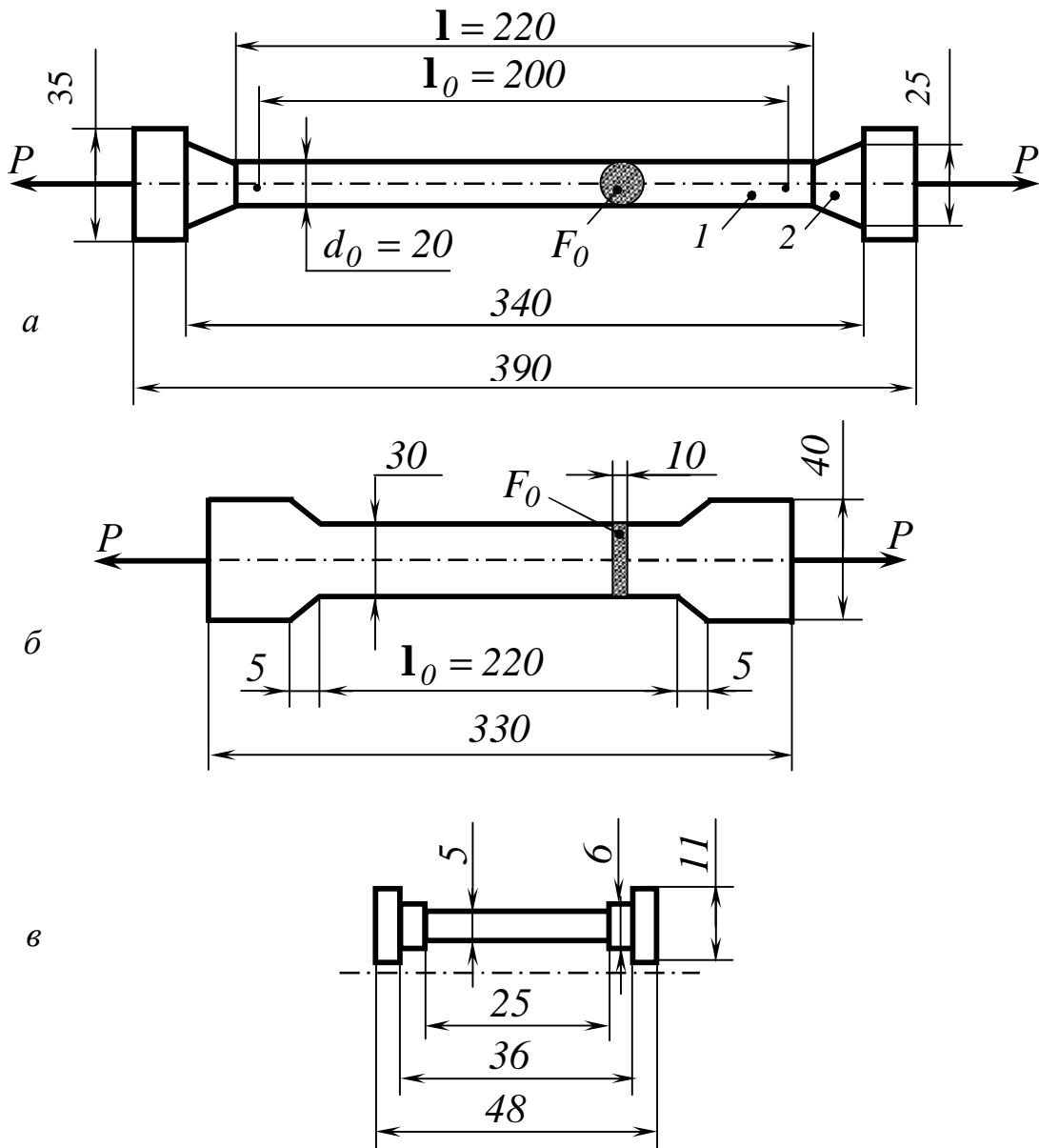
1.1 Стислі теоретичні відомості

Для проведення випробування на розтягання необхідні: зразок для випробувань та випробувальна машина, яка навантажує зразок, вимірює зусилля та деформацію.

1.1.1 Зразок для випробування

Для випробувань на розтягання виготовляють спеціальні зразки, з яких найчастіше використовують циліндричні (рис. 1.1, а).

Зразок (див. рис. 1.1) повинен мати таку форму, щоб в межах заданої ділянки напружений стан був лінійним. Ця ділянка зразка називається робочою частиною. Вона являє собою стрижень l з прямолінійною віссю і перерізом круглої (див. рис. 1.1, а та в) чи прямокутної (див. рис. 1.1, б) форми постійної площі F_0 .



а – круглий стандартний,
б – прямокутний, в – круглий малий
Рисунок 1.1 – Зразки для дослідження

Рівнодіюча сила P з обох кінців повинна бути направлена точно вздовж осі. Для здійснення зазначених умов у випробувальній машині містяться два захоплювача, а на зразку – дві конічні головки 2.

Лінійне розтягання робочої частини зразка довжиною l_0 (див. рис. 1.1, а) дає можливість використати найпростіші формули для розрахунку напруження:

$$S = \frac{P}{F_0}, \quad (1.1)$$

де S – нормальне напруження в поперечному перерізі зразка;

P – зусилля розтягання зразка; F_0 – площа поперечного перерізу.

Стандартний металевий зразок (див. рис. 1.1, а) для випробування на розтягання має довжину циліндричної частини зразка $l = 11d_0$, де d_0 – початковий діаметр зразка.

Довжина $l_0 = 10d_0$ називається розрахунковою (базовою) довжиною зразка.

Широко застосовуються в практиці і малі зразки (див. рис. 1.1, в), як більш дешеві та зручні для виготовлення із заготовок виробів малого розміру.

Для одержання в дослідах порівняних результатів розрахункова довжина круглого зразка приймається рівною $l_0 = 10d_0$ (або $l_0 = 5d_0$).

При випробуванні плоского зразка варто мати на увазі, що для круглого зразка

$$d_0 = \sqrt{\frac{4F_0}{p}} = 1,13\sqrt{F_0},$$

тому розрахункову довжину приймають рівною

$$l_0 = 11,3\sqrt{F_0} \quad (\text{або } l_0 = 5,65\sqrt{F_0}).$$

Як основні використовують зразки з діаметром $d_0 = 10 \text{ мм}$; при цьому робоча довжина $l_0 = 100 \text{ мм}$. Допускається застосування зразків інших діаметрів за умови, що їхня робоча довжина $l_0 = 10d_0$ або $l_0 = 5d_0$. Такі зразки називають *пропорційними*.

1.1.2 Діаграма розтягання

Випробування на розтягання провадиться при статичному навантаженні, тобто збільшення навантаження проводиться від нуля до кінцевого значення поступово без поштовхів та ударів. При статичному випробуванні встановлюється функціональна залежність діючого на зразок навантаження та деформацією. Випробувальна машина дає зразку подовження та показує навантаження, яке відповідає цьому подовженню. Характер діаграми розтягання залежить від властивостей випробуваного матеріалу. На рисунку 1.2 показана типова діаграма розтягання для маловуглецевої сталі.

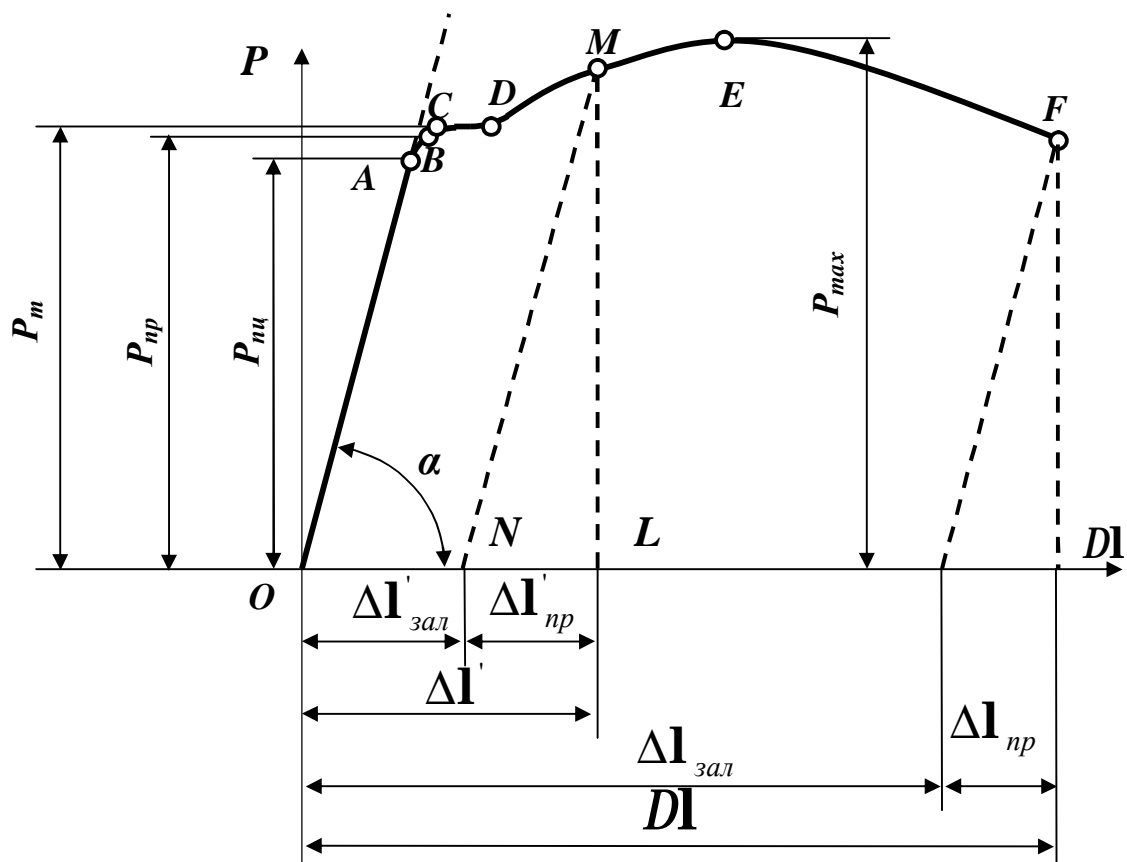


Рисунок 1.2 – Діаграма розтягання зразка із маловуглецевої сталі

За віссю ординат відкладені зусилля розтягання – P , а за віссю абсцис абсолютне подовження (абсолютна деформація) зразка – Dl .

Діаграма розтягання для маловуглецевої сталі умовно може бути поділена на чотири ділянки:

- ділянка пружності – ділянка OB ;
- ділянка загальної текучості – ділянка CD ;
- ділянка зміцнення – ділянка DE ;
- ділянка місцевої текучості – ділянка EF .

Розглянемо їх послідовно.

1.1.2.1 Ділянка пружності OB

Від початку навантаження до деякого значення, яке відповідає точці A на діаграмі, функціональна залежність зусилля розтягання P від деформації Dl окреслюється прямою OA . На цій стадії розтягання справедливий закон Гука.

Ця початкова залежність характеризується величиною $tg a$, де a – кут між прямою OA і подовжньою віссю.

Точка A (див. рис. 1.2), в якій закон пропорційності припиняє свою дію, відповідає силі P_{nc} , яка використовується для визначення *границі пропорційності*.

Границею пропорційності S_{nc} називається напруження, після якого порушується закон Гука.

Границя пропорційності обчислюється за формулою

$$S_{nc} = \frac{P_{nc}}{F_0}, \quad (1.2)$$

де F_0 – початкова площа перерізу зразка.

Деформація називається пружною, якщо вона повністю зникає після розвантаження зразка (деталі, конструкції).

Доки сила P не досягає певного значення, доти спричинені нею деформації будуть зникати при розвантаженні. При цьому процес розвантаження зобразиться тією же самою лінією, що й навантаження.

Позначимо через P_{np} найбільше значення сили, при якому зразок ще не дає при розвантаженні залишкової деформації. Ця сила використовується для визначення *границі пружності* і їй на діаграмі (див. рис. 1.2) відповідає точка B , а пружній стадії розтягання зразка – ділянка OB .

Границею пружності S_{np} називається найбільше напруження, до якого залишкових деформацій при розвантаженні не виявляється:

$$S_{np} = \frac{P_{np}}{F_0}. \quad (1.3)$$

Границя пружності є характеристикою, не пов'язаною із законом Гука. Точка B може бути як вище, так і нижче від точки A . Ці точки діаграми, які відповідають границям пропорційності S_{nc} і пружності S_{np} , близькі одна до одної, і, як правило, різницею між ними нехтують.

1.1.2.2 Ділянка загальної текучості CD

При подальшому розтяганні після точки A діаграма розтягання стає криволінійною і плавно підіймається до точки C , де спостерігається перехід до горизонтальної ділянки CD , що називається *полочка плинності*. На цій стадії розтягання подовження зразка зростає при постійному значенні розтягуючої сили, яку позначають P_m . Такий процес деформації, що його називають текучістю матеріалу, супроводжується залишковими (пластичними) деформаціями, які не зникають після розвантаження.

Отже, *границею текучості* S_T зветься найменше напруження, при якому деформація зразка відбувається при постійному розтягуючому зусиллі. Границя текучості визначається за формулою

$$S_m = \frac{P_m}{F_0}. \quad (1.4)$$

Поличка плинності CD типова тільки для маловуглецевої сталі та деяких сплавів, однак вона не властива більшості металів. Для високовуглецевих сталей, які не мають полички плинності (рис. 1.3, а), границя текучості приймається умовно: відповідно напруженню, при якому залишкове подовження зразка складає $0,2\%$ чи $0,5\%$ його довжини і визначається відповідно $S_{0,2}$ та $S_{0,5}$.

Для визначення зусилля $P_{0,2}$, яке використовується для визначення умовної границі текучості, треба відкласти за віссю абсцис у відповідному масштабі величину $Dl_{0,2} = 0,02l_0$ (див. рис. 1.3, а), провести похилу лінію KC , паралельну OA , і означити на діаграмі розтягання точку C .

Границя умовної текучості обчислюється за формулою

$$S_{0,2} = \frac{P_{0,2}}{F_0}. \quad (1.5)$$

Розрізняють дві границі текучості: верхню P_m^e та нижню P_m^H . Протягом усього періоду текучості навантаження може злегка коливатися. З властивостями матеріалу більше зв'язана нижня границя текучості, що відповідає навантаженню P_m^H (див. рис. 1.3, б), тому його і варто визначати.

1.1.2.3 Ділянка зміцнення DE

Після стадії текучості матеріал знову набирає здатності збільшувати опір подальшому деформуванню і сприймає зусилля, що зростає до якоїсь границі. Цьому відповідає ділянка DE , що зветься ділянкою зміцнення. Точка E відповідає найбільшому зусиллю P_{max} , яке може сприймати зразок.

Напруження, що відповідає максимальній силі P_{max} , називається тимчасовим опором, або границею міцності, і позначається $S_{мі}$.

Границя міцності обчислюється за формулою

$$S_{мц} = \frac{P_{max}}{F_0}. \quad (1.6)$$

Границя міцності $S_{мц}$ є умовною, тому що в момент досягнення найбільшого зусилля P_{max} дійсна площа перерізу зразка дещо менша, ніж F_0 . Для того, щоб визначити *дійсну границю міцності* $S_{мц}^{\delta}$ треба крім сили P_{max} визначити дійсну величину перерізу F_E :

$$S_{мц}^{\delta} = \frac{P_{max}}{F_E}, \quad (1.7)$$

де F_E – найменший переріз зразка при зусиллі P_{max} .

1.1.2.4 Ділянка місцевої текучості EF

До точки C (див. рис. 1.2) подовження зразка розподіляються рівномірно за всією довжиною зразка, а площі поперечних перерізів його розрахункової частини змінюються неістотно і також рівномірно за всією довжиною. Тому для обчислення $S_{мц}$, $S_{пр}$, S_m та $S_{мц}$ у розрахункових формулах використовується початкове значення площі перерізу F_0 .

Після досягнення зусилля P_{max} при дальшому розтяганні зразка, деформація відбувається в основному на невеликій довжині зразка. Це призводить до утворення місцевого звуження у вигляді “шийки” (рис. 1.3) і до зменшення сили $P_{роз}$, незважаючи на те, що напруження у перерізі “шийки” безперервно зростає.

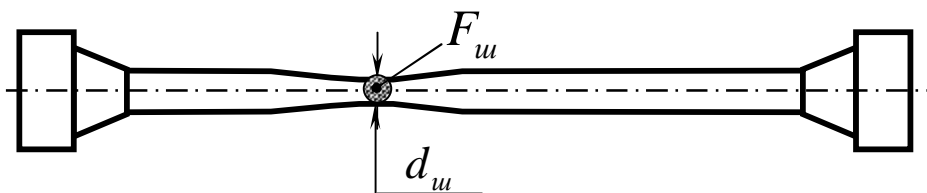


Рисунок 1.3 – “Шийка” – місцеве звуження зразка

Позначивши через $P_{роз}$ силу в момент розриву, можемо знайти умовне напруження в момент розриву:

$$S_{роз}^{ум} = \frac{P_{роз}}{F_0}. \quad (1.8)$$

Це напруження умовне, тому що дійсна площа поперечного перерізу (площа шийки $F_{ш}$, див. рис. 1.3) менша, ніж розрахункова площа F_0 .

Дійсне напруження в момент розриву $S_{роз}^{\delta}$ є тим найбільшим нормальним напруженням в перерізі “шийки” зразка, яке він може витримати при руйнуванні.

Таким чином, дійсне напруження в момент розриву можна знайти за формулою

$$S_{роз}^{\delta} = \frac{P_{роз}}{F_{ш}}, \quad (1.9)$$

де $F_{ш}$ – найменший переріз зразка в місці розриву по “шийці”.

Основними характеристиками пружності та міцності матеріалів, що використовуються у практичних розрахунках, є границі пружності $S_{пр}$, текучості S_m та міцності $S_{мі}$. Для маловуглецевої сталі, що має полицку плинності, наприклад для сталі Ст2, ці характеристики знаходяться у межах:

$$S_{пр} = 180...200 \text{ МПа}, \quad S_m = 220...260 \text{ МПа},$$
$$S_{мі} = 340...420 \text{ МПа}.$$

1.1.2.5 Розвантаження та повторне навантаження

Як уже зазначалось, якщо розвантажити зразок при напруженнях не вище за границю пружності $S_{пр}$, то процес розвантаження зобразиться на діаграмі лінією, яка практично збігається з лінією навантаження. Повторне навантажування піде тією самою лінією OB , яку одержали при першому навантажуванні зразка.

Коли зразок навантажити наприклад до напруження, зображеного ординатою точки M (див. рис. 1.2), яке розташоване на ділянці зміцнення DE , то лінія розвантаження MN пройде паралельно прямолінійній ділянці OA .

При розвантаженні подовження DI' зразка (див. рис. 1.2) зникає не повністю. Воно зменшується на величину пружної частини подовження $\Delta l'_{пр}$ (відрізок NL). Відрізок ON являє собою залишкову деформацію $\Delta l'_{зал}$.

Подовження $\Delta l'_{зал}$ також називають *пластичним подовженням*.

Таким чином, повне подовження зразка за границею пружності складається із двох частин – пружної та пластичної:

$$\Delta l' = \Delta l'_{пр} + \Delta l'_{зал}.$$

Границя пропорційності та текучості при повторному навантаженні підвищується. Це явище несе назву - *зміцнення* або *наклепу*.

Після розриву пружна складова повного подовження в обох частинах зразка (відрізок $\Delta l'_{пр}$ на рис. 1.2) зникає. Подовження, що залишилось, зображується відрізком $\Delta l'_{зал}$.

Відносним подовженням після розриву d (вимірюється у відсотках), називають відношення приросту довжини зразка після розриву $\Delta l'_{зал}$ до його початкової довжини

$$d = \frac{\Delta l'_{зал}}{l_0} 100. \quad (1.10)$$

Відносне подовження після розриву характеризує пластичність матеріалу. Залежно від цього подовження матеріали поділяють на *пластичні* (для яких $d \geq 5\%$) та *крихкі* (для яких $d \leq 5\%$).

Відносне звуження зразка після розриву U (вимірюється у відсотках) визначається відношенням абсолютного зменшення площі перерізу в

$$\text{шийці до початкової площі} - \mathcal{U} = \frac{\Delta F}{F_0} 100 = \frac{F_0 - F_{ш}}{F_0} 100,$$

де $F_{ш}$ – площа “шийки” в найвужчому місці.

Відносне подовження зразка d й його відносне звуження \mathcal{U} є *характеристиками пластичності матеріалу*. Величина \mathcal{U} характеризує найбільшу пластичність метала в умовах напруженого стану в шийці.

1.2 Опис випробувальної машини

Випробування проводимо на універсальній гідравлічній випробувальній машині ВМГ-30. Машина призначена для статичних випробувань матеріалів на розтягання, стискання, згинання, зріз та сколювання. Максимальне навантаження, що може розвинути машина, 300 кН.

Машина складається з випробувального агрегату А, силовимірювального механізму Б і насосної установки В (рис. 1.4).

Випробувальний агрегат А являє собою гідравлічний прес з верхнім розташуванням робочого циліндра і має дві рами. Нерухома рама складається з опори 1 із закріпленим на неї нерухомим захоплювачем 2, двох стояків 3, траверси 7 і робочого циліндра 9. Рухома рама складається з робочої траверси 8 із закріпленим на неї захоплювачем 5, двох тяг 10, траверси 11 і робочого поршня 12. Прикладення навантаження здійснюється робочим циліндром через раму і робочу траверсу 7. Під час робочого ходу поршень 12 переміщає нагору рухому раму.

При випробуванні на розтягання зразки 4 закріплюють в захоплювачах 2 і 5, а при випробуваннях на стиск (зріз, згинання, сколювання) – розміщують між траверсами 7 і 8.

Силовимірювальний механізм Б гідравліко-маятникового типу складається з вимірювального циліндра 24, шкали 17 з маятником 23 і діаграмного пристрою 15. Останній складається з пишучого вузла 14 і барабана 13, на якому закріплюють папір.

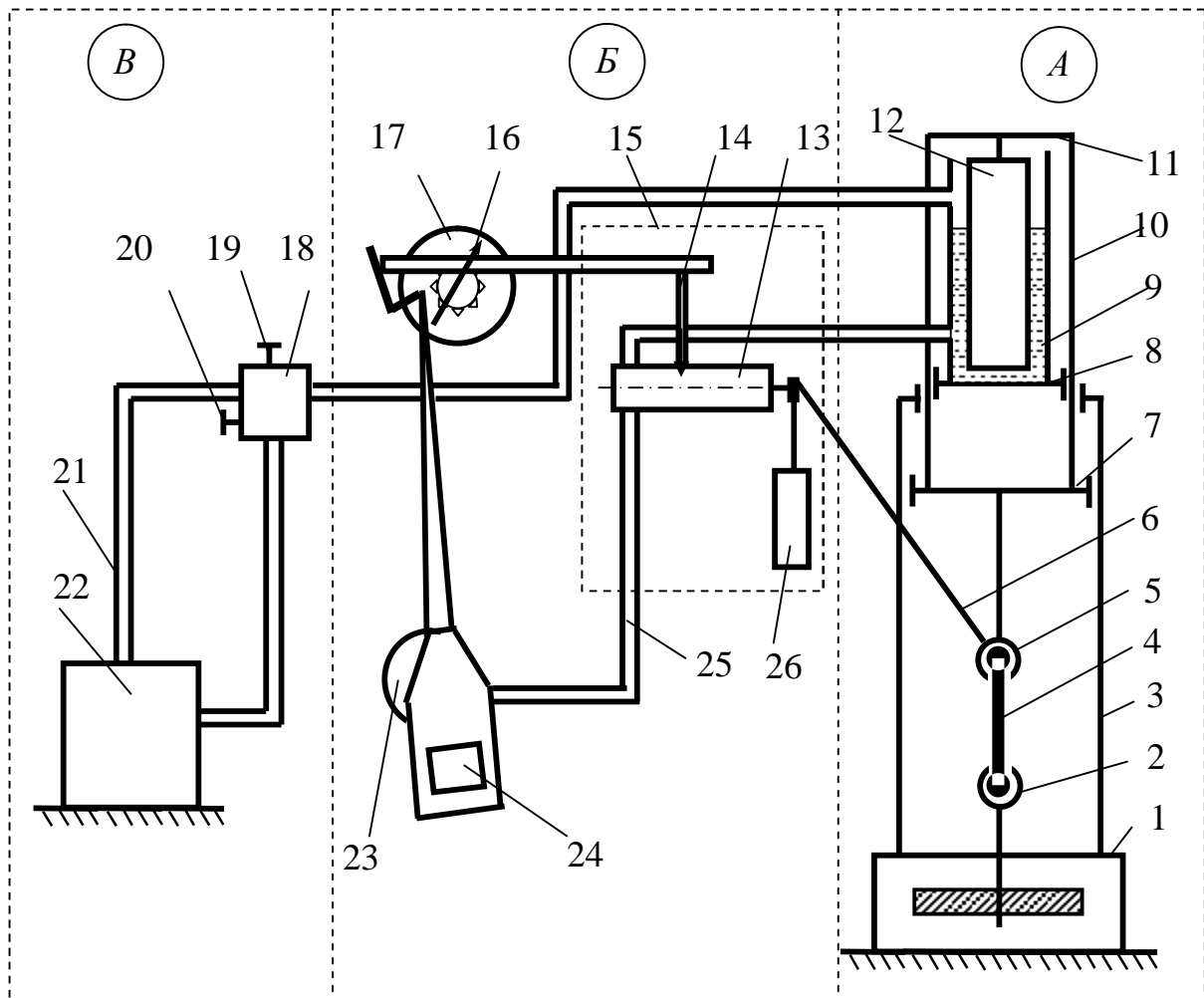


Рисунок 1.4 – Випробувальна розривна машина ВМГ-30

Приєднання силовимірювального механізму до робочого циліндра машини здійснюється трубопроводом 25. Під час випробування тиск рідини з робочого циліндра 9 передається трубопроводом 25 у верхню порожнину циліндра 9, що викликає обертальний рух вказівної стрілки 16 шкали 17 і поступальний – пишучого вузла 14. Барабан 13 обертається за допомогою вантажу 26 нитки 6, яка закріплена на рухомому захоплювачі 5.

Насосна установка В служить для силового живлення робочого циліндра 9 випробувальної машини і складається з триплунжерного насоса високого тиску, резервуара для мастила з фільтром і електродвигуна. Усе це розміщено в корпусі 22. Мастило від насоса трубопроводом 21 подається в розподільну коробку 18, що служить для керування робочим поршнем 12 і рухомою рамою випробувальної машини. Верхній вентиль 19 на розподільній коробці 18 служить для впуску, тобто для підйому поршня 12 (хід навантаження). Лівий вентиль 20 призначений для випуску

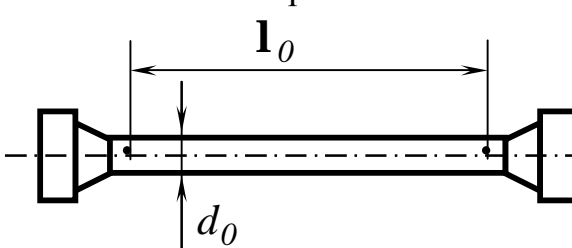
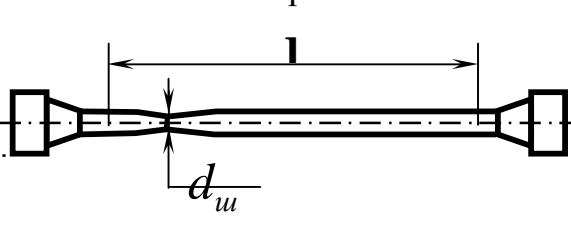
мастила, тобто для опускання поршня 12 (хід розвантаження). У корпусі коробки 18 розташований стабілізатор швидкості руху робочого поршня.

1.3 Проведення випробувань та обробка результатів

Перед випробуваннями належить намалювати зразок, виміряти за допомогою штангенциркуля довжину зразка між накресленими точками l_0 , його діаметр d_0 (в трьох місцях і в кожному перерізі – в двох взаємно перпендикулярних напрямках) та проставити їх на рисунку. Площу поперечного перерізу F_0 треба визначити за найменшим із знайдених діаметрів.

Необхідні геометричні характеристики зразка треба занести до таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

До випробування	Після випробування
<p>Ескіз зразка</p> 	<p>Ескіз зразка</p> 
Діаметр зразка $d_0 =$ мм	Діаметр “шийки” $d_{ш} =$ мм
Довжина розрахункової частини $l_0 =$ мм	Довжина розрахункової частини $l =$ мм
Площа перерізу $F_0 =$ см ²	Площа перерізу “шийки” $F_{ш} =$ см ²

Зразок закріплюють у захоплювачах випробувальної машини, стрілку силовимірювального механізму встановлюють на нуль. На барабані діаграмного пристрою машини закріплюють міліметровий папір, на якому проводять координатні осі.

У процесі випробування навантаження повинно змінюватися повільно та плавно до розриву зразка. Діаграма залежності абсолютного подовження Dl від навантаження P будується в машині автоматично. Її треба перекреслити у звіт в певному масштабі.

Величини характерних навантажень – P_{np} , P_m та P_{max} треба визначити із діаграми (масштаб діаграми 1см - 10,00 кН) та занести до таблиці 1.2.

Таблиця 1.2

Характерні навантаження	Величини навантажень, кН	Характеристики міцності матеріалу	Величини напружень, МПа
Вантаження, яке відповідає границі пропорційності – P_{np}		Границя пропорційності $S_{nc} = \frac{P_{nc}}{F_0}$	
Вантаження, яке відповідає границі текучості – P_m		Границя текучості $S_T = \frac{P_T}{F_0}$	
Максимальне вантаження – P_{max}		Границя міцності $S_{mc} = \frac{P_{max}}{F_0}$	
Вантаження в момент розриву – $P_{роз}$		Дійсне напруження в момент розриву $S_{роз} = \frac{P_{роз}}{F_u}$	

Діаграма подовження в координатах $P - Dl$ незручна, бо знайдені величини залежать від розмірів випробувального зразка. Тому треба побудувати діаграму подовження в координатах $S - e$ (рис. 1.5), маючи

на увазі, що $S = \frac{P}{F_0}$, а $e = \frac{Dl}{l_0}$. Характерні ординати діаграми подовження в цих координатах є найважливішими механічними характеристиками матеріалу.

Більш поглиблене вивчення властивостей матеріалу можливе шляхом побудови й аналізу діаграми дійсних напружень, підрахованих не за початковою площею перерізу, а за дійсною площею щомиті.

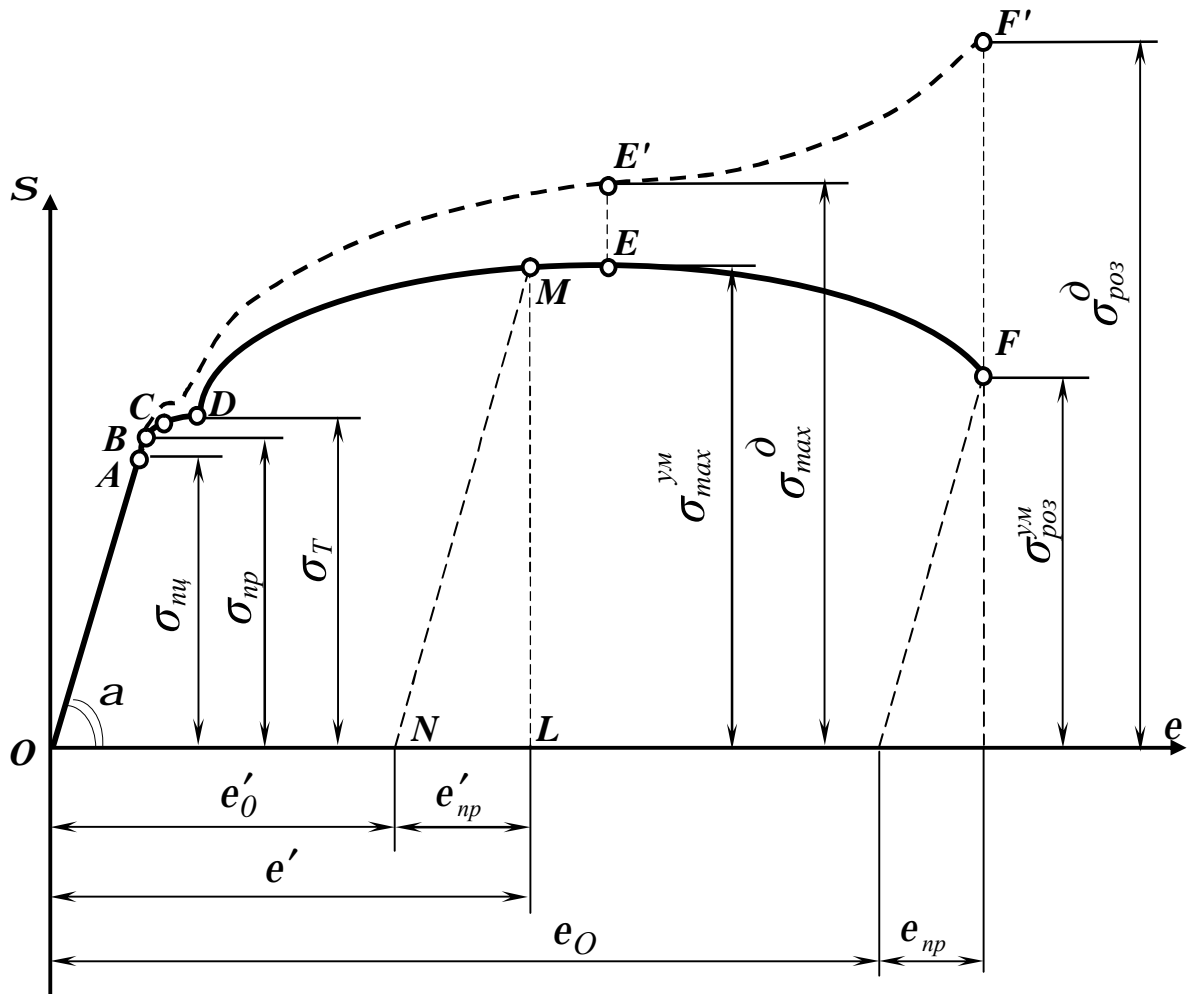


Рисунок 1.5 – Діаграми напружень

Для побудови діаграми дійсних напружень необхідно буде одночасно з навантаженням P вимірювати і діаметр зразка в декількох місцях за його довжиною і найменшим діаметром підраховувати площу перерізу.

Однак до границі пропорційності зміна перерізу настільки незначна, що при обчислень напружень ними можна знехтувати.

Істотна зміна поперечних розмірів зразка виявляється лише після переходу через границю пропорційності матеріалу, з появою помітних залишкових деформацій. Тому вимірювати діаметр зразка починають після досягнення межі пропорційності випробуваної сталі. За даними досліду підраховується значення дійсних напружень. У момент розриву дійсне напруження підраховується за площиною перерізу “шийки”. Діаграма дійсних напружень зображена на рисунку 1.5 у виді кривої $OAE'F'$, зображеної пунктиром.

1.4 Контрольні запитання

- 1 Яка мета даної лабораторної роботи?
- 2 Які зразки використовують для випробувань?
- 3 Які параметри характеризують міцність сталі?
- 4 Які параметри характеризують пластичність сталі?
- 5 Дайте стисло характеристику випробувальній машини.
- 6 У чому полягає явище наклепу?
- 7 Назвіть характерні точки на діаграмі розтягання?
- 8 Що таке границя пропорційності, пружності, текучості, міцності та як вони обчислюються?
- 9 Що таке пружна, пластична деформації?
- 10 В яких одиницях вимірюється S_{np} та S_m ?
- 11 Які основні ділянки має діаграма розтягання?
- 12 Для яких матеріалів має місце ділянка текучості?
- 13 Що таке умовна границя текучості?
- 14 Коли починається утворення “шийки” зразка?
- 15 Як змінюється величина навантаження після утворення шийки?
- 16 У чому суть понять “умовне” та “дійсне” напруження?

2 ВИПРОБУВАННЯ НА СТИСКАННЯ МАЛОВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ ТА СІРОГО ЧАВУНУ

Мета роботи: *вивчити поведінку пластичних та крихких матеріалів при стисканні.*

2.1 Стислі теоретичні відомості

2.1.1 Пластичність та пружність

Пластичністю називається властивість матеріалу одержувати великі залишкові деформації без руйнування. Ця властивість має велике значення для таких технологічних процесів як штамповка, гнуття, витягання, волочіння та ін. Чим більше залишкове подовження при розриві тим більш пластичний матеріал. Найбільш пластичні матеріали – це алюміній, маловуглецева сталь, латунь, мідь. Найменш пластичним є бронза та дюраль.

Крихкість це здатність матеріалу руйнуватися без помітних залишкових деформацій. Матеріали цього типу – чавун, скло, високовуглецева інструментальна сталь та ін. Для цих матеріалів величина залишкового подовження при розриві не більше 2-5%, а в ряді випадків вимірюється долями відсотку.

Пластичні та крихкі матеріали по-різному поведуть себе при випробуванні на стискання. Ці випробування проводяться на коротких циліндричних зразках, які розміщуються між паралельними плитами машини.

2.2 Випробування на стискання пластичного матеріалу – маловуглецевої сталі

Для пластичних матеріалів *модуль пружності E , границя пружності та текучості* при стисканні такі ж самі, що і при розтяганні. Границя міцності при стисканні пластичних матеріалів не існує, тому що зразок не руйнується.

Для випробування використовується циліндричний зразок з відношенням розмірів $h_0/d_0 = 1...2$.

Зразок встановлюють між плитами випробувальної машини (див. схему і опис її дії в лаб. роб. №1) і поступово повільно навантажують.

Пишучій пристрій при цьому викреслює діаграму стискання (рис. 2.1).

З діаграми OAB (див. рис. 2.1) можна побачити, що в початковій стадії навантаження – ділянка OA – залежність між зусиллям стискання та деформацією прямолінійна. Точка A відповідає *границі пропорційності* матеріалу.

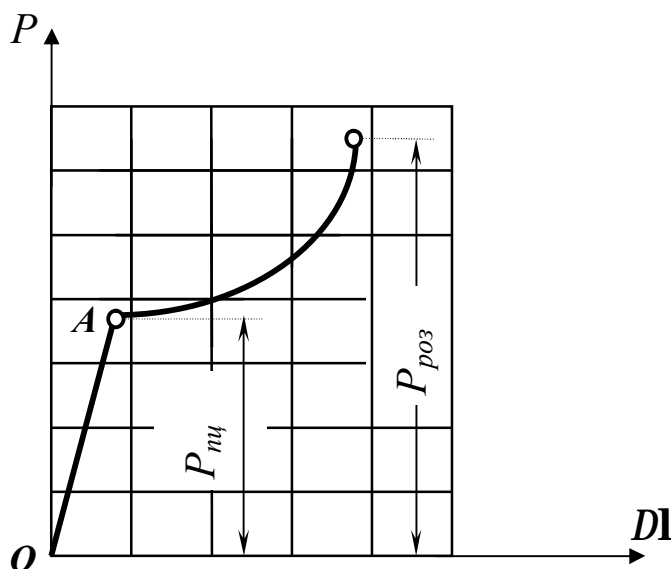


Рисунок 2.1 – Діаграма стискання сталевого зразка

Потім деформація збільшується і на ділянці AB (див. рис. 2.1) діаграма стискання дістає криволінійної залежності. Це пояснюється швидким зростанням пластичної деформації і безперервним збільшенням поперечного перерізу зразка. На діаграмі стискання ділянка текучості відсутня.

Внаслідок тертя між торцем зразка та опорною поверхнею плити деформація зразка відбувається не однаково за його довжиною, внаслідок чого зразок набуває бочкоподібної форми (рис.2.2) і може бути сплющений у диск без руйнування.

Таким чином, величина *границі міцності* пластичного матеріалу не може бути визначена. Єдина механічна характеристика, яка може бути знайдена з досліду – це границя пропорційності матеріалу S_{np} .

$$S_{np} = \frac{P_{np}}{F_0}, \quad (2.1)$$

де F_0 – початкова площа перерізу зразка.

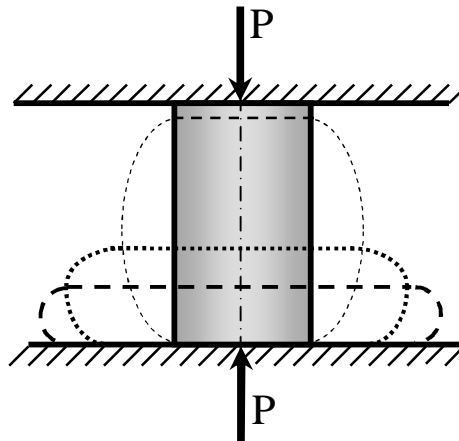


Рисунок 2.2 – Деформація сталевго зразка при стисканні

2.3 Випробування на стискання крихкого матеріалу – сірого чавуну

Інакше поведуть себе при випробуванні на стискання крихкі матеріали, котрі, як правило, краще працюють на стискання ніж на розтягання і застосовуються для виготовлення елементів, які працюють на стискання.

Зразок після виміру закладається між плитами випробувальної машини та повільно стискається. Діаграма, яка при цьому накреслює діаграмний пишучій пристрій, показана на рисунку 2.3.

Спочатку діаграма стискання чавунного зразку являє собою пряму лінію, потім вона все більше загинається, досягає максимуму, після чого різко обривається при руйнуванні зразка.

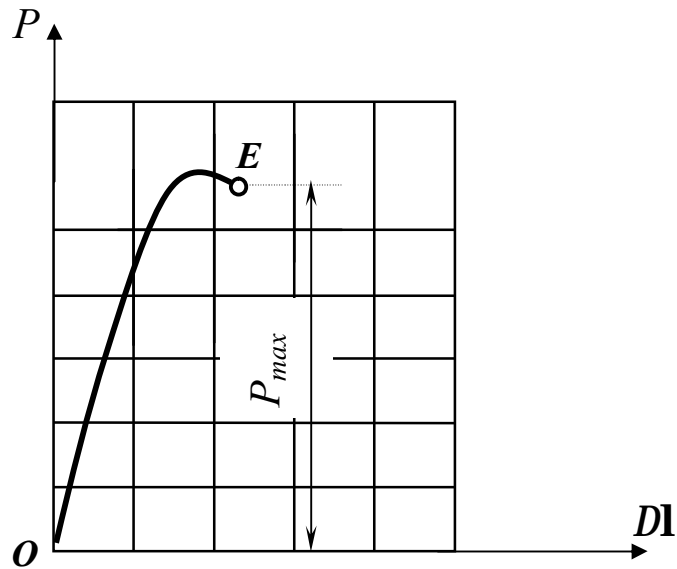


Рисунок 2.3 – Діаграма стискання чавунного зразка

Чавуновий зразок після стискання залишається майже циліндричним, що свідчить про відсутність значних пластичних деформацій. У ту мить, коли навантаження досягає найбільшого значення, зразок руйнується причому на його поверхні з'являються тріщини, які нахилені під кутом, близьким до 45%

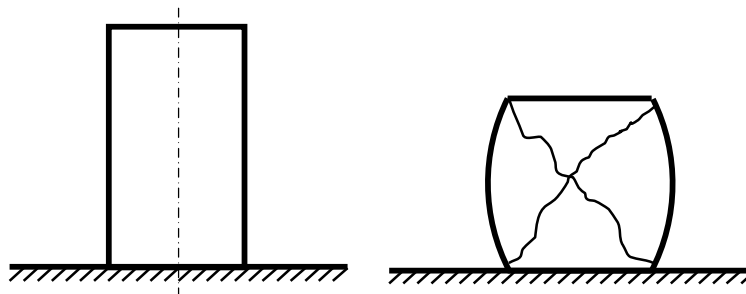


Рисунок 2.4 – Чавунний зразок до та після навантаження

Такий напрямок руйнування пояснюється тим, що його причиною є найбільші дотичні напруження, які діють на ділянках під таким кутом. При випробуванні визначається навантаження P_{MAX} , при якому відбувається руйнування зразка. Після чого можна визначити величину *границі*

міцності $S_{мц}$:

$$S_{мц} = \frac{P_{max}}{F_0} .$$

2.4 Проведення випробувань та обробка результатів

Випробування виконуються на універсальній випробувальній машині ВМГ-30 (див. схему і опис її дії в лаб. роб. №1). Визначаються розміри зразка перед випробуванням l_0 та d_0 .

Результати записують у таблиці 2.1. Обробка даних звіту зводиться до визначення механічних характеристик матеріалів ($S_{пц}$, $S_{міц}$).

Таблиця 2.1

Матеріал зразків	Площа перерізу F_0 , см ²	Зусилля, що відповідає границі пропорційно сті $P_{пц}$, кН	Границя пропорційно сті $S_{пц}$, МПа	Зусилля руйнування P_{max} , кН	Границя міцності $S_{міц}$, МПа
Сталь				—	—
Чавун		—	—		

2.5 Контрольні запитання

- 1 Яка мета даної лабораторної роботи?
- 2 Які механічні характеристики визначаються при стисканні сталі та чавуну?
- 3 Що таке пластичність матеріалу?
- 4 Які матеріали відносяться до пластичних?
- 5 Що таке крихкість матеріалу?
- 6 Які матеріали відносяться до крихких?
- 7 Які зразки вживаються для випробувань на стискання?
- 8 Чи впливає на результати випробування сила тертя по торцям зразків?
- 9 Чим пояснюється бочкоподібна форма сталевого зразка при випробуванні на стискання?
- 10 Як руйнується крихкий зразок при стисканні? Чому?
- 11 Який вид має діаграма стискання для крихких та пластичних матеріалів?

3 ВИПРОБОВУВАННЯ НА СТИСКАННЯ АНІЗОТРОПНИХ МАТЕРІАЛІВ

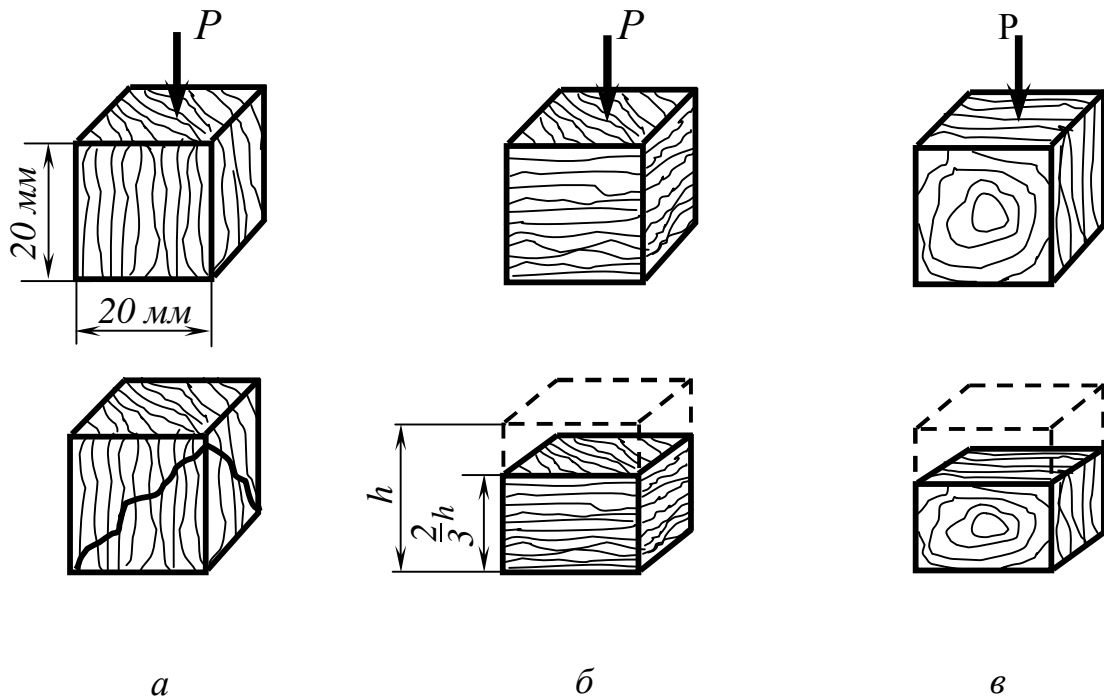
***Мета роботи:** дослідити поведінку анізотропних матеріалів при стисканні в різних напрямках і визначити їх механічні характеристики*

3.1 Стислі теоретичні відомості

У техніці часто застосовують матеріали, які мають неоднакові властивості в різних напрямках. Такі матеріали називають анізотропними. Одним з найбільш характерних представників анізотропних матеріалів є дерево.

Для одержання основних його механічних характеристик при стисканні випробовуються зразки в формі кубиків розміром 20×20×20 мм. Зразки випробовуються на дію стискаючої сили, направленої уздовж і впоперек волокон (див. рис. 3.1).

Звичайно при дії стискаючої сили уздовж волокон руйнування здійснюється із зминанням торців і утворенням своєрідних ліній на бокових гранях у вигляді складок. Нерідко спостерігається утворення повздовжніх тріщин, особливо при наявності сучків. У твердих породах деревини (дуб, бук, граб та ін.) складки розташовуються за прямими, нахиленими під кутом, близьким 45° до горизонталі (див. рис. 3.1, а). Така форма руйнування зразка пояснюється дією найбільших дотичних напружень, які виникають при стисканні стрижня на площинах, нахилених під кутом 45° до осі зразка. У м'яких породах деревини (сосна, ялина, береза та ін.) ця форма руйнування зразка виступає менш різко.



а – уздовж волокон; б – уперек волокон, перпендикулярно до річного шару; в – уперек волокон, в площині річного шару
Рисунок 3.1 – Дерев’яні зразки для випробовування на стискання

При дії стискуючої сили уперек волокон руйнування дерев’яного зразка не спостерігається. При відсутності води в деревині, зразок лише впресовується (див. рис. 3.1, б та в).

Механічні властивості деревини залежать від її вологості, яка коливається в межах від 15 до 20% і вище. Чим більша вологість деревини, тим гірші її механічні властивості. Протягом лабораторних занять вона умовно приймається нормальною (15%).

3.2 Опис лабораторної установки

Випробування проводяться на випробувальній машині ВМГ-30, порядок роботи на якій описаний раніше (див. лабораторну роботу №1).

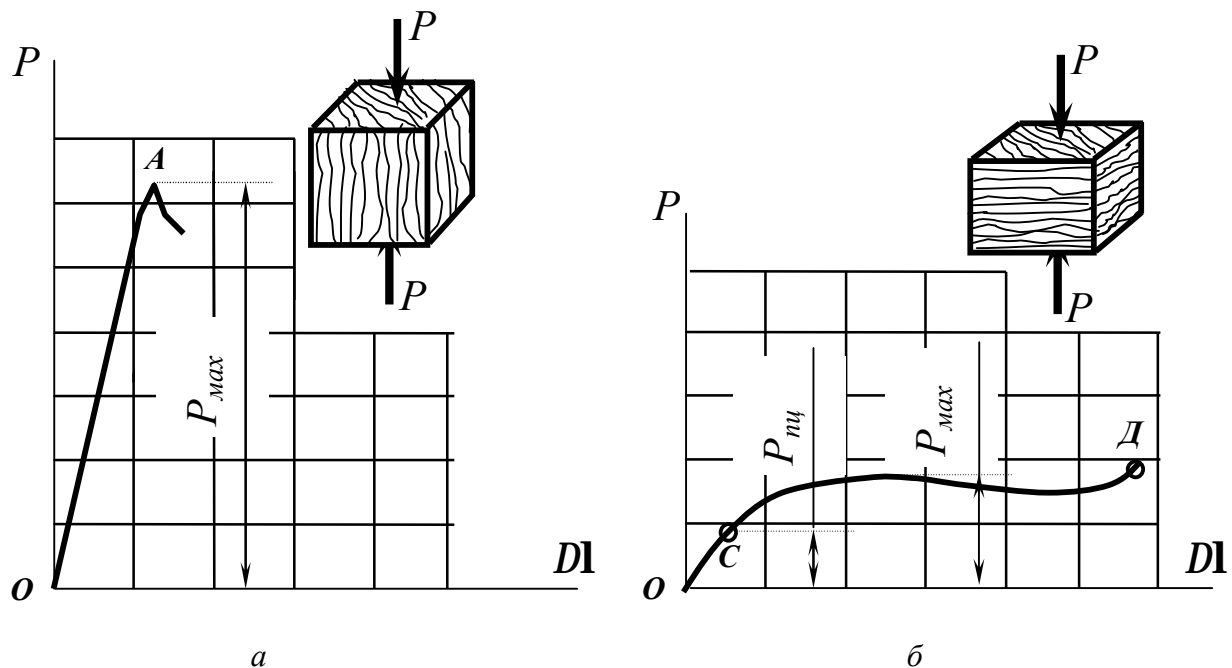
3.3 Проведення випробувань і обробка даних

3.3.1 Випробування дерева на стискання уздовж волокон

Випробувальний зразок встановлюють між опорними плитами так, щоб стискуюча сила P була направлена паралельно волокнам (див. рис. 3.1, а).

На діаграмному апараті закріплюють міліметровий папір, проводять на ньому координатні осі. Вмикають машину і проводять навантаження.

Визначають найбільше навантаження P_{max} у момент руйнування зразка. Це навантаження потім перевіряється за графіком, який накреслений самописним пристроєм діаграмного апарату в координатах $P - Dl$ (рис. 3.2, а).



а – стискання уздовж волокон;

б – стискання уперек волокон.

Рисунок 3.2 – Діаграми стискання дерева

Ділянка OA діаграми стискання (див. рис. 3.2, а) від початку координат до точки, яка відповідає моменту зруйнування зразка, дуже мало відрізняється від прямої лінії. З діаграми стискання дерева вздовж волокон видно, що зразок до руйнування зазнає невеликі залишкові

деформації. Тому при звичайних випробовуваннях деревини приймають, що лінійна залежність між P і DI зберігається майже до моменту руйнування зразка, і тому границя пропорційності близька до границі міцності, але встановити її за діаграмою стискання звичайно не вдається. Діаграма стискання дерева вздовж волокон має схожість з діаграмою стискання крихких матеріалів. Приймавши P_{max} , одержимо:

$$S_{мц} = \frac{P_{max}}{F_0} .$$

Таким чином, за даними експерименту визначається *границя міцності* дерева на стискання вздовж волокон $S_{мц}$.

Необхідні дані про матеріал зразків і результати експерименту заносяться до таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Матеріал	Площа перерізу зразка $F, \text{см}^2$	Навантаження, яке відповідає границі пропорційності $P_{пц}, \text{кН}$	Границя пропорційності $S_{пц}, \text{МПа}$	Навантаження, яке відповідає границі міцності $P_{max}, \text{Н}$	Границя міцності $S_{мц}^{ум}, \text{МПа}$
Дерево уздовж волокон					
Дерево уперек волокон					

Треба випробовувати не менш 3 зразків і за результатами експерименту зробити висновки (див. таб. 3.1)

3.3.2 Випробування дерева на стискання впоперек волокон

Випробовування дерева на стискання силою, яка направлена перпендикулярно до волокон, проводиться на цій же випробувальній машині. Для наочності і зручності зіставлення результатів діаграма стискання деревини упоперек волокон записується на раніше встановленому на діаграмному апараті міліметровому папері в колишніх координатних осях. При випробуванні стрілка самовимірювача увесь час показує зростання навантаження, так як слідом за навантаженням, яке відповідає границі пропорційності $S_{mц}$, починається безперервний процес пресування деревини, який не може служити основою для встановлення якої-небудь характеристики її механічних властивостей.

Цей процес наочно проводиться на діаграмі стискання (див. рис. 3.2, б) кривою *ОСД*. Спочатку діаграма йде похилою прямою лінією *ОС*, фіксуючи наявність закону Гука, до навантаження $P_{mц}$, яке відповідає *границі пропорціональності*, а потім – гладкою кривою *СД*, відмічаючи безперервне зростання навантаження при швидкому збільшенні деформації.

Випробувальний зразок швидко деформується майже без збільшення навантаження. Значний зріст деформації без істотного збільшення навантаження дозволяє вважати, що вантажопідйомність зразка вичерпана.

Умовно за навантаження, яке відповідає границі міцності деревини при стисканні її упоперек волокон, заведено вважати навантаження в той момент, коли висота випробувального кубика зменшується на одну третину первісної величини (див. рис. 3.1, б). Потім зразок знімається з машини і ескізно зображується із зазначенням тріщин, які в ньому з'явилися.

З діаграми стискання упоперек волокон визначається *границя пропорційності* $S_{mц}$ і *умовна границя міцності* $S_{mц}^{ум}$.

Випробовування деревини на стискання упоперек волокон при навантаженні, яке діє в площині річних шарів (див. рис. 3.1, в) показує, що одержані дані мало відрізняються від результатів, які одержані в попередньому випадку, коли сила була направлена перпендикулярно

річним шарам, а тому ці випробування можна не проводити. Необхідні дані про матеріал зразків і результати експериментів заносяться до таблиці 3.1.

Необхідно порівняти визначені результати експериментів (див. табл. 3.1) і зробити певні висновки.

Коефіцієнт анізотропії, який характеризує відношення механічних властивостей дерева уздовж і упоперек волокон, являє собою відношення границі міцності при стисканні уздовж волокон $S'_{мц}$ до границі міцності

при стисканні упоперек волокон $S_{мц}$

$$k = \frac{S'_{мц}}{S_{мц}}$$

За даними експерименту визначають коефіцієнт анізотропії.

3.4 Контрольні запитання

- 1 Яка мета даної лабораторної роботи?
- 2 Які механічні характеристики можна визначити при стисканні дерева уздовж і упоперек волокон?
- 3 Які розміри випробувальних дерев'яних зразків?
- 4 Які деформації зазнає дерев'яний зразок при стисканні вдовж і впоперек волокон?
- 5 Зобразіть діаграму стискання дерева уздовж волокон.
- 6 Зобразіть діаграму стискання дерева впоперек волокон.
- 7 Що таке анізотропія і яким параметром вона характеризується?
- 8 Чому дорівнює коефіцієнт анізотропії для дерева?
- 9 Як і чому руйнуються дерев'яні зразки при стисканні уздовж і упоперек волокон?
- 10 Як впливає вологість на механічні властивості деревини?

4 ВИПРОБОВУВАННЯ СТАЛІ НА ЗРІЗ

Мета роботи: визначити границю міцності сталі на зріз.

4.1 Стислі теоретичні відомості

Зрізом заведено називати руйнацію металевих елементів від зсуву.

Практично деформація зсуву (зрізу) може бути отримана у випадку, коли на розглянутий стрижень із протилежних сторін на дуже близькій відстані одна від однієї діють дві рівні сили, перпендикулярні осі стрижня і спрямовані в протилежні сторони.

Характер руйнації сталі при зсуві і розриві різноманітний. При зсуві площа руйнації гладка. Обсяг зразка, підданий пластичним деформаціям, незначний. При розриві площа руйнації має кристалічний вид, весь обсяг зразка, особливо в зоні шийки, піддається значній пластичній деформації.

Умовно вважають, що в зоні зрізу діють тільки дотичні напруження t , які рівномірно розподілені за перерізом і можуть бути знайденими за формулою

$$t = \frac{P}{F}, \quad (4.1)$$

де P – діюча сила, F – площа перерізу.

При досягненні дотичними напруженнями t границі міцності відбувається руйнація металу.

У дійсності в зоні руйнації діють ще нормальні напруження S згинання і зминання.

Методика розрахунку елементів, що працюють на зріз, значною мірою спирається на теорію «чистого» зсуву.

Відомо, що у випадку чистого зсуву теоретичний розмір допустимого напруження на зріз для м'якої сталі повинен складати приблизно 60% від допустимого напруження на розтягання:

$$[t] = 0,6 [S], \text{ або } t_{\text{мц}} = (0,6 \dots 0,8) S_{\text{мц}}.$$

Звичайно елементи, що працюють у конструкціях на зріз (болти, заклепки, шпонки і т.д.) одночасно піддаються дії нормальних напружень від зминання або згинання.

Здійснити експериментально «чистий зсув» практично не можливо. Приймаючи цю обставину до уваги і враховуючи, що робота на зріз найбільше типово виявляється в таких деталях, як заклепки, болти тощо, де вона ускладнюється появою нормальних напружень від згинання і зминання, випробування сталі на зріз проводять у подібних умовах, тобто за схемою подвійного зрізу стрижня, як показано на рисунку 4.1.

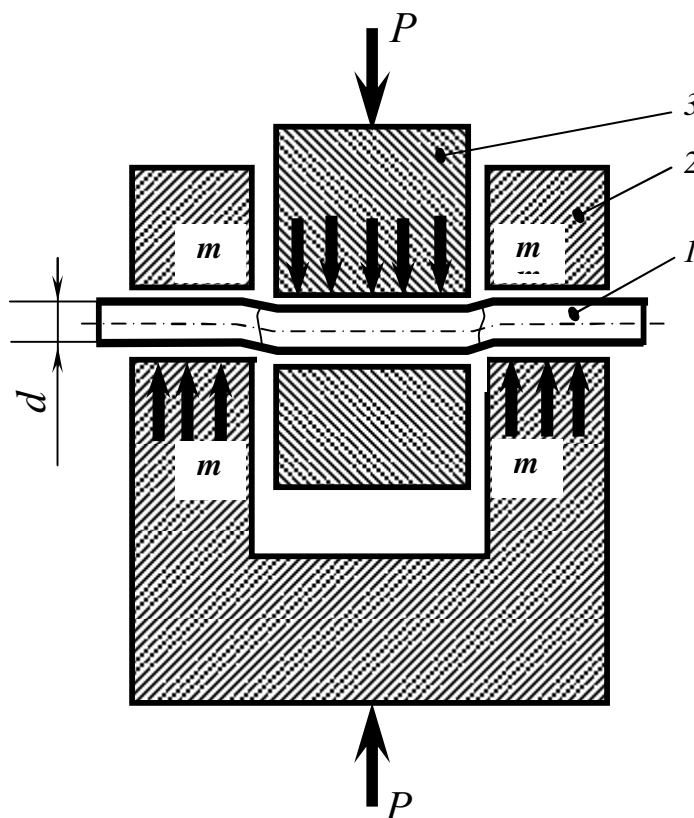


Рисунок 4.1 – Випробування круглого зразка на зріз по двох площинах

Якщо круглий зразок (заклепка) діаметром d зрізається за перерізом $m-m$ (див. рис. 4.1), то площа перерізу дорівнює $F_{зр} = 2 \frac{p d^2}{4}$. Якщо заклепка діаметром d зминається за перерізом (див. рис. 4.1), то площа перерізу дорівнює $F_{зм} = p d t$.

Враховуючи, що матеріал таких елементів, як болти, заклепки знаходяться в більш складних умовах, чим «чистий зсув», призначення допустимих напружень для цих елементів повинно базуватися на експериментальних даних.

Важливим практичним випадком роботи сталі на зріз є одержання отворів в листовому металі при штампуванні. Випробування сталі на зріз у цьому випадку проводять за схемою, поданою на рисунку 4.2.

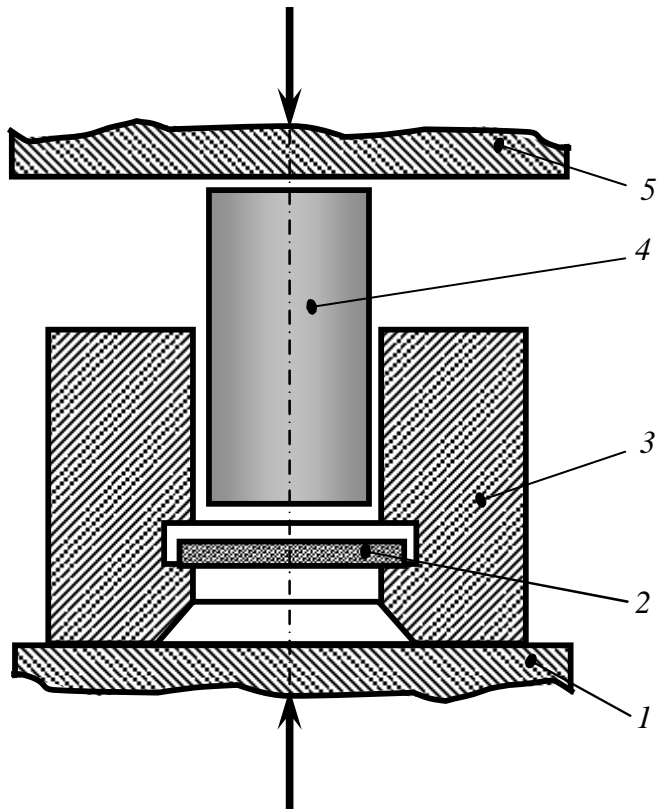


Рисунок 4.2 – Випробовування плоского зразка на зріз за периметром

4.2 Опис лабораторних установок

4.2.1 Опис лабораторної установки для випробування сталі на подвійний зріз. Порядок проведення експерименту та опрацювання його результатів

Випробування зразків проводяться на універсальній гідравлічній випробувальній машині ВМГ-30, порядок роботи на якій описаний раніше

(див. лабораторну роботу №1). Для експерименту використовується пристосування для випробування на подвійний зріз стрижня (див. рис. 4.1).

Сталевий стрижень 1 діаметром 10 мм вставляють в отвір у щоках корпуса 2 і рухомого вкладиша 3. Напруження на зріз виникають по перерізах *m-m* та *n-n* при переміщенні рухомого вкладиша 3 униз між нерухомими щоками корпуса 2. На рисунку 4.1 схематично показана деформація стрижня 1 у той момент, коли дотичні напруження досягають границі міцності. У цей момент у перерізах *m-m* і *n-n* випробуваного стрижня 1 будуть виникати не тільки дотичні напруження від зрізу, але і нормальні напруження від зминання.

Пристосування на зріз разом із зразком установлюють на випробувальну машину. Потім повільним і плавним навантаженням зразок доводиться до руйнації (зрізу) по двох площинах.

Границя міцності на зрізі визначається діленням руйнуючого навантаження P_{max} на подвійну площу поперечного перерізу F :

$$t_{мц} = \frac{P_{max}}{2F} .$$

Необхідні дані про матеріал, геометричні розміри зразків і результати експерименту заносять до таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Матеріал	Геометричні дані зразка		Руйнуюче навантаження P_{max} , кН	Границя міцності $\tau_{мц}$, МПа
	Діаметр d , см	Площа перерізу F , см ²		

Необхідно випробувати не менше 3 зразків і за результатами експерименту зробити висновки.

4.2.2 Опис лабораторної установки для випробування сталі на зріз за периметром пуансона з утворенням отвору в металевій пластині. Порядок проведення експерименту та опрацювання його результатів

Випробування проводяться на тій же випробувальній машині ВМГ-30. Для експерименту використовується пристосування, зображене на рисунку 4.2. Сталеву пластину-зразок 2 товщиною t встановлюють у матрицю 3 пристосування і вставляють пуансон 3. Усе пристосування на зріз разом із зразком установлюють між плитами 1 та 5 випробувальної машини.

Повільним навантаженням зразок доводять до руйнації (зрізу). Після випробування зразок має вигляд, показаний на рисунку 4.3.

Площу зрізу визначають за формулою

$$F = pDt ,$$

де D – діаметр пуансона, см;

t – товщина пластини-зразка, см;

Границя міцності сталі на зріз $\tau_{мц}$ у цьому випадку визначають за формулою

$$\tau_{мц} = \frac{P_{max}}{F} ,$$

де P_{max} – руйнуюче зусилля.

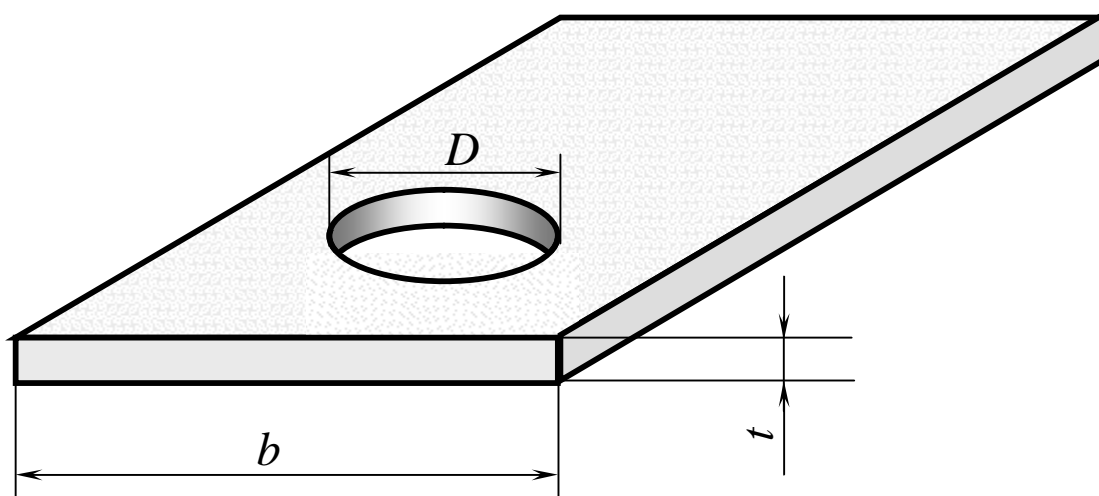


Рисунок 4.3 – Пластина-зразок після проведення випробування

Необхідні дані про матеріал, геометричні розміри зразків і результати експерименту заносять до таблиці 4.2.

Таблиця 4.2

Матеріал зразка	Геометричні розміри зразка		Руйнуюче вантаження, P_{max} , кН	Границя міцності на зріз $\tau_{ми}$, МПа
	Товщина t , см	Ширина b , см		

Необхідно випробувати не менше 3 зразків і за результатами експерименту зробити висновки.

4.3 Контрольні запитання

- 1 Яка мета даної лабораторної роботи?
- 2 Як заведено називати руйнацію металевих елементів від зсуву?
- 3 На якій випробувальній машині проводяться випробування на зріз?
- 4 На яких зразках проводяться випробування сталі на подвійний зріз?
- 5 На яких зразках проводяться випробування сталі на зріз за периметром пуансона?
- 6 Яке пристосування використовується для випробування сталі на подвійний зріз?
- 7 Яке пристосування використовується для випробування сталі на зріз за периметром пуансона?
- 8 Як визначається площа зрізу у виробовуваних зразків?
- 9 За якою формулою визначається границя міцності сталі на зріз?
- 10 Який характер руйнації сталі при зсуві?
- 11 Яка залежність існує між допустимими напруженнями на зріз і на розтягання для м'якої сталі?
- 12 Які деталі працюють за схемою подвійного зрізу?

5 ВИПРОБОВУВАННЯ ДЕРЕВИНИ НА СКОЛЮВАННЯ

Мета роботи: *визначити межу міцності деревини при сколюванні уздовж волокон*

5.1 Стислі теоретичні відомості

Міцність при зсуві деревини залежить від напрямку прикладання сили. Звичайно визначають опір зсуву уздовж і упоперек волокон, враховуючи, що дотичні напруження розподіляються рівномірно по всій площини F .

Характер руйнації деревини при зсуві звичайно тендітний. Руйнація відбувається без значних залишкових деформацій [3].

Руйнацію деревини при зсуві прийнято називати сколюванням.

Розрізняють такі випадки сколювання деревини у випробувальних зразках:

- а) сколювання уздовж волокон;
- б) сколювання упоперек волокон.

З розглянутих випадків сколювання дерево порівняно краще чинить опір перерізу волокон (тобто сколюванню упоперек волокон).

5.2 Опис лабораторної установки

Випробування проводяться на випробувальній машині ВМГ-30, порядок роботи на якій описано раніше (див. лабораторну роботу № 1).

Випробування деревини на сколювання уздовж волокон проводять відповідно за ГОСТом 6336-52 на стандартних зразках, форма і розміри яких наведені на рисунку 5.1.

Для проведення випробування деревини на сколювання використовуються два пристосування, одне з котрих зображено на рисунку 5.2.

При чому розміри в дужках відповідають пристосуванню для випробування на сколювання деревини упоперек волокон, а без дужок – уздовж волокон.

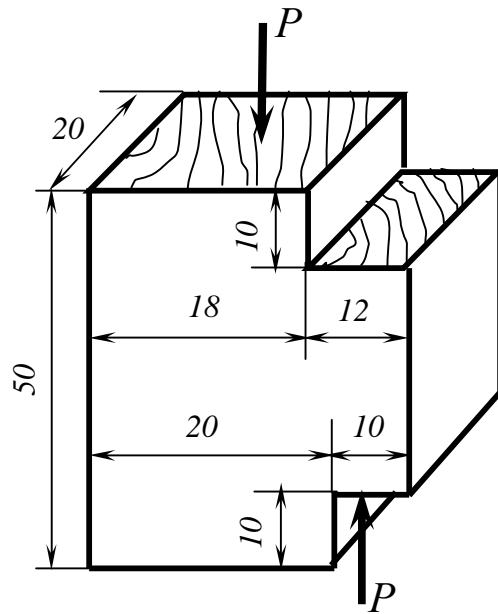


Рисунок 5.1 – Розміри дерев'яного зразка при сколюванні і схема його навантаження

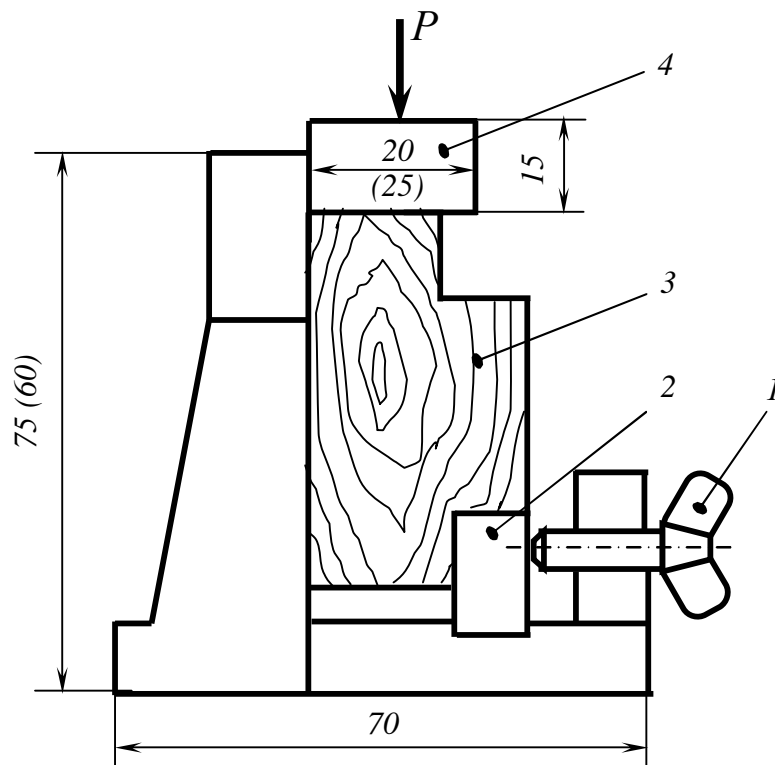


Рисунок 5.2 – Пристосування для випробування дерев'яного зразка на сколювання

При проведенні випробування зразок 3 (див. рис. 5.2) повинно встановити так, щоб обидві площини (вертикальна і горизонтальна) щільно

прилягали до відповідних частин рухомої опори 2, для чого остання пересувається настановним гвинтом 1. Затискання опори і зразка настановним гвинтом не допускається.

На верхню площину зразка кладеться сталева пластина 4.

Пристосування зі зразком встановлюють у випробувальну машину таким чином, щоб центр верхньої площини зразка знаходився по середині верхньої плити машини.

При навантаженні зразка зростаючим навантаженням P відбудеться зріз бічного виступу зразка. Площа сколювання $F=ab$.

Навантаження в момент сколювання P_{max} визначаються за шкалою силівимірювача машини.

Границя міцності при сколюванні визначається за формулою

$$t_{ми} = \frac{P_{max}}{F} .$$

Необхідні дані про матеріал, геометричні розміри зразка і результати експерименту заносяться до таблиці 5.1.

Таблиця 5.1

Зразок	Розміри сторін площадки сколювання $a \times b$, см×см	Площа сколювання F , см ²	Руйнуюче навантаження P_{max} , кН	Границя міцності на сколювання $\tau_{ми}$, МПа
Деревина вздовж волокон				
Деревина упоперек волокон				

За результатами експерименту необхідно зробити висновки.

5.3 Контрольні запитання

- 1 Яка мета даної лабораторної роботи?

- 2 Як заведено називати руйнацію деревини при зсуві?
- 3 На якій випробувальній машині проводяться випробування на сколювання деревини?
- 4 На яких зразках проводяться випробування деревини на сколювання?
- 5 Яке пристосування використовується для випробування деревини на сколювання?
- 6 Як визначається площа сколювання деревини у виробовуваного
- 7 зразка?
- 8 За якою формулою визначається межа міцності деревини при сколюванні?
- 9 Який характер руйнації деревини при зсуві?
- 10 Як заведено розрізняти випадки зсуву деревини у виробовуваних зразках?
- 11 У якому з відомих випадків зсуву дерево краще пручається руйнації?
- 12 Яким чином встановлюється зразок у пристосування для сколювання деревини?
- 13 Яким чином встановлюється пристосування із зразком у випробувальну машину?

6 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУЖЕНЬ У СТАЛЬНІЙ БАЛЦІ ПРИ ЗГИНАННІ

Мета роботи: *дослідити закон розподілу нормальних напружень за перерізом балки, порівняти експериментальні і розрахункові значення напружень*

6.1 Стислі теоретичні відомості

Експериментальні методи визначення деформацій і напружень застосовуються при механічних випробуваннях матеріалів і конструкцій.

Випробовування матеріалів проводяться з метою визначення їх механічних властивостей (границі текучості, граници міцності, ударної

в'язкості, границі витривалості та ін.), характерних для різних умов робіт матеріалу. Випробування матеріалів проводяться на зразках, розміри і форма яких можуть змінюватися у залежності від відповідних механічних властивостей, умов випробувань, існуючої вимірювальної апаратури.

Випробування всієї конструкції, її основних вузлів проводяться з метою оцінки стану конструкції, точності теоретичних розрахунків, а також правильності технологічних процесів виготовлення вузлів і складання конструкції, так як при недостатньо правильних технологічних прийомах можливе місцеве послаблення конструкції.

Існують різні експериментальні засоби визначення деформацій і напружень (за допомогою механічних тензометрів, оптичний метод, метод лакових покриттів, рентгенівський метод, метод електротензометрії).

У техніці випробування конструкцій в останній час широке розповсюдження одержав метод електротензометрії. Перевагами цього методу є велика точність вимірювання, можливість вимірювання величин, що швидко змінюються, вимірювання напружень в одній і тій же точці за декількома напрямками, зручність пристосування тензометра на деталях складної форми.

Електротензометричний метод вимірювання напружень заснований на законі прямої пропорціональної залежності омичного опору провідника від змінення його поперечного перерізу.

Дротяний датчик (рис. 6.1) являє собою наклеєний на смужку паперу l тонкий зигзагоподібно укладений дротик 2 діаметром $0,002 \dots 0,05$ мм із матеріалів з високим питомим опором (константану, ніхрому або манганіну). До кінців дротика підпаюють металеву фольгу або дріт 3 .

Датчик наклеюється на поверхню досліджуваної деталі так, щоб його база 1 збігалася з напрямком вимірюваної деформації. При щільному наклеюванні дротик видовжується разом із поверхнею досліджуваної деталі і її омичний опір змінюється і реєструється як показник деформації.

Відносна зміна омичного опору дротика $\frac{DR}{R}$ пропорційна відносному

подовженню $\frac{Dl}{l} = e$; тобто $\frac{DR}{R} = k \frac{Dl}{l} = ke$, звідки

$$e = \frac{DR}{Rk}, \quad (6.1)$$

де e – лінійна відносна деформація бази активного датчика;
 ΔR – збільшення омичного опору активного датчика внаслідок його деформації;
 R – опір активного датчика при відсутності деформації;
 k – коефіцієнт чутливості датчика, який залежить від матеріалу дроту датчика.

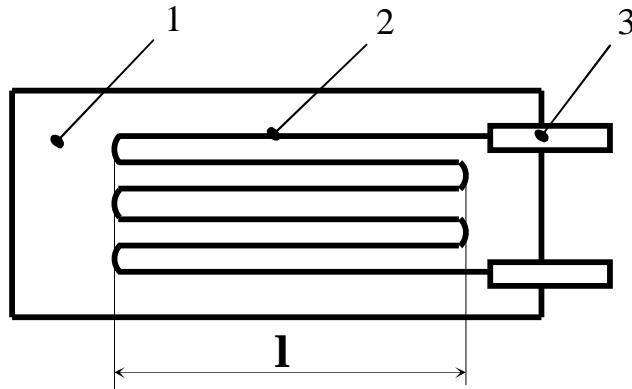


Рисунок 6.1 – Схема тензодатчика
(1 – база тензодатчика)

При статичних випробуваннях опір активного датчика визначається за допомогою вимірювального приладу, принцип роботи якого заснований на схемі моста Уїтстона (рис. 6.2).

У плечі моста (див. рис. 6.2) увімкнуті такі опори: опір активного датчика R_A , який наклеєний на поверхню випробуваної деталі, опір датчика температурної компенсації R_K , який наклеєний на не навантажену поверхню поблизу від активного датчика, опори R_1 і R_2 , гальванометр G , реостат R_3 для регулювання опору та джерело постачання.

Якщо струм в гілці гальванометра дорівнює нулю, то міст урівноважений. При деформації деталі під дією навантаження P (див. рис. 6.2) опір активного датчика R_A змінюється на величину ΔR . При цьому баланс моста порушується і в гілці гальванометра з'являється струм, сила якого збільшується із збільшенням ΔR . Знаючи силу струму в гілці гальванометра, опір усіх гілок містка, напруження в його гілці і коефіцієнт чутливості датчика, можна визначити ΔR .

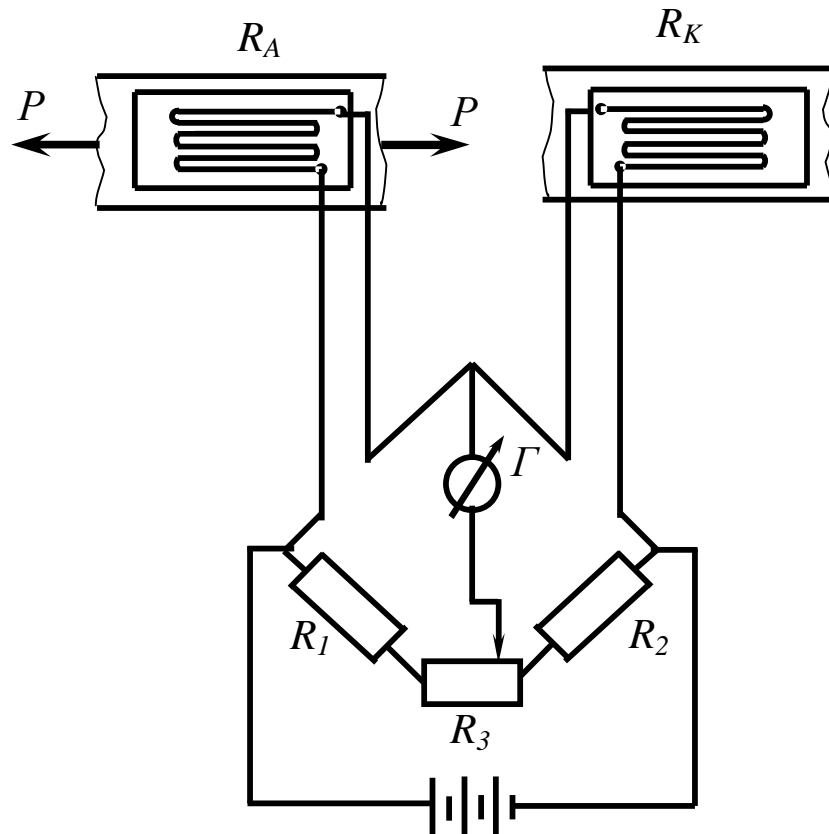


Рисунок 6.2 – Міст Уїтстона

При вимірюванні напружень в декількох точках опори R_1 , R_2 та R_K залишаються постійними, а опором R_A стають по черзі датчики, наклеєні в точках деталі.

На рисунку 6.3 зображена панель приладу ІДЦ- 1, в якому змонтовано міст Уїтстона.

У правій частині панелі посередині розташований кнопковий вимикач живлення приладу 1. Якщо кнопка втоплена – живлення включено.

У правій нижній частині розташовані десять пронумерованих кнопок 2 перемикання каналів вимірювання. У лівому нижньому куті панелі розташована кнопка 3 “Пуск”, призначена для вмикання цифрової індикації приладу 4.

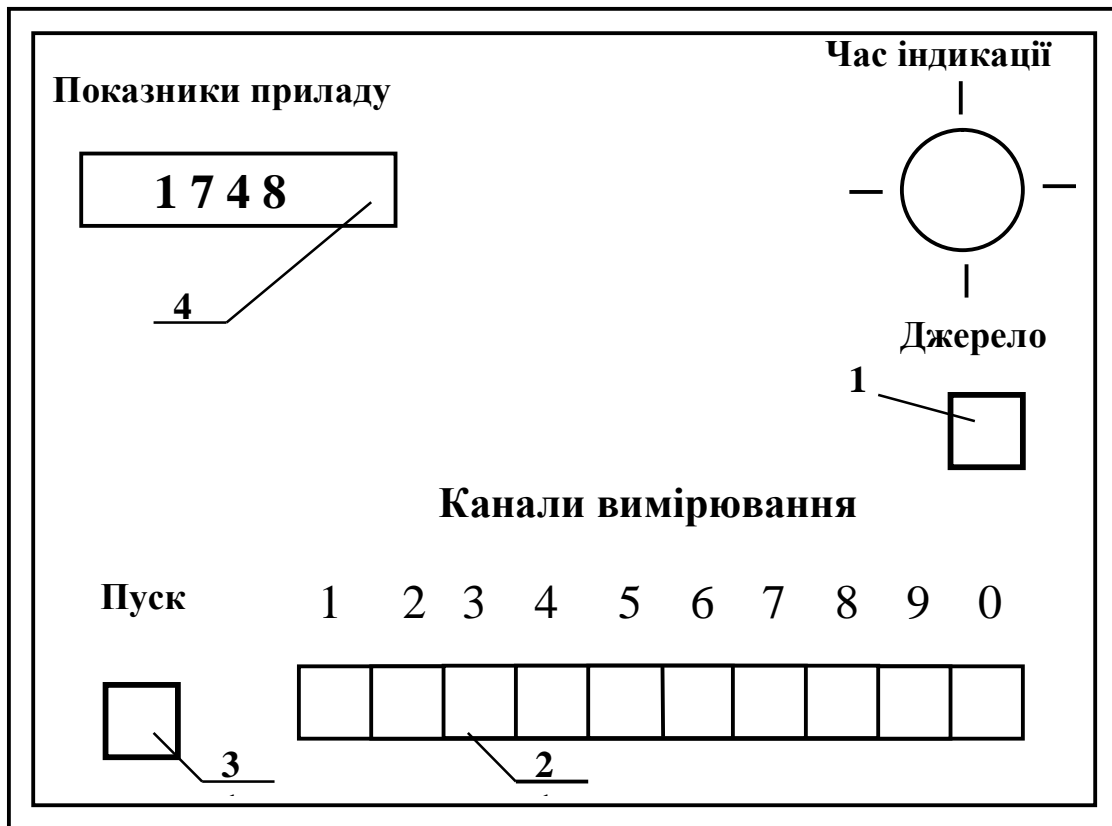


Рисунок 6.3 – Панель приладу ІЦЦ - 1

За допомогою приладу ІЦЦ-1 можна визначити деформацію або напруження в будь-якій точці, де розташовано заздалегідь протарований тензодатчик.

6.2 Тарування приладу

Перше ніж почати виконувати вимірювання, необхідно провести тарування тензорезисторів. У цій роботі використовується тарувальний прилад моделі ТА-12, показаний на рисунку 4.3.

Основним елементом приладу є сталеві планка l (див. рис. 6.4) з постійним перерізом $b \times h$. Навантаження планки l здійснюється обертанням маховика 2 , який приводить до дії навантажувальний механізм. Навантажувальний механізм, розміщений в корпусі приладу, складається із черв'ячної пари та гвинта. Для фіксування переміщення планки l використовується індикатор 3 годинникового типу.

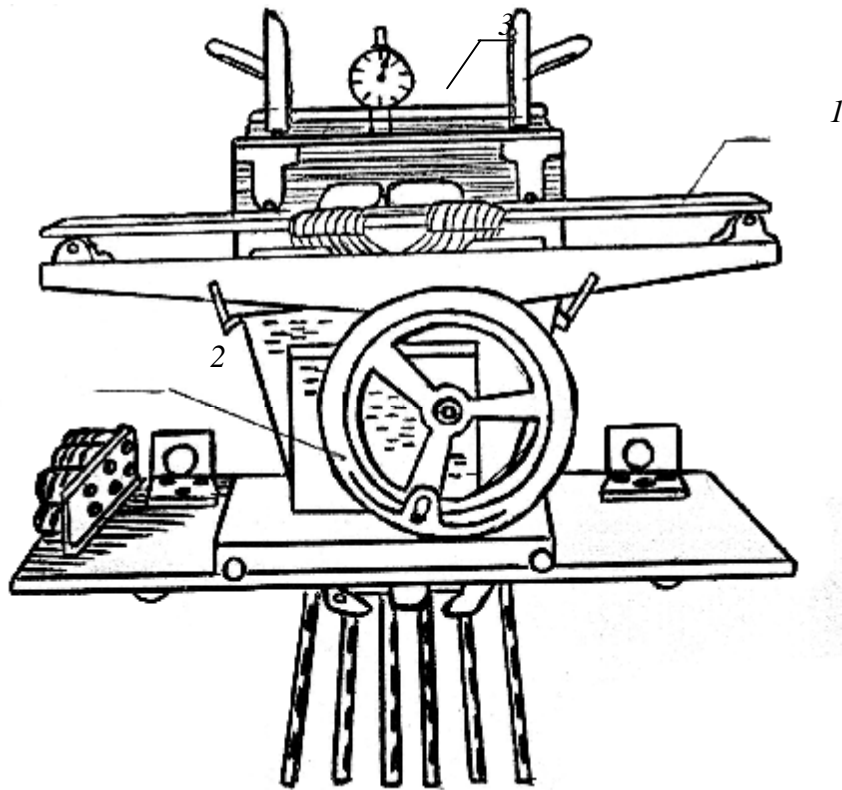


Рисунок 6.4 – Тарувальний прилад ТА-12

Планка 1 (рис. 6.5) являє собою шарнірно обперту вільно лежачу балку прольотом l з консолями довжиною a , на верхню поверхню якої наклеєний датчик 2. Переміщення планки 1 фіксується за допомогою індикатора 3 годинникового типу.

На кожний кінець консолі балки 1 за допомогою важеля 4 передається навантаження P . При цьому на ділянці планки довжиною l діє постійний згинальний момент, тобто на цій ділянці поверхневі деформації однакові.

Напруження в точці наклеювання датчика

$$s = eE = \frac{DR}{Rk} E = k_1 DR, \quad (6.2)$$

де k_1 – тарувальний коефіцієнт;

$\Delta R = R_2 - R_1$ – різниця показників вимірювального приладу, відповідна прирощуванню відносної деформації тарувальної балки.

Знаючи величину напруження σ в точці наклеювання датчика при навантаженні балки і різницю показників ΔR вимірювального приладу після навантаження балки, можна знайти тарувальний коефіцієнт k_I :

$$k_I = \frac{S}{DR}. \quad (6.3)$$

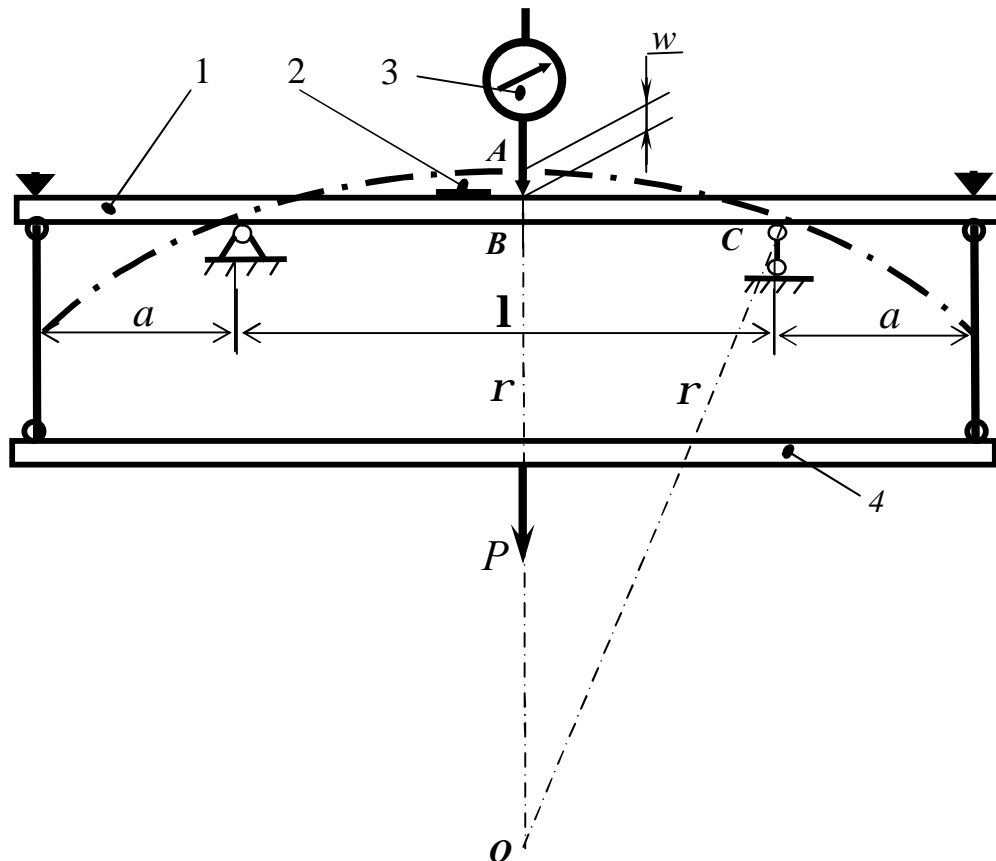


Рисунок 6.5 – Схема деформації тарувальної балки

Величину напруження σ в точці наклеювання датчика можна визначити за виміряним прогином $w=AB$ (див. рис. 6.5) балки.

Найбільше напруження у вказаній точці визначається за формулою

$$s = \frac{M}{W_{OC}} = \frac{EJ_{OC}}{rW_{OC}} = \frac{Eh}{2r}, \quad (6.4)$$

де ρ – радіус кривизни нейтрального шару планки, який можна визначити з трикутника OBC (див. рис. 6.5).

Визначимо радіус кривизни нейтрального шару планки ρ з трикутника OBC за формулою Піфагора:

$$r^2 = (r - w)^2 + \left(\frac{l}{2}\right)^2, \quad (6.5)$$

$$r^2 = r^2 - 2rw + w^2 + \frac{l^2}{4}. \quad (6.6)$$

Скорочуємо на ρ^2 і нехтуємо величиною w^2 через її малість. Після перетворення формули (6.6) маємо

$$r = \frac{l^2}{8w}. \quad (6.7)$$

Після підстановки формули (6.7) у формулу (6.4) знайдемо:

$$s = \frac{4wEL}{l^2}, \quad \frac{l}{r} = \frac{8w}{l^2} \quad (6.8)$$

Для тарувальної планки $l=200$ мм, $h=6$ мм. Прогин тарувальної балки в середині перерізу задаємо 0,5 мм.

Підставивши всі ці дані до формули (6.8), визначимо напруження σ в точці наклеювання датчика:

$$s = \frac{4wEL}{l^2}.$$

$$e = \frac{(r + y)dq - rdq}{rdq} = \frac{y}{r}.$$

$$s = eE = \frac{y}{r} E = \frac{y \cdot 8w}{l^2} E.$$

$$s_{MAX} = \frac{4hwE}{l^2} = \frac{4 \cdot 0,6 \cdot 10^{-2} \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^5}{0,2^2} = 60 \text{ МПа}$$

6.3 Проведення вимірювання

Прилад для вимірювання напружень складається з двотаврової балки *I* (рис. 6.6), яка лежить на двох опорах *2* і навантажена посередині. Навантажуючий пристрій являє собою важіль *3*, який закріплений з одного боку і має підвіс *4* для розміщення гирь *5* з протилежного боку. На балці *I* наклеєні тензорезистори *6*, які підключені до приладу ІДЦ-1 (на рис. 6.6 не показаний). Поряд з балкою на окремій планці приклеєний компенсаційний (R_K) тензорезистор *7*.

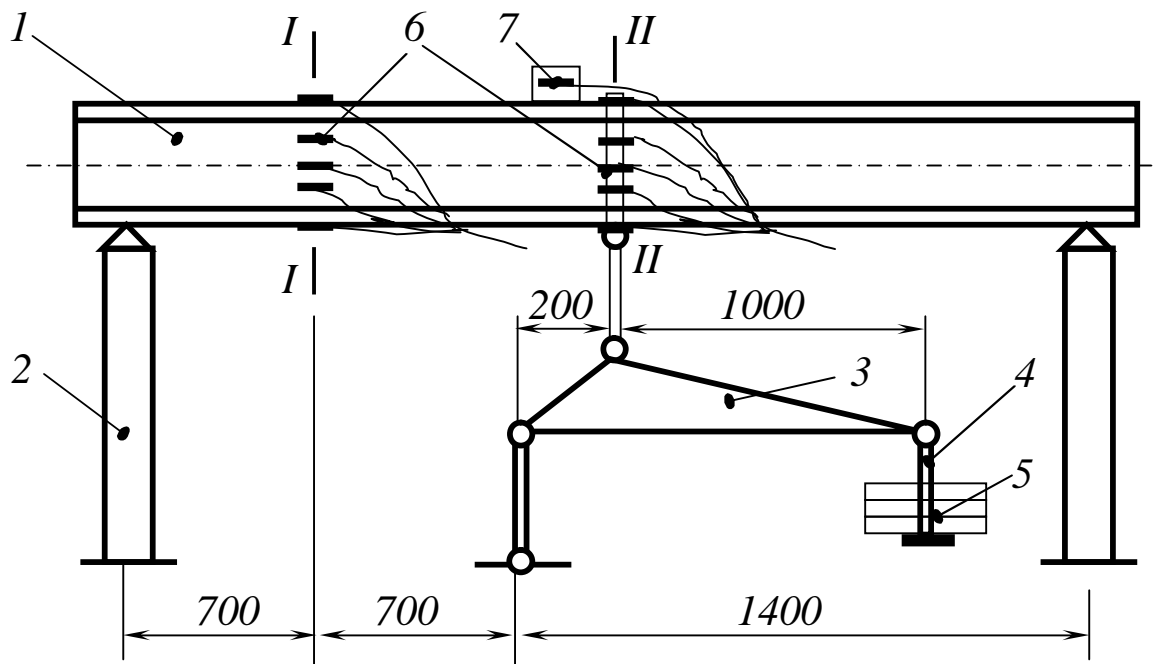


Рисунок 6.6 – Схема навантаження вимірювальної балки і наклеювання тензорезисторів на ній

Напруження вимірюються в десятих точках перерізів *I-I* і *II-II* двотаврової балки *I* (двотавр *10*, у якого $I_x=224 \text{ см}^2$), навантаженої за допомогою важеля *3*, до якого підвішують гирі *5* (див. рис. 6.6).

Схема розміщення тензорезисторів на поверхні балки показана на рисунку 6.7. У дужках означені номери тензорезисторів, які розташовані в перерізі *II-II*.

Результат вимірювання визначається як різниця абсолютних значень двох показників приладу – початкового, при ненавантаженій балці, і повторного – при навантаженій. Вимірювання проводять шляхом короткочасного натискання кнопки «Пуск». Відлік значень проводиться візуально за цифровим табло приладу.

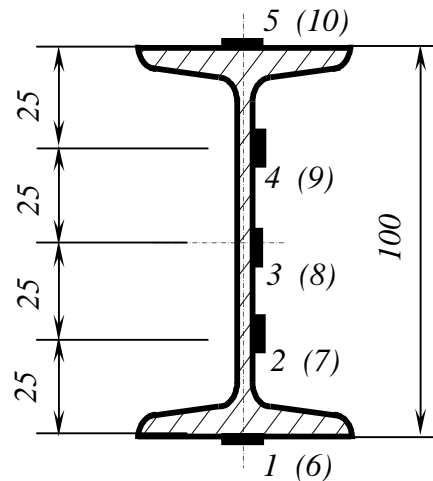


Рисунок 6.7 – Схема наклеювання тензорезисторів на вимірювальній балці

Напруження в кожній точці балки визначається за формулою

$$s_i = k_1 \Delta R_i, \quad (6.9)$$

де ΔR_i – різниця показників приладу при замірі опору в i -му датчику.

Результати випробувань і розрахунків заносяться до таблиці 6.1.

Таблиця 6.1

№ п/п	Показання приладу		$\Delta R = R_1 - R_2$	Величина напруження, МПа	
	До навантаження	Після навантаження		експеримент.	теоретична
Тар.					
1					
2					
...					
...					
10					

До таблиці слід занести і теоретичні значення напружень, які визначаються за формулою

$$s_{теор} = \frac{My}{J_x}, \quad (6.10)$$

де M – згинальний момент у перерізі,

y – відстань від нейтральної осі до точки, в якій визначається напруження,

J_x – головний момент інерції площі перерізу відносно нейтральної осі Ox

6.4 Обробка результатів експерименту

За одержаними в експерименті величинами напружень визначається апроксимована функція. У цій роботі при визначенні характеру апроксимованої функції застосовано метод найменших квадратів. Відповідно до цього методу сума квадратів різниць між експериментальними значеннями напружень s_{ei} і розрахунковими s_{ai} за апроксимуючою функцією повинна бути мінімальною:

$$\sum_{i=1}^n (s_{ei} - s_{ai})^2 = \min.$$

За характером змінення напружень в якості апроксимуючої функції беремо рівняння прямої у формі $s_{ai} = ky_i$,

де k – коефіцієнт регресії, який знаходиться з умови

$$\frac{\partial S}{\partial k} (s_{ei} - ky_i)^2 = 0, \text{ звідки } k = \frac{\sum s_{ei} y_i}{\sum y_i^2}.$$

Визначимо значення коефіцієнта регресії для перерізу $I-I$ і $II-II$ і будемо епюри напружень.

Аналізуючи відхилення теоретичної прямої від аналітичної, робимо висновок про точність теоретичних положень.

6.5 Контрольні запитання

- 1 Яка мета даної експериментальної роботи?
- 2 У чому суть методу електротензометрії?
- 3 Як улаштований дротяний датчик?
- 4 Що уявляє собою міст Уїтстона?
- 5 За допомогою якого приладу фіксуються напруження?
- 6 Як проводиться тарування тензорезисторів?
- 7 Як визначаються максимальні напруження в тарувальній балці?
- 8 Який порядок проведення випробувань?
- 9 Як визначаються теоретичні напруження при згинанні?
- 10 У чому суть математичної обробки результатів випробувань?
- 11 Що таке коефіцієнти регресії, з якої умови вони визначаються?

7 ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИН ЛІНІЙНИХ ТА КУТОВИХ ПЕРЕМІЩЕНЬ ПРИ ЗГИНАННІ КОНСОЛЬНОЇ БАЛКИ

Мета роботи: визначити дослідним шляхом величини прогинів та кутів повороту перерізів при прямому поперечному згинанні консольної балки і порівняти їх з теоретичними значеннями

7.1 Стислі теоретичні відомості

При дії на балку зовнішніх сил, які розташовані в одній з головних площин інерції і діючих за нормаллю до її осі, має місце пряме згинання: викривлення осі балки відбувається в силовій площині. Вісь деформованої балки називають пружною лінією. Деформація балки характеризується двома величинами: прогином, тобто переміщенням точки осі балки

перпендикулярно до її деформованої осі, та кутом повороту, тобто кутом, на який повертається кожний поперечний переріз навколо нейтральної осі у відношенні до свого початкового положення.

Найбільший прогин називається стрілою прогину. Кути повороту перерізів дорівнюють куту між віссю z і дотичною до пружної лінії.

Рівняння $y=f(z)$, яке виражає залежність між прогином при заданому навантаженні та координатою z , називається *рівнянням пружної лінії*.

Для визначення переміщень і кутів повороту перерізів існує декілька методів:

- метод безпосереднього інтегрування рівняння пружної лінії:

$$EJ_x y'' = M(z);$$

- метод початкових параметрів;
- енергетичний метод (за допомогою інтеграла Мора). Інтеграл Мора можна визначити за способом Верещагіна, за формулою крайніх ординат та іншими способами.

7.2 Опис випробувального приладу

7.2.1 Технічна характеристика приладу

1 Найбільше допустиме зусилля – 118 Н (12 кг).

2 Випробувальний зразок:

- поперечний переріз – 10×50 мм;
- робоча довжина консолі – 600 мм;
- матеріал – сталь пружинна, марки 60С2.

3 Спосіб визначення прогинів та кутів повороту перерізу зразка – за допомогою трьох індикаторів годинникового типу з ціною поділки 0,01 мм

4 Габаритні розміри – 900×540×1155 мм, маса – 92 кг

7.2.2 Принцип роботи приладу

Прилад типу СМ7Б (рис. 7.1) складається із наступних основних частин: литого столу 6, до якого нерухомо прикріплено випробувальний зразок 7, двох колон 3, встановлених на регулюючих гвинтах-ніжках 1, стяжки 2, гирьових підвісів 5 і набору вантажів 4.

Випробувальний зразок являє собою балку прямокутного перерізу розміром 10×50 мм, виготовлену з пружинної сталі марки 60С2. На лицьовій стороні балки нанесена шкала для зручності відліку пліч навантаження. Вздовж зразка можуть переміщуватися гирьові підвіси з набором вантажів. Підвіс і стрижень можуть бути прикріплені за допомогою гвинтів до досліджуваного зразка в будь-якій точці його робочої довжини. При прямому поперечному згині балки кожний поперечний переріз її переміщується в площині дії навантаження. Центр ваги перерізу одержує вертикальне зміщення – прогин, а сам переріз повертається в площині дії навантаження.

Дослідне визначення величин прогинів проводиться в двох перерізах випробувального зразка за допомогою індикаторів 9 годинникового типу з ціною поділки 0,01 мм. Індикатори 9 закріплені в штативах-стояках 10 і можуть переміщуватися вздовж зразка в Т-подібному пазу стола приладу. Ніжка індикатора при вимірюванні упирається в поверхню зразка і фіксується в точці заміру. Дослідне визначення величин кутів повороту проводиться в одному з перерізів дослідного зразка за допомогою індикатора годинникового типу 5 з ціною поділки 0,01 мм. Ніжка індикатора, який закріплений в аналогічному штативному стояку, упирається в п'ятку стрижня.

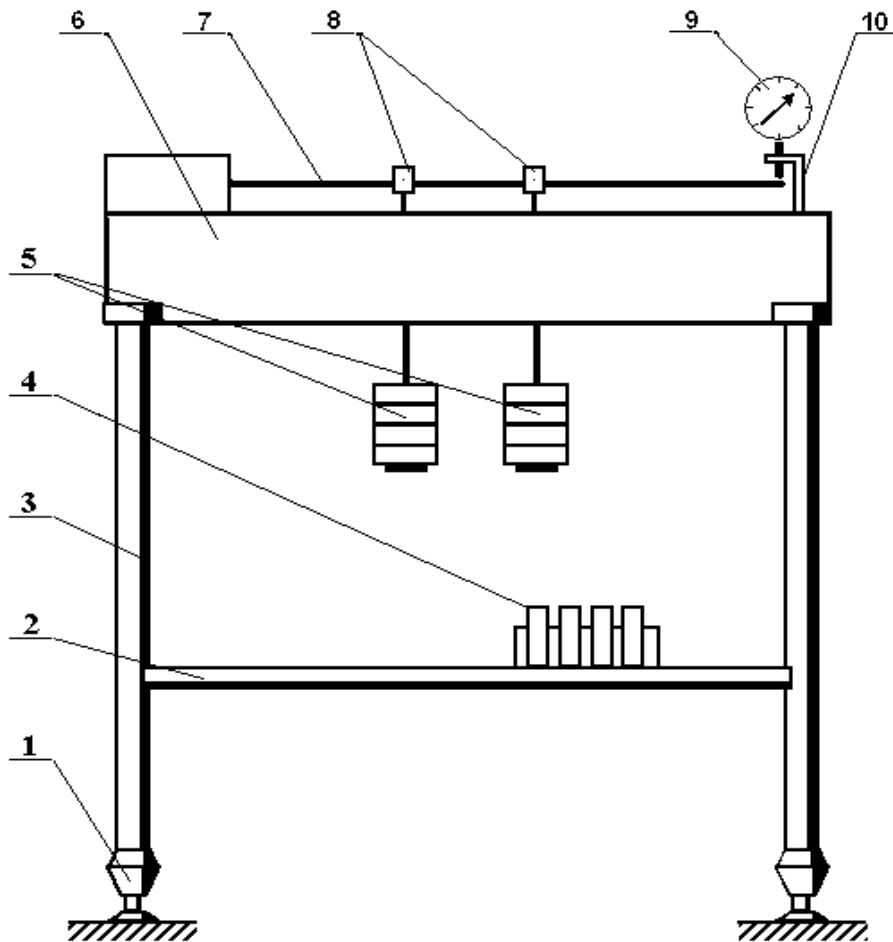


Рисунок 7.1 – Загальний вигляд приладу СМ7Б

Довільний вибір місця прикладення навантаження і перерізів балки для вимірювання прогинів та кутів повороту дозволяє різноманітні вихідні дані для виконання лабораторної роботи в надто широких межах.

7.3 Проведення досліджень і обробка даних

- 1 Згідно з вказаною викладачем розрахунковою схемою підготувати прилад для виконання дослідження.
- 2 За допомогою штангенциркуля провести вимірювання розмірів поперечного перерізу випробувального зразка.
- 3 Установити стрілки індикатора на “0”.
- 4 Навантажити балку початковим навантаженням.
- 5 Провести початковий відлік за шкалами всіх індикаторів.

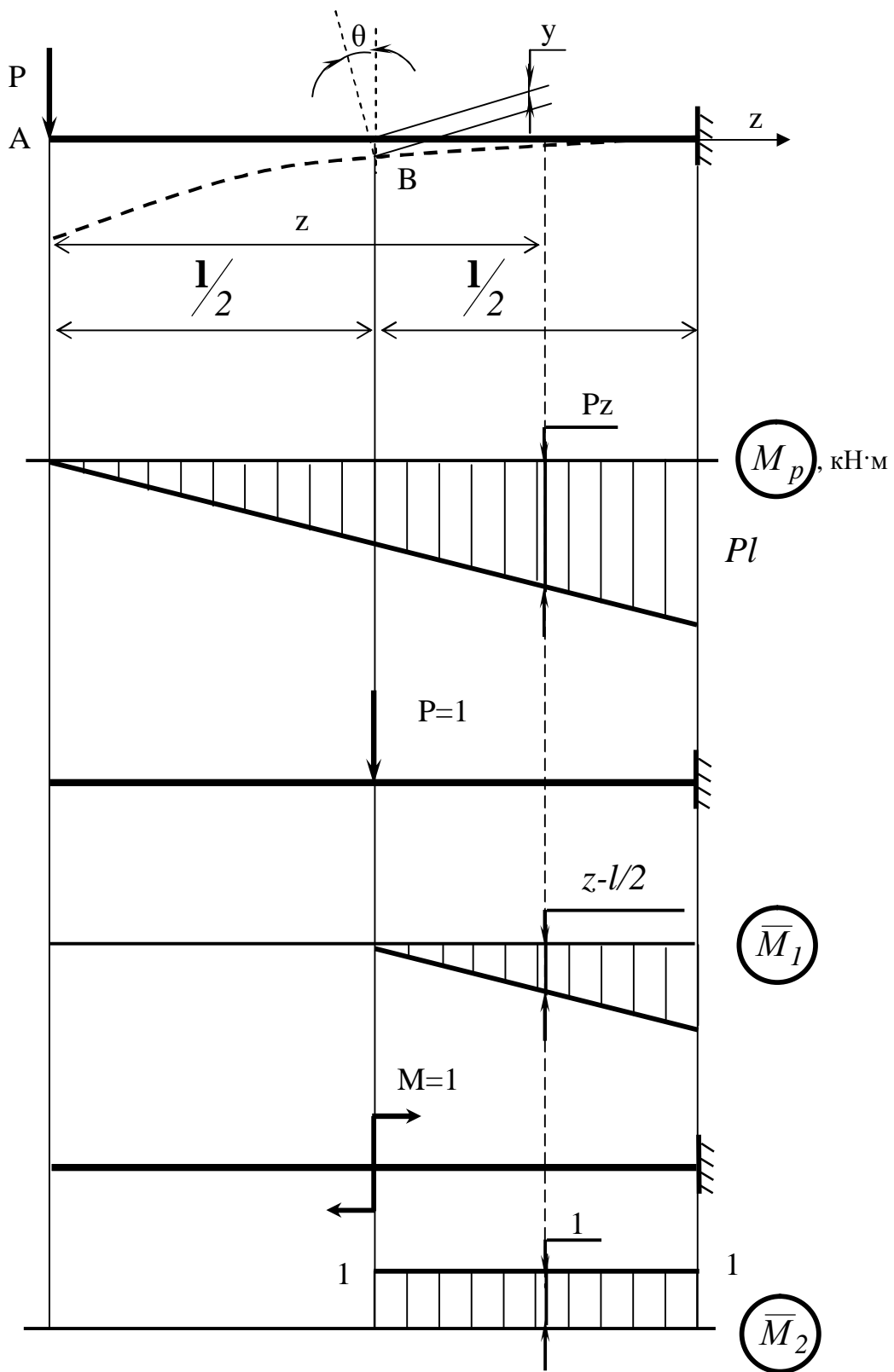


Рисунок 7.2 – Розрахункова схема

- 6 Визначити величину ступеня навантаження ΔP . Потім, даючи однакові прирости навантаженням, провести 4...5 навантажень випробувального зразка в пружній зоні. Найбільша величина навантаження не повинна перевищувати 118Н (12 кг).
- 7 Після кожного приросту навантаження на величину ΔP реєструвати приріст величин прогинів Δy і δ , за допомогою якого визначається кут повороту перерізу.
- 8 По закінченні досліду балку розвантажити і порівняти показники індикаторів з початковими.
- 9 Обчислити середньоарифметичне значення величин приросту прогинів в процесі досліду Δy_{cp} .
- 10 Обчислити середнє значення величин приросту кутів повороту перерізів в процесі досліду за формулою

$$\Delta q_{CP} = \frac{\Delta y_{CP}}{L},$$

де L – розрахункова довжина стрижня, яка вимірюється від осі дослідного зразка до осі індикатора (величина L нанесена безпосередньо на стрижні).

- 11 Виконати теоретичний розрахунок величин прогинів та кутів повороту перерізів при навантаженні, рівному ΔP (розрахункова схема наведена на рис. 7.2). Для цього рекомендується за узгодженням з викладачем скористуватися інтегралом Мора, формулою крайніх ординат або рівнянням пружної лінії в універсальній формі.

Допустима величина розходження Δ не повинна перевищувати $\pm 5\%$.

7.4 Контрольні запитання

- 1 Яка мета даної лабораторної роботи?
- 2 Чим відрізняються метод сил і метод переміщень?
- 3 Що таке узагальнена сила і узагальнена деформація і які їх одиниці?
- 4 У чому суть теорем про взаємність робіт і взаємність переміщень?
- 5 Особливості методу початкових параметрів?

- 6 Як обчислити переміщення за допомогою інтеграла Мора?
- 7 Які вам відомі методи обчислювання інтеграла Мора?
- 8 У чому полягає формула крайніх ординат?

8 ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИНИ ПРОГИНІВ ТА КУТІВ ПОВОРОТУ ПЕРЕРІЗІВ БАЛКИ. ДОСЛІДНА ПЕРЕВІРКА ТЕОРЕМИ ПРО ВЗАЄМНІСТЬ РОБІТ ТА ПЕРЕМІЩЕНЬ

Мета роботи: визначити дослідним шляхом величини прогинів та кутів повороту опорних перерізів двоопорної балки та порівняти їх з теоретичними величинами; дослідним шляхом перевірити теорему про взаємність робіт та переміщень.

8.1 Опис дослідної установки

8.1.1 Технічна характеристика

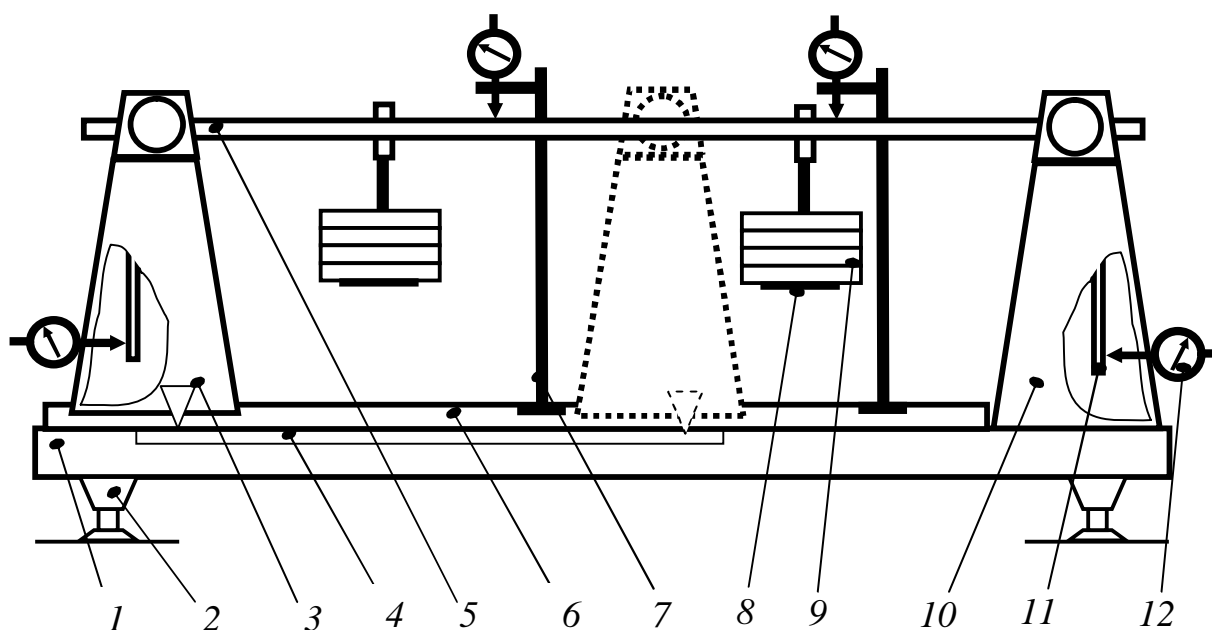
- 1 Найбільш допустиме зусилля – дві зосереджені сили по 59 Н (6 кг) кожна.
- 2 Випробувальний зразок:
 - поперечний переріз – $7 \times 40\text{ мм}$
 - довжина балки між опорами – $700\text{-}1000\text{ мм}$
 - довжина консолі – 300 мм
 - матеріал зразку – сталь високовуглецева.
- 3 Визначення прогинів та кутів повороту перерізів – за допомогою індикаторів годинникового типу з ціною поділки – $0,01\text{ мм}$.
- 5 Найбільша величина прогину – 10 мм .
- 6 Габаритні розміри: $1225 \times 240 \times 415\text{ мм}$
- 7 Маса – 52 кг

8.2 Пристрій установки та її принцип роботи

Установка (рис. 8.1) складається із наступних основних частин: каркасу 1, встановленого на чотирьох регульованих гвинтах-ніжках 2, двох стійок: пересувної 3 та нерухокої 10, на яких змонтовано випробувальний зразок 5; двох індикаторних стійок 7; двох гирьових підвісів 8 та набору вантажів 9.

Випробувальний зразок 10 виготовлено із високовуглецевої сталеві смуги розмірами 7 x 40 мм та встановлений на опори (стійки).

Нерухома стійка 10 закріплена гвинтами до каркасу та обладнана шарнірно-нерухомою опорою, котра складається з осі, встановленої на шарикопідшипниках, та стрижня 11 для вимірювання кутів повороту опорного перерізу зразку. До стрижня 11 притискається вимірювальний штир індикаторної головки 12.



*Рисунок 8.1 – Загальний вигляд установки
для визначення переміщень двоопорної балки*

Пересувна стійка 3 обладнана шарнірно-рухомою опорою і має можливість переміщуватися за напрямною планкою 6, закріпленою на каркасі 1 установки, що дозволяє регулювати довжину прольоту балки від 700 до 1000мм, а також отримувати балку з одним вільним кінцем (консольну балку). У необхідному випадку пересувна стійка 3 може бути

жорстко закріплена на напрямній планці 6 за допомогою стопору. Переміщення пересувної стійки 3 визначається за шкалою, яка закріплена на каркасі 1 установки.

Навантаження випробувальної балки 5 здійснюється за допомогою гирьових підвісів 8 та набору вантажів 9. При цьому є можливість змінювати точки прикладення навантаження. Визначення відстані від опори до точки, де прикладається навантаження здійснюється за шкалою, що нанесена на балці 3.

Вимірювання прогинів та кутів повороту опорних перерізів зразку проводиться за допомогою індикаторів годинникового типу 12 з ціною поділки 0,01 мм. Індикатори для вимірювання прогинів закріплені на індикаторних стійках 7.

Можливість зміни довжини прольоту балки, точок прикладення навантаження та її величини, а також одержання двоопорної балки з одним вільним кінцем дозволяє задавати умови задачі в дуже широких межах.

8.3 Проведення випробувань та обробка результатів

Визначення величин прогинів та кутів повороту опорних перерізів здійснюється у такій послідовності.

1 Відповідно до указаної викладачем схеми навантаження підготувати установку, тобто:

- встановити необхідну відстань між опорами;
- встановити індикаторну стійку у тому місці, де вимірюється прогин;
- встановити гирьовий підвіс в точці, де прикладена зосереджена сила.

2 Провести вимірювання поперечного перерізу зразка.

3 Встановити стрілки усіх індикаторів на нуль.

4 Навантажити балку початковим навантаженням ($P=0,5\text{ кг}$).

5 Провести початковий відлік за шкалою кожного з індикаторів.

6 Надаючи однакові збільшення навантаження ($P=0,5\text{ кг}$), виконати 3...4 навантаження.

7 Після кожного навантаження визначати лінійні та кутові зміщення за шкалами індикаторів.

8 По закінченні випробування балку розвантажити.

9 Підрахувати середнє – арифметичне збільшення прогинів

$$Dy = \frac{Dy_1 + Dy_2 + Dy_3}{3}.$$

10 Підрахувати збільшення дослідних значень кутів повороту перерізу Dq_{cp} . Для цього спочатку підрахувати середнє арифметичне збільшень показання індикаторів, які вимірюють кут повороту – Dx_{cp} .

Після цього збільшення кутів повороту визначається за формулою

$$\Delta q_{cp} = \frac{\Delta u_{cp}}{\mathbf{1}},$$

де $\mathbf{1}$ – розрахункова довжина стрижня між віссю зразка та віссю індикатора, $\mathbf{1} = 150 \text{ мм}$.

11 Визначити теоретичні значення величин прогинів і кутів повороту, використовуючи формулу початкових параметрів

$$EJ_x = EJ_x y_0 + EJ_x q_0 z + R_1 \frac{z^3}{6} - P \frac{(z-a)^3}{6},$$

де R_1 – реакція лівої опори;

a – відстань від лівої опори до сили P ;

y_0 – прогин у початку координат;

q_0 – кут повороту спочатку координат, який знаходиться з умови: при $z=0 \rightarrow y=0$.

$E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ – модуль пружності

J_x – момент інерції перерізу балки.

Для визначення прогинів та кутів повороту також можливо використати інтеграл Мора

$$y = \int \frac{M_p M_1}{EI} dz .$$

12 Обчислити різницю між теоретичними та дослідними результатами за формулою

$$\Delta = \frac{\Delta y_{\text{дос}} - \Delta y_{\text{теор}}}{\Delta y_{\text{дос}}} 100 \% .$$

13 Перевірка теореми про взаємність робіт проводиться у такій послідовності (схема навантаження подана на рис. 8.2):

а) встановити індикаторні стійки у двох будь-яких перерізах балки 1-1 та 2-2;

б) навантажити балку в перерізі 1-1 силою P_1 ;

в) визначити за індикатором прогин (y_{21}) у перерізі 2-2;

г) розвантажити балку;

д) навантажити балку в перерізі 2-2 силою P_2 ; у частковому випадку (при перевірці теореми про взаємність переміщень), сили можуть бути рівними ($P_1 = P_2$);

е) визначити прогин (y_{12}) в перерізі 1-1;

ж) розвантажити балку;

и) виконати перевірку теореми про взаємність робіт:

$$P_1 y_{12} = P_2 y_{21} .$$

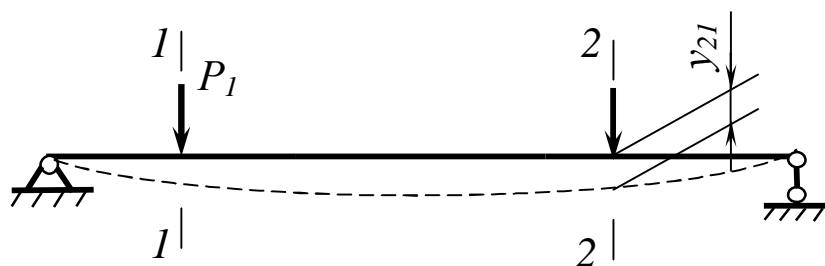


Рисунок 8.2 – Схема навантаження балки

8.4 Контрольні запитання

- 1 Яка мета даної лабораторної роботи?
- 2 Що являє собою універсальне рівняння пружної лінії?
- 3 Що являють собою початкові параметри у цьому рівнянні?
- 4 З яких умов визначаються початкові параметри?
- 5 У чому полягає теорема про взаємність робіт?
- 6 Як обчислюються переміщення методом Мора?
- 7 Який вигляд має інтеграл Мора при згинанні?
- 8 Які існують методи обчислення інтеграла Мора?
- 9 Як визначаються переміщення за допомогою формули крайніх ординат?

9 ВИЗНАЧЕННЯ МОМЕНТА ЗАЦІМЛЕННЯ ОДНОПРОГІННОЇ СТАТИЧНО НЕВИЗНАЧУВАНОЇ БАЛКИ

Мета роботи: *визначити дослідним шляхом величину моменту зацімлення однопрогінної статично невизначуваної балки і порівняти його з теоретичним значенням*

9.1 Стислі теоретичні відомості

У ряді випадків для визначення опорних реакцій балок рівнянь статики недостатньо, тобто кількість опорних реакцій більше кількості рівнянь статики, які можна скласти для даної балки. Такі балки називаються статично невизначуваними. Відсутні рівняння, так звані рівняння переміщень, кількість яких відповідає числу “зайвих” невідомих, складають з умов спільності деформації.

Термін “зайві” невідомі, який широко застосовують у теорії статично невизначуваних систем, у значній мірі умовний. Додаткові опорні закріплення балок і рам (додаткові в тому розумінні, що вони не є необхідними для забезпечення геометричної незмінюваності системи) дають підвищення міцності і жорсткості конструкцій і, тим самим аж ніяк

не зайві. Отже, «зайвими» вони називаються тільки з погляду мінімально необхідної кількості зв'язків, що повинна мати балка (рама) і які можуть бути знайдені з рівнянь статики. Питання про те, які із зв'язків, накладених на систему, можна вважати “зайвими”, у будь-якому випадку має незліченну кількість рішень. З цих рішень треба вибрати те, що призводить найбільше коротким шляхом до визначення «зайвих» невідомих. У багатьох найпростіших задачах різноманітні варіанти вибору «зайвих» невідомих виявляються практично рівноцінними.

При розрахунку статично невизначуваних систем можна за невідомі приймати як сили або силові чинники, так і переміщення або деформаційні чинники. У першому випадку маємо так називаний *метод сил*, у другому - *метод переміщень*.

Розрахунок за *методом сил* проводять у такій послідовності:

1 Встановлюють ступінь статичної невизначуваності конструкції.

2 Шляхом виділення “зайвих” зв'язків заміняють *задану систему* статично визначною, яку називають *основною системою*. Таких систем можна побудувати декілька, дотримуючись при цьому умови їхньої геометричної незмінюваності.

3 Основну систему навантажують заданими зовнішніми силами і зайвими невідомими, які заміняють дію відкинутих зв'язків, у результаті чого одержують *еквівалентну систему*.

4 Для забезпечення еквівалентності вихідної й основної систем невідомі зусилля повинні бути підібрані так, щоб деформації основної системи не відрізнялися від деформацій заданої статично невизначуваної системи. Для цього переміщення точок прикладення зайвих невідомих за напрямком їхньої дії дорівнює нулю. З отриманих рівнянь визначають значення “зайвих” невідомих зусиль. Знаходити переміщення відповідних точок можна будь-яким засобом, проте краще використовувати при цьому формулу крайніх ординат.

5 Після визначення значень “зайвих” невідомих зусиль знаходять опорні реакції і будують епюри внутрішніх зусиль.

6 Підбирають перерізи і виконують перевірку міцності звичайним способом.

9.2 Опис випробувальної установки

9.2.1 Технічна характеристика

- 1 Монтаж установки – на столі навчальної лабораторії.
- 2 Найбільше допустиме зусилля – зосереджені сили по $29,4 \text{ Н}$ (3 кг) кожна.
- 3 Випробувальний зразок:
 - поперечний переріз – $3 \times 40 \text{ мм}$;
 - довжина прогону – $650 \dots 800 \text{ мм}$;
 - довжина консолі – 200 мм ;
 - матеріал – сталь марки Ст.3.
- 4 Визначення кутів повороту опорного перерізу балки – за допомогою індикатора годинникового типу з ціною розподілу $0,01 \text{ мм}$
- 5 Габаритні розміри: $1265 \times 240 \times 365 \text{ мм}$
- 6 Маса – 36 кг

9.2.2 Конструкція і принцип дії установки

Установка для визначення моменту защемлення однопрогінної статично невизначеної балки (типу СМ 11А) (зображена на рис. 9.1).

Установка має такі основні частини: основа 13, яка встановлена на чотирьох ніжках-гвинтах 12. На основі 13 розміщені нерухома 7 і рухома 11 стійки (циліндричні шарніри), які тримають досліджувальний зразок 8 (балку) .

Рухома стійка 11 має можливість пересуватись за напрямним 14 і фіксуватись у заданому положенні. При цьому довжина балки 8 може змінюватись у межах від 650 мм до 800 мм . Для зручності відліку довжини балки 8 на напрямних 14 закріплена шкала 15.

Навантаження зразка здійснюється за допомогою двох підвісок 9, на які накладаються вантажі 10 масою 1 кг . Підвіски 9 переміщуються уздовж зразка 8 вручну і при необхідності можуть бути прикріплені до нього за допомогою гвинтів в будь-якій точці прогону балки.

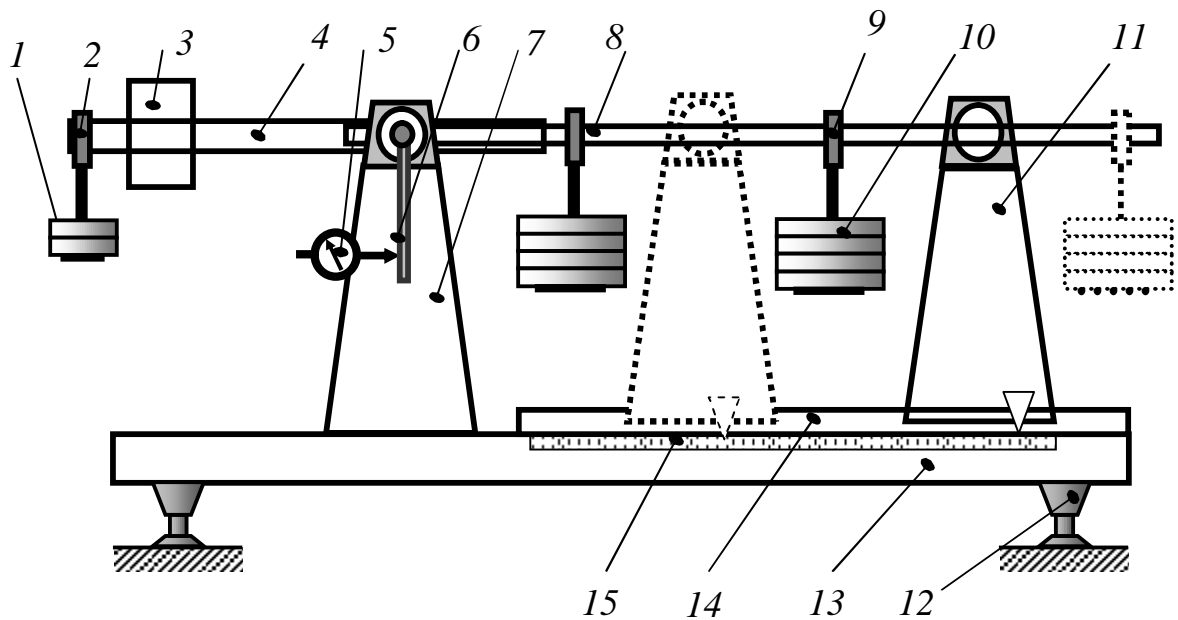


Рисунок 9.1 – Загальний вигляд установки

Нерухома стійка 7 прикріплена гвинтами до основи 13 і має пристрій, що дозволяє імітувати жорстке зацімлення балки (рис. 9.2).

Вищевказаний пристрій установлений на лівому кінці балки 8 і складається з горизонтально розташованого важеля 4 із противагою 3 масою 3 кг і гирьового підвісу 2, на який накладаються з'йомні вантажі 1 масою 0,5 кг.

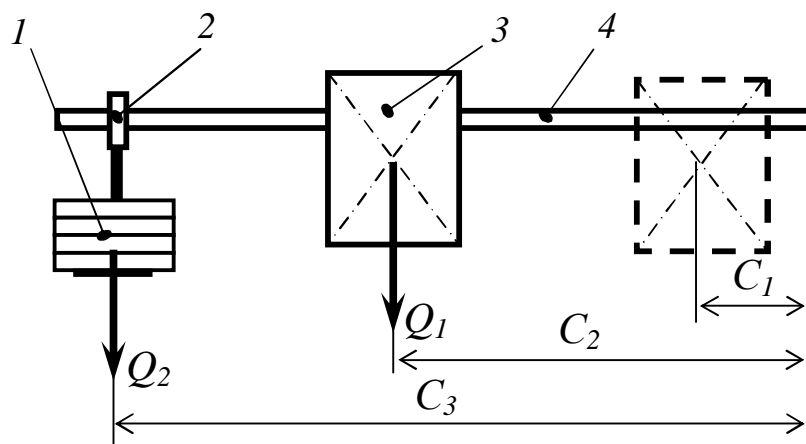


Рисунок 9.2 – Пристрій, який імітує жорстке закріплення

На правому виступаючому кінці осі розміщений стрижень 6 для виміру кутів повороту опорного перерізу балки. Стрижень має в нижній

частині п'ятку, в яку упирається ніжка індикатора 5 годинникового типу з ціною розподілу 0,01 мм. При навантаженні балки опорний переріз її повертається на кут повороту, розмір якого реєструється за шкалою індикатора 5. При накладанні вантажу на гирьовий підвіс важеля 4 і переміщенні противаг 3 уздовж важеля, можна врівноважити балку, тобто зробити такий її стан, при якому кут повороту опорного перерізу буде дорівнювати нулю, що і відповідає жорсткому зацімленню.

9.3 Проведення випробування й опрацювання даних

Довільний вибір схеми навантаження дозволяє різноманітити вихідні дані для виконання лабораторної роботи у дуже широких межах. Лабораторна робота проводиться в такій послідовності:

- 1 Відповідно за зазначеною викладачем розрахунковою схемою підготувати установку для виконання експерименту.
- 2 За допомогою штангенциркуля зробити виміри розмірів поперечного перерізу досліджуваного зразка.
- 3 Встановити стрілку індикатора на нуль.
- 4 За шкалою важеля зробити відлік початкової координати C_1 (див.рис. 9.2) противаги 3 щодо опорного перерізу зразка.
- 5 Визначити розмір ступеня навантаження. Потім, даючи однакові збільшення навантажень, зробити 2...3 навантаження досліджуваного зразка в пружній зоні. Найбільша величина навантаження не повинна перевищувати $29,4 \text{ Н}$ (3 кг) на один гирьовий підвіс.
- 6 Після кожного збільшення навантаження реєструвати збільшення кутів повороту опорного перерізу балки за шкалою індикатора. За показниками індикатора переконатися в лінійній залежності переміщень від навантаження.
- 7 Усунути противагу з вихідного положення C_1 у положення C_2 (див. рис. 9.2), що відповідає поверненню стрілки індикатора у вихідне положення, тобто на нуль. При необхідності можна скористатися з'йомними вантажами масою $0,5 \text{ кг}$, які накладаються на гирьовий підвіс, надітий на кінець важеля.
- 8 По закінченню експерименту балку розвантажити.

9 Визначення розміру моменту защемлення зробити за формулою

$$M = Q_1 (C_2 - C_1) + Q_2 C_3, \quad (9.1)$$

де Q_1 – маса противаги, $Q_1 = 1,0$ кг;

$$Q_2 = Q_3 + Q_4;$$

Q_3 – маса гирьового підвісу, $Q_3 = 0,15$ кг;

Q_4 – маса вантажу, $Q_4 = 0,5$ кг;

C_3 – відстань від осі опорного перерізу балки до осі гирьового підвісу.

Примітка. Визначення моменту защемлення може бути зроблене окремо для кожного ступеня навантаження ΔP . У цьому випадку в результаті досліду визначається середня величина моменту зацімлення ΔM_{cp} .

10 Зробити теоретичний розрахунок величини моменту защемлення M (або ΔM_{cp}). Для цього необхідно скласти канонічне рівняння методу сил

$$\delta_{11} X_1 + \Delta_{1P} = 0, \quad (9.2)$$

де X_1 – “зайва” невідома (момент защемлення).

Розрахункова схема зображена на рисунку 9.3.

11 Визначити розбіжність між експериментальними даними і теоретичними обчисленнями за формулою

$$\Delta = \frac{M_{теор} - M_{дослід}}{M_{теор}} \cdot 100\%,$$

де M – розмір моменту зацімлення, який шукаємо.

12 Допустима похибка Δ не повинна перевищувати $\pm 5\%$.

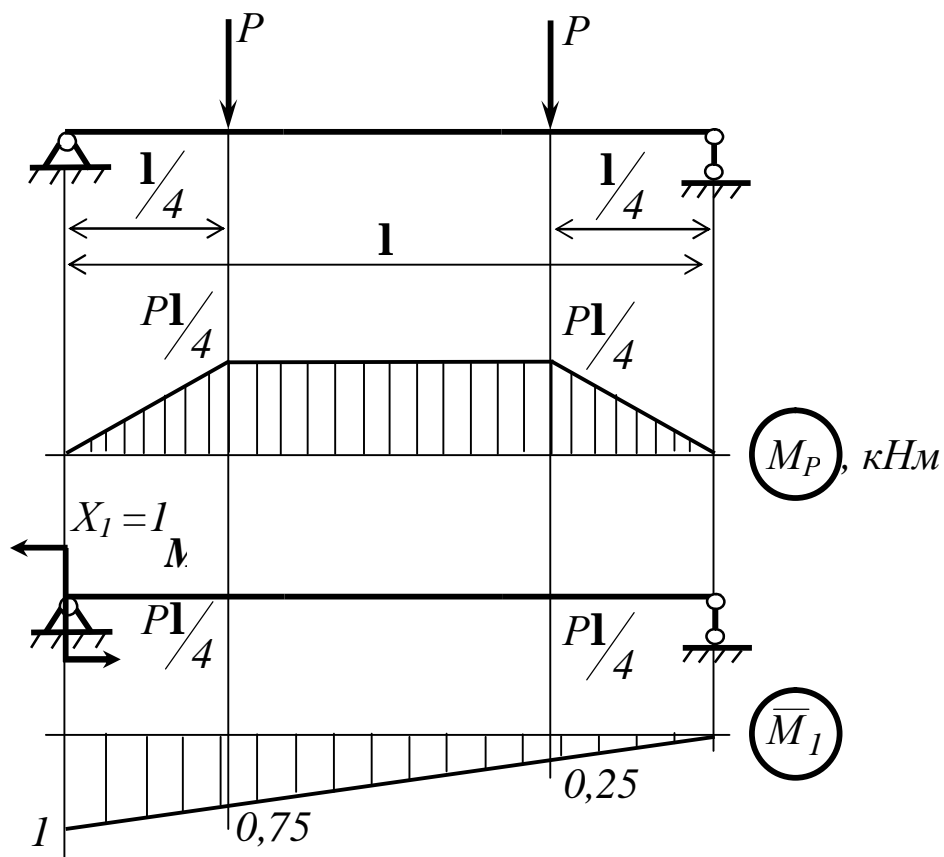


Рисунок 9.3– Епюри згинальних моментів від заданих та одиничних навантажень

9.4 Контрольні питання

- 1 Яка мета даної лабораторної роботи?
- 2 Як формулюється теорема про взаємність робіт і взаємність переміщень?
- 3 В чому сутність формули крайніх ординат?
- 4 Що називається «основною системою»?
- 5 Що означають величини δ_{11} і Δ_{1P} ?
- 6 Який фізичний зміст добутку $X_1\delta_{11}$ і $X_2\delta_{12}$?
- 7 Який фізичний зміст рівняння $X_1\delta_{11} + X_2\delta_{12} + \Delta_{1P} = 0$?

10 ВИЗНАЧЕННЯ РЕАКЦІЇ ОПОРИ ДВОХПРОГІННОЇ СТАТИЧНО НЕВИЗНАЧУВАНОЇ БАЛКИ

Мета роботи: визначити дослідним шляхом величину реакції опори статично невизначуваної балки та порівняти її з теоретичним значенням

10.1 Загальні відомості

Опис випробувальної установки і стислі теоретичні відомості наведено у лабораторній роботі №9.

Довільний вибір схеми навантаження дозволяє різноманітності вихідні дані для виконання лабораторної роботи в дуже широких межах.

Спочатку згідно з указаною викладачем схемою (рис. 10.1, а) треба розкрити статичну невизначуваність нерозрізної балки і вибрати основну систему шляхом відкидання “зайвої” опори (див. рис. 10.1, б).

Після визначення невідомих методом сил знаходять усі реакції опор, будують епюру згинальних моментів і виконують деформаційну перевірку. Далі переходять до випробувань.

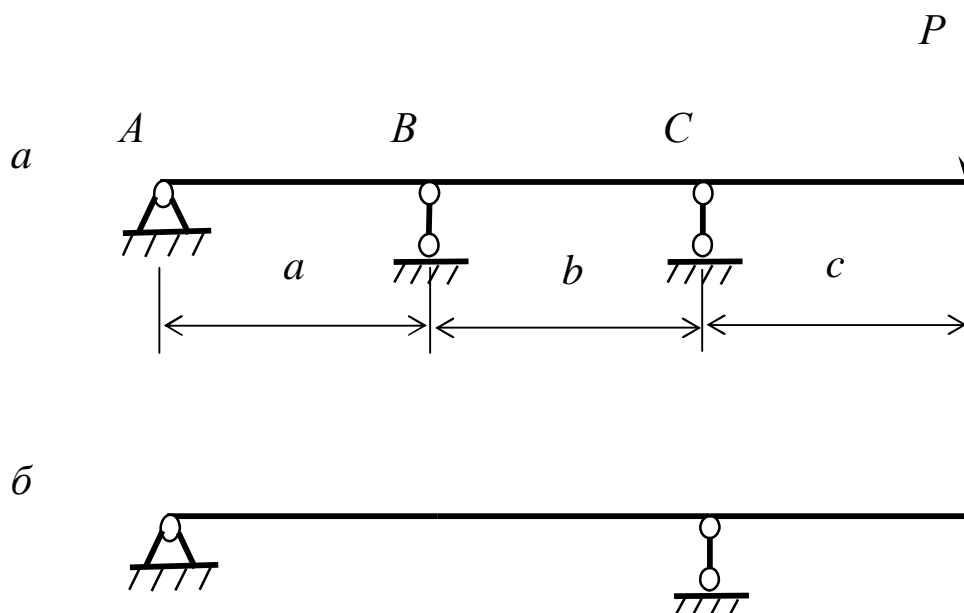


Рисунок 10.1 – Схема заданої балки і її основна система

10.2 Проведення випробувань та обробка результатів

Робота проводиться у такій послідовності:

1 Згідно з указаною викладачем схемою (див. рис. 10.1) підготувати установку, тобто за допомогою пересувної стійки встановити задану відстань між першою та третьою опорами.

2 За допомогою штангенциркуля виміряти розміри поперечного перерізу випробувального зразку.

3 На місці другої (відкинутої) опори встановити індикаторну стійку. Стрілку індикатора встановити на нуль.

4 Гирьовий підвіс встановити в тому місці, де прикладена зосереджена сила. Навантажити балку зовнішньою силою $P=20\text{ кН}$ (2 кг). Оскільки опора в точці B відсутня, то балка в цьому перерізі прогнеться (рис. 10.2).

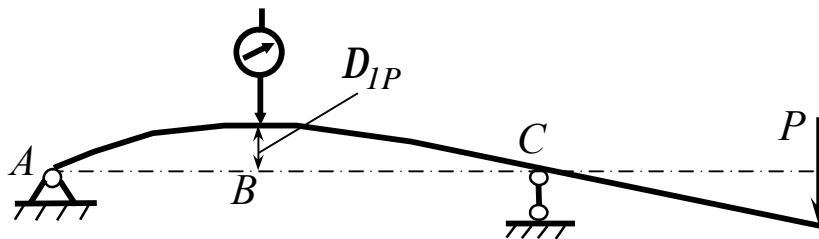


Рисунок 10.2 – Схема деформації балки

5 Записати показання індикатора, тобто прогін балки в місці “зайвої” опори від зовнішнього навантаження D_{1P} .

6 Зовнішнє навантаження зняти та прикласти силу $P=1\text{ кг}$ в місці відкинутої “зайвої” опори, тобто під індикатором.

Записати показання індикатора, тобто прогін балки в місці “зайвої” опори від одиничної сили d_{11} .

7 Визначити експериментально значення зайвої опорної реакції:

$$X_1 = \frac{D_{1P}}{d_{11}} 10 \text{ (Н)}.$$

8 По закінченню дослідження балку розвантажити.

9 Порівняти теоретичне X_{1T} і експериментальне X_{1E} значення опорної реакції і знайти похибку експерименту:

$$\Delta = \frac{X_{1T} - X_{1E}}{X_{1T}} 100 \%$$

10.3 Контрольні запитання

- 1 У чому полягає метод сил?
- 2 Що таке основна система?
- 3 Скільки основних систем може бути для однієї статично невизначуваної системи?
- 4 Які особливості вибору основної системи для нерозрізної балки?
- 5 У чому причина такого вибору?
- 6 Що таке еквівалентна система?
- 7 Який вигляд має система канонічних рівнянь методу сил?
- 8 Який фізичний смисл системи канонічних рівнянь?
- 9 У чому полягає деформаційна перевірка і який її фізичний сенс?

11 ДОСЛІДЖЕННЯ КОЛИВАНЬ ДВООПОРНОЇ БАЛКИ

Мета роботи: експериментально визначити частоту власних коливань, коефіцієнт зростання власних коливань та порівняти їх з теоретичними значеннями.

11.1 Стислі теоретичні відомості

Колівальні процеси відбуваються при дії змінних у часі сил. Для того, щоб тіло здатне було здійснювати коливання, воно повинно мати масу та пружність. Залежно від характеру деформації коливання можуть бути *повздожжніми, поперечними (згинальними), крутильними, згинально-крутильними* тощо.

Коливальні системи можуть мати один, два чи кілька *ступенів вільності*, тобто кількість незалежних координат, що визначають положення системи у просторі.

Балка з зосередженою масою розглядається як система з одним ступенем вільності, якщо масою балки можливо знехтувати. Однак в нашому випадку маса балки того ж порядку, що і зосереджена маса двигуна, який розташований всередині прогону. Тому вона повинна бути врахована за допомогою приведення розподіленої маси балки до однієї точки, де розташований двигун.

Тоді загальна маса коливальної системи обчислюється за формулою

$$m = \frac{P_D + kQ_B}{g}, \quad (11.1)$$

де P_D – вага двигуна,

Q_B – вага балки,

$k = 17/35$ – коефіцієнт приведення маси балки,

g – прискорення вільного падіння.

Частота вільних коливань при цьому визначається таким чином:

$$w = \sqrt{\frac{I}{m d_{11}}}, \quad (11.2)$$

де d_{11} – переміщення маси від зосередженої сили $P=I$ в точці, де розташована маса, в напрямку коливань.

Вимушені коливання з'являються, коли на пружну систему діє періодична зовнішня сила. У нашому випадку на балку діє відцентрова сила ексцентрика, розташованого на валі двигуна, який обертається із швидкістю n об/хв. Тоді частота збуджуючої сили і вимушених коливань

$$W = \frac{pn}{30 \text{ сек}}.$$

Коли частота збуджуючої сили

$$w = W_P = \frac{\rho n_P}{30} \quad (11.3)$$

дорівнює частоті власних коливань, настає явище резонансу, тобто різкого збільшення амплітуди.

Звідки можна визначити кількість обертів двигуна, при якому настає резонанс:

$$n_P = \frac{30w}{\rho}. \quad (11.4)$$

Амплітуда вимушених коливань A визначається за формулою

$$A = b d_{CT}, \quad (11.5)$$

де d_{CT} – переміщення маси системи від статично прикладеної збуджуючої сили H .

$$d_{CT} = H d_{11}, \quad (11.6)$$

де $H = mW^2 e$ – відцентрова сила ексцентрика,

m – маса ексцентрика,

e – ексцентриситет, тобто відстань центру ваги ексцентрика від осі обертання,

b – коефіцієнт наростання коливань

$$b = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{W^2}{w^2}\right)^2 + \frac{4k^2 W^2}{w^4}}}, \quad (11.7)$$

k – коефіцієнт затухання коливань.

11.2 Опис дослідної установки

Установка (рис. 11.1) являє собою балку на двох шарнірних опорах.

На балці 2, яка опирається на стійки 1 та опори 11, встановлений двигун 5 постійного току, на валу якого жорстко закріплений ексцентрик 10. Швидкість обертання двигуна регулюється за допомогою автотрансформатора 3. Для визначення кількості оборотів вала він за допомогою муфти 9 і гнучкого вала 7 з'єднаний з тахометром 8. У крайніх точках небезпечного перерізу балки встановлені тензорезистори, сигнал від яких через посилювач 4 надходить на осцилограф 6.

11.3 Проведення роботи та обробка результатів

1 До випробувальної балки 2 (див. рис. 11.1) в перерізі, де розташовано двигун 5, прикласти одиничну силу та визначити переміщення d_{11} .

2 Визначити теоретично частоту власних коливань балки W за формулою (11.2).

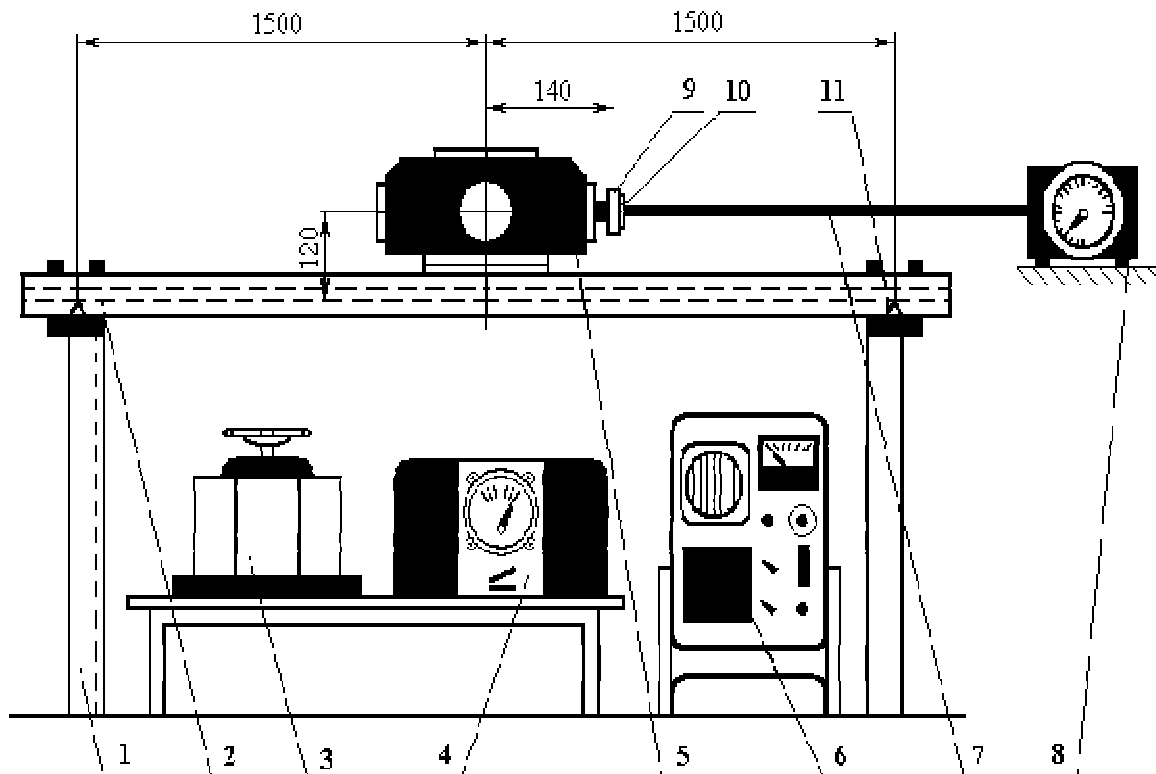


Рисунок 11.1 – Загальний вигляд установки

3 Зробити тарування тензорезисторів, для чого підвісити гирю масою $m = 10 \text{ кг}$ (тобто сили $P_T = 100 \text{ Н}$) до середини балки. Після цього відмітити кількість ділень за шкалою осцилографа n_T .

$$\text{При цьому ціна однієї поділки } k = \frac{P_T}{n_T} = \frac{100}{n}.$$

4 Після цього визначити теоретично кількість обертів двигуна, при яких настає резонанс n_{PT} .

5 Змінювати швидкість обертання вала двигуна повільним рухом регулюючого пристрою автотрансформатора від нуля до тих пір, коли настає резонанс, тобто коли буде відхилення променя осцилографа максимальне. Тахометр покаже при цьому експериментальне значення n_{PE} кількість поділок, на які відхилиться промінь осцилографа.

6 Порівняти експериментальне n_{PE} та теоретичне значення n_{PT} .

При цьому:

$$n_{PT} = \frac{30w_T}{p};$$
$$D = \frac{n_{PE} - n_{PT}}{n_{PE}} 100\% ;$$

7 Визначити коефіцієнт наростання коливань, як відношення максимальної сили при резонансі $P_{\max} = K_p \cdot k$ до відцентрової сили ексцентрика – Н

$$b = \frac{P_{\max}}{H}.$$

8 З формули (11.7), до якої підставити $w_p = W$, можна визначити коефіцієнт затухання коливань

$$K = \frac{w_p}{2b}.$$

11.4 Контрольні запитання

1 Яка мета даної лабораторної роботи?

- 2 Що таке власні коливання і як визначається їх частота?
- 3 Як враховується маса балки при визначенні власної частоти?
- 4 Як провадиться тарювання тензорезисторів?
- 5 Що таке вимушені коливання, як визначається їх частота та амплітуда?
- 6 Яка послідовність проведення випробовувань?
- 7 Як експериментально визначається частота власних коливань?
- 8 Як визначається коефіцієнт наростання та коефіцієнт затухання коливань?
- 9 Що показує коефіцієнт наростання коливань?

ЛІТЕРАТУРА

- 1 **Писаренко, Г.С.** Опір матеріалів/ Г.С.Писаренко, О.Л.Квітка, Є.С.Уманський. – К.: Вища шк., 1993. – 360 с.
- 2 Справочник по сопроотивленію матеріалов/ Г.С.Писаренко, А.П.Яковлев, В.В.Матвеев. – Киев: Наук. думка, 1988. – 736 с.
- 3 **Овчаренко, В.А.** Самостійна робота студентів з дисципліни «Опір матеріалів»: навчальний посібник /В.А.Овчаренко, Л.В. Кутовий, М.О. Соломін, О.Ю. Деньщиков. – Краматорськ: ДДМА 2004. – 208 с. – ISBN 966-7851-27-3
- 4 **Кутовий, Л.В.** Збірник розрахунково-графічних завдань з курсу «Опір матеріалів»: навчальний посібник /Л.В. Кутовий, В.А. Овчаренко, Ю.С. Холодняк, М.О. Соломін, О.Ю. Деньщиков. – Краматорськ: ДДМА, 2007. – 228 с. – ISBN 978-966-379-156-2.
- 5 Методичні вказівки до самостійної роботи студентів з дисципліни «Опір матеріалів». Розділ: „Побудова епюр внутрішніх силових факторів для балок” (для студентів усіх спеціальностей і форм навчання)/ укл. : Кутовий Л.В., Холодняк Ю.С. – Краматорськ: ДДМА, 2004. – 24 с.
- 6 Опір матеріалів. Конспект лекцій. Ч. I / укл. Л.В. Кутовий, Т.П. Зінченко, В.А. Овчаренко – Краматорськ: ДДМА, 2007. – 196с.
- 7 Опір матеріалів. Конспект лекцій. Ч. II / укл. Л.В. Кутовий, Т.П. Зінченко, В.А. Овчаренко – Краматорськ: ДДМА, 2008. – 176с.

Навчальне видання

ОПР МАТЕРІАЛІВ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторних робіт з дисципліни

(для студентів усіх механічних спеціальностей денного відділення)

ОВЧАРЕНКО Володимир Андрійович

КУТОВИЙ Леонід Володимирович

Редактор

І.І.Дьякова

Комп'ютерна верстка

О.П.Ордіна

210/2008. Підп. до друку

Формат 60x84/16.

Папір офсетний. Ум. друк. арк. 4,65.

Обл.-вид. арк. 4,04.

Тираж прим.

Зам. №

Видавець і виготівник

«Донбаська державна машинобудівна академія»

84313, м. Краматорськ, вул. Шкадінова, 72

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру
серія ДК № 1633 від 24.12.2003