

Кафедра прикладної механіки
факультету техногенно-екологічної безпеки
Національного університету цивільного захисту України

ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА
РОЗДІЛ «ОПІР МАТЕРІАЛІВ»

Робочий зошит
Лабораторні роботи

НАВЧАЛЬНА ГРУПА_____

ПРИЗВИЩЕ, ІНІЦІАЛИ_____

Харків 2016

Друкується за рішенням кафедри
прикладної механіки НУЦЗУ
Протокол від 30.05.2016 р. № 38

Укладачі: Г.О.Чернобай, О.М.Кондратенко, Ю.Ф.Деркач

Рецензенти: Конкін В.М. – доцент кафедри опору матеріалів Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», кандидат технічних наук, доцент;

Коханенко В.Б. – доцент кафедри інженерної та аварійно-рятувальної техніки Національного університету цивільного захисту України, кандидат технічних наук, доцент.

Прикладна механіка, розділ «Опір матеріалів». Робочий зошит. Лабораторні роботи (перевидання) / Уклад. Г.О. Чернобай, О.М. Кондратенко, Ю.Ф. Деркач. – Х.: НУЦЗУ, 2016. – 36 с.

Робочий зошит містить стислі теоретичні обґрунтування та методичні рекомендації щодо проведення циклу лабораторних робіт з прикладної механіки, розділ «Опір матеріалів», спрямованих на дослідження фізико-механічних характеристик матеріалів та визначення деформацій, котрі виникають в типових елементах конструкцій різного призначення під дією зовнішніх навантажень. До кожної лабораторної роботи додається протокол випробувань, який має бути оформлений курсантом (студентом).

Для курсантів та студентів відповідно до програми вищої освіти у напрямках «Пожежна безпека», «Цивільний захист», «Охорона праці». Використовується при проведенні лабораторних робіт та під час самостійної роботи.

Відповідальний за випуск О.М.Кондратенко

© Національний університет цивільного захисту України, 2016

ІНСТРУКЦІЯ (ВИТЯГ) З ОХОРОНИ ПРАЦІ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ З ПРИКЛАДНОЇ МЕХАНІКИ

1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Цією інструкцією визначаються основні положення та вимоги охорони праці, які спрямовані на збереження здоров'я і працездатності працівників, курсантів та студентів університету працюючих на обладнанні університету та виконуючих відповідні лабораторні роботи.

Дія інструкції поширюється на працівників, курсантів та студентів університету, які виконують відповідні лабораторні роботи або залучаються до праці на обладнанні університету.

2. ВИМОГИ БЕЗПЕКИ ПЕРЕД ПОЧАТКОМ ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

2.1. Оглянути робоче місце, привести його в порядок та прибрати сторонні предмети, які не використовуються при виконанні роботи.

2.2. Перевірити загальний стан апаратури і механізмів та надійність їх встановлення і закріплення.

2.3. Підготувати і забезпечити необхідним інструментом робоче місце.

2.4. У разі виявлення будь-яких несправностей роботу не розпочинати, повідомити про це завідуючого кафедри, або завідуючого лабораторією.

3. ВИМОГИ БЕЗПЕКИ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

3.1 Виконувати правила внутрішнього розпорядку.

3.2 Не включати і не зупиняти (крім аварійних випадків) устаткування, робота на якому не передбачена специфікою та умовами лабораторної роботи.

3.3 Виконувати тільки ту роботу яка доручена керівником та по якій проведений інструктаж.

Під час проведення лабораторної роботи **ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ** допускати сторонніх осіб на своє робоче місце, захаращувати робоче місце, виконувати вказівки, які суперечать правилам охорони праці.

4. ВИМОГИ БЕЗПЕКИ ПІСЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

4.1 Після закінчення проведення лабораторної роботи необхідно перевірити загальний стан апаратури і механізмів на предмет зовнішніх ушкоджень та надійність їх встановлення.

4.2 Оглянути робоче місце і привести його в порядок, впевнитись, що на ньому відсутні сторонні предмети.

4.3 Зібрати і скласти в місце збереження інструменти які використовувалися під час проведення лабораторної роботи.

4.4 Після закінчення лабораторної роботи, покидаючи лабораторію зачинити вікна, перекрити водопостачання, вимкнути світло.

5. ВИМОГИ БЕЗПЕКИ В АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1. До аварійних ситуацій відносяться :

- несправність інструмента, обладнання, пристосувань;
- падіння деталей, вузлів, агрегатів, інструменту;

5.2 У випадках виникнення пожежі працівник повинен:

- відключити електрообладнання;
- вимкнути електроенергію;
- негайно повідомити начальника структурного підрозділу або іншу посадову особу;
- повідомити працюючих про виникнення пожежі;
- закрити вікна, двері зі суміжними приміщеннями;
- почати ліквідацію пожежі первинними засобами захисту пожежогасіння (вогнегасник, пісок).

Запалення електропроводки та електрообладнання гасити тільки вуглекислотними вогнегасниками.

5.3 Порядок надання першої долікарняної допомоги у випадку травмування(отруєння) :

5.3.1. Працівники повинні прийняти міри по наданню необхідної допомоги потерпілому при нещасних випадках до прибуття лікаря;

5.3.2.Послідовність надання першої допомоги:

- усунути дію на організм факторів, які погрожують здоров'ю та життю потерпілого (звільнити від дії електричного току, віднести від зараженої атмосфери, загасити одяг і т. ін.);
- визначити характер та складність травми, найбільшу загрозу для життя потерпілого та послідовність заходів щодо його спасіння;
- виконати необхідні заходи щодо спасіння потерпілого у порядку терміновості (відновити проходження дихальних шляхів, провести штучне дихання, зовнішній масаж серця, зупинити кровотечу, іммобілізувати місце перелому, накладити пов'язку і т. ін.);
- підтримати загальні життєві функції потерпілого до прибуття медичного працівника;
- викликати швидку допомогу або лікаря, прийняти заходи щодо транспортування потерпілого в найближчу лікарняну установу.

Допомога потерпілому, яка надається не медичним працівником, не повинна заміняти допомогу з боку медичного персоналу та повинна надаватися до прибуття лікаря.

ВСТУП

В курсі прикладної механіки розділ «Опір матеріалів» міцність, жорсткість та стійкість елементів конструкцій з різних матеріалів, їхня здатність до опору зовнішнім навантаженням визначаються аналітичними та експериментальними методами.

Експериментальні дослідження проводяться для вивчення фізико-механічних характеристик матеріалів, крім того, на їх основі перевіряють точність теоретичних формул, а також міцність, жорсткість та стійкість реальних конструкцій або їхніх моделей.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми після вивчення розділу «Опір матеріалів» курсу прикладної механіки курсанти (студенти) повинні знати експериментальні методи досліджень фізико-механічних характеристик матеріалів та випробувань елементів інженерних споруд (або їх моделей) на здатність до опору зовнішнім навантаженням і уміти практично застосовувати ці методи. Тому майбутній фахівець повинен опанувати методики відповідних випробувань при відпрацюванні циклу відповідних лабораторних робіт.

До кожної лабораторної роботи в журналі наведено протокол оформлення результатів досліджень, який має бути оформлений кожним курсантом (студентом) та контрольні запитання для підготовки до перевірки знань при захисті відповідної роботи.

ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ ТА ОФОРМЛЕННЯ ПРОТОКОЛІВ

1. До кожної лабораторної роботи курсант (студент) оформлює у робочому зошиті протокол чорнилом, чітким почерком.

2. Необхідні ескізи повинні бути виконанні олівцем відповідно вимогам ЄСКД.

3. На титульній сторінці робочого зошиту та у кожному протоколі повинні бути чітко вказані: прізвище, ім'я і по батькові, група, дата виконання роботи і підпис виконавця.

4. При заповненні протоколу до кожної графи вносяться результати, які отримані при виконанні лабораторної роботи у відповідності до вказаної розмірності.

5. В наведені у протоколі формули вносяться значення відповідних величин (з урахування розмірності) і результат розрахунку без проміжних обчислень.

6. Кожна лабораторна робота повинна бути захищена у відповідний термін, що засвідчується оцінкою і підписом викладача.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

Випробування на зріз металевих зразків

Мета роботи: визначити границю міцності металевого зразка на зріз.

Устаткування: Дослідження на зріз виконується на розривній машині (пресі) ДМ-30М для випробування матеріалів.

Теоретичне обґрунтування. Випробування на зріз дає змогу визначити границю міцності матеріалу при руйнуванні $\tau_{зр}$.

Випробування на зріз виконується для металевого зразка циліндричної форми. На розривній машині зразок навантажують поперечними силами до руйнування і визначають відповідне зусилля $F_{зр}$, за яким встановлюють границю міцності при зрізі:

$$\tau_{зр} = \frac{F_{зр}}{A_{зр}}, \quad (1.1)$$

де $A_{зр}$ – площа зрізу.

Підготовка до проведення досліду. Перед випробуванням потрібно обміряти зразок і занести дані до протоколу досліду. Виконати ескізи зразка (рис. 1.1) і відповідного пристрою (рис. 1.2).

Проведення досліду. Зразок слід вставити в пристрій пресу, навантажити до руйнування і записати в протокол відповідне максимальне зусилля $F_{зр}$.

Обробка результатів. За розмірами визначається площа зрізу ($A_{зр}$) металевого зразка і за знайденим зусиллями ($F_{зр}$) за формулою (1.1) обчислюється границя міцності при зрізі.

ПРОТОКОЛ ВИПРОБУВАНЬ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ № 1

Випробування на зріз металевих зразків

Випробування проведено " _____ " _____ 20__ р.

Мета роботи: вивчити методику та відпрацювати практичні навички щодо визначення границі міцності металевого зразка на зріз.

Таблиця 1. Вихідні дані

№	Найменування даних	Позначення, формули та числові дані
1	Матеріал зразка	
2	Рисунок 1.1. Ескіз зразка	Рисунок 1.2. Схема випробувального пристрою
3	Діаметр зразка, <i>мм</i>	$d =$
4	Площа поперечного перерізу зразка, <i>мм²</i>	$A = \frac{\pi d^2}{4} =$
5	Кількість площин зрізу	$n =$
6	Площа зрізу, <i>мм²</i>	$A_{зр} = nA =$

Таблиця 2. Результати спостережень і розрахунків

№	Найменування даних	Позначення, формули та числові дані
1	Максимальне зусилля, <i>кН</i>	$F_{зр} =$
2	Границя міцності при зрізі, <i>МПа</i>	$\tau_{зр} = \frac{F_{зр}}{A_{зр}} =$

Таблиця 3. Висновки

Визначено границю міцності _____ зразка при зрізі, яка складає:				
Роботу виконав				
	курсант (студент)	Група	Прізвище, ім'я та по батькові	Дата, підпис
Роботу прийняв		Прикладна механіка		
	викладач	Кафедра	Прізвище, ім'я та по батькові	Оцінка, дата, підпис

Контрольні питання:

1. Що називається деформацією зсуву (зрізу)?
2. В яких випадках виникає деформація зсуву (зрізу)? Наведіть приклади.
3. Які внутрішні сили призводять до виникнення деформації зсуву (зрізу)?
4. Які напруження виникають при зсуві (зрізі)?
5. Як визначається границя міцності на зріз металевого зразка?
6. Як визначити площу зрізу?
7. Сформулюйте умову міцності при зрізі.
8. Що таке модуль пружності другого роду (при зрізі) і яке його значення для сталі?
9. Як формулюється закон Гука при зсуві?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

Визначення модуля зсуву з випробувань на кручення

Мета роботи: вивчити методику і відпрацювати навички визначення модуля зсуву сталі з випробування на кручення.

Устаткування: Дослідження на зріз виконується на дослідній установці, яка встановлена в лабораторії кафедри прикладної механіки Національного університету цивільного захисту України.

Теоретичне обґрунтування. Модуль зсуву G належить до пружних констант матеріалів і визначається експериментально.

При крученні круглого зразка його деформацію, тобто кут закручування знаходимо за формулою:

$$\varphi = \frac{M_{\text{кр}} l}{GI_{\text{р}}}, \quad (2.1)$$

де: φ – кут закручування; $M_{\text{кр}}$ – крутний момент; l – довжина зразка; G – модуль пружності при зсуві, або модуль пружності другого роду; $I_{\text{р}}$ – полярний момент інерції поперечного перерізу зразка.

Крутний момент $M_{\text{кр}}$ та кут закручування φ визначаються експериментально, а геометричні характеристики – довжина зразка l та полярний момент інерції поперечного перерізу $I_{\text{р}}$ – безпосереднім вимірюванням і наступним обчисленням. Відповідно модуль пружності G знаходиться перетворенням виразу (2.1)

$$G = \frac{M_{\text{кр}} l}{\varphi I_{\text{р}}}. \quad (2.2)$$

Залежність (2.1), яка обумовлена законом Гука при крученні, обмежує величину крутного моменту, тому при проведенні дослідів потрібно визначити його максимально допустиме значення, при якому дотичні напруження в зразку не перевищують границі пропорційності, тобто:

$$\tau_{\text{max}} = \frac{M_{\text{кр}}^{\text{max}}}{W_{\text{р}}} \leq \tau_{\text{нц}}, \quad (2.3)$$

де: $W_{\text{р}}$ – полярний момент опору поперечного перерізу зразка; $\tau_{\text{нц}}$ – границя пропорційності при крученні. Звідки

$$M_{\text{КР}}^{\text{max}} \leq \tau_{\text{нц}} W_{\text{P}}. \quad (2.4)$$

При виконанні умови (2.4) деформації зразка при експерименті будуть пружними, а залишкові деформації – відсутніми.

Підготовка та проведення дослідів. Для дослідження виготовлено спеціальний зразок у вигляді тонкостінної труби з головками для закріплення в захватах випробувального пристрою.

Перед випробуванням потрібно визначити необхідні розміри зразка і дослідної установки, виконати їхні ескізи (рис. 2.1 та 2.2) і занести дані до протоколу дослідів.

Кут закручування зразка φ вимірюється за допомогою індикатора годинникового типу і дорівнює

$$\varphi = \frac{T}{a}, \quad (2.5)$$

де: T – вертикальне переміщення вантажного важеля під індикатором; a – відстань від осі зразка до точки встановлення індикатора.

Величина крутного моменту дорівнює

$$M_{\text{КР}} = Pb, \quad (2.6)$$

де: P – навантаження важеля; b – відстань від осі зразка до точки прикладення навантаження.

З урахуванням умови (2.4) навантаження важеля не повинно перевищувати максимального значення

$$P \leq P_{\text{max}} = \frac{M_{\text{КР}}^{\text{max}}}{b}. \quad (2.7)$$

Для підвищення точності експерименту навантаження зразка, тобто величина прикладеного до нього крутного моменту, поділяється на декілька кроків, що обумовлені вагою відповідних тягарців.

До протоколу дослідів занотовуються покази індикатора та вага тягарців перед навантаженням і для кожного кроку навантаження.

Після випробування зразок розвантажується.

Обробка результатів. Середній приріст вертикального переміщення вантажного важеля під індикатором (ΔT_{CP}) на крок навантаження дорівнює усередненій різниці показів індикатора (ΔT_i):

$$\Delta T_{CP} = \frac{\sum_{i=1}^5 \Delta T_i}{5}. \quad (2.8)$$

За середнім значенням цього показника визначається середнє значення кута закручування $\Delta\varphi_{CP}$ від одного кроку навантаження

$$\Delta\varphi_{CP} = \frac{\Delta T_{CP}}{a}. \quad (2.9)$$

Середній приріст вертикального навантаження важеля (ΔP_{CP}) на крок навантаження дорівнює усередненій вазі тягарців ($\Delta P_i = P_i$):

$$\Delta P_{CP} = \frac{\sum_{i=1}^5 \Delta P_i}{5}. \quad (2.10)$$

За середнім значенням цього показника визначається середнє значення крутного моменту ΔM_{KP}^{CP} на один крок навантаження

$$\Delta M_{KP}^{CP} = \Delta P_{CP} b. \quad (2.11)$$

Модуль зсуву визначається за формулою (2.2), в яку підставляються крок крутного моменту ΔM_{KP}^{CP} та середнє значення кута закручування $\Delta\varphi_{CP}$.

Знайдена експериментальна величина модуля зсуву порівнюється із довідниковим значенням з визначенням похибки у відсотках.

ПРОТОКОЛ ВИПРОБУВАНЬ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ № 2

Визначення модуля зсуву з випробування на кручення

Випробування проведено " _____ " _____ 20__ р.

Мета роботи: вивчити методику та відпрацювати практичні навички щодо визначення модуля зсуву сталі з випробувань на кручення.

Таблиця 1. Вихідні дані

№ з.п.	Найменування даних	Позначення, формули та числові дані
1	Матеріал зразка	
2	Табличне значення модуля зсуву матеріалу зразка, <i>МПа</i>	$G =$
3	Рисунок 2.1. Схема дослідної установки	Рисунок 2.2. Ескіз перерізу зразка
4	Довжина досліджуваної частини зразка, <i>мм</i>	$l =$
5	Розміри перерізу зразка, <i>мм</i>	$d =$ $D =$

6	Полярний момент інерції поперечного перерізу зразка, m^4	$I_P = \frac{\pi D^4}{32} - \frac{\pi d^4}{32} = \frac{\pi}{32} (D^4 - d^4) =$ $=$
7	Полярний момент опору поперечного перерізу зразка, cm^3	$W_P = \frac{2I_P}{D} =$
8	Границя пропорційності матеріалу зразка при крученні, Pa	$\tau_{nu} =$
9	Максимальне допустиме значення крутного моменту, Hm	$M_{KP}^{max} \leq \tau_{nu} W_P \leq$
10	Відстань від осі зразка до точки прикладення навантаження, mm	$b =$
11	Відстань від осі зразка до точки встановлення індикатора, mm	$a =$
12	Максимальне допустиме значення навантаження, H	$P \leq P_{max} = \frac{M_{KP}^{max}}{b} =$

Таблиця 2. Результати спостережень

№ кроку	Величина навантаження, H	Крок навантаження, H	Покази індикатора, MM	Різниця показів індикатора, MM
	P_i	ΔP_i	T_i	ΔT_i
0				
1				
2				
3				
4				
5				

Таблиця 3. Обробка результатів дослідження

№	Найменування даних	Позначення, формули та числові дані
1	Сума різниць показів індикатора, MM	$\sum_{i=1}^5 \Delta T_i =$
2	Середня різниця показів індикатора, MM	$\Delta T_{CP} = \frac{\sum_{i=1}^5 \Delta T_i}{5} =$
3	Середній кут повороту перерізу, $рад$	$\Delta \varphi_{CP} = \frac{\Delta T_{CP}}{a} =$
4	Сума кроків навантаження, H	$\sum_{i=1}^5 \Delta P_i =$

5	Середній крок навантаження, H	$\Delta P_{CP} = \frac{\sum_{i=1}^5 \Delta P_i}{5} =$
6	Середнє значення крутного моменту на один крок, Hm	$\Delta M_{KP}^{CP} = \Delta P_{CP} b =$
7	Експериментальне значення модулю зсуву матеріалу зразка, $MПа$	$G_{експ} = \frac{\Delta M_{KP}^{CP} l}{\Delta \varphi_{CP} I_P} =$

Таблиця 4. Висновки

Розбіжність між табличним та експериментальним значеннями модуля зсуву матеріалу зразка		$\delta = \frac{ G_{експ} - G }{G} 100\% =$		
Роботу виконав	курсант (студент)	Група	Прізвище, ім'я та по батькові	Дата, підпис
	викладач	Кафедра	Прізвище, ім'я та по батькові	Оцінка, дата, підпис
Роботу прийняв	Прикладна механіка			

Контрольні питання:

1. Якого вигляду набуває закон Гука при крученні?
2. Як визначаються дотичні напруження при крученні?
3. Як обчислюються полярні моменти інерції та моменти опору?
4. Чому під час експерименту напруження має не перевищувати границю пропорційності?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

Визначення модуля Юнга з випробувань на згинання сталеві консолі

Мета роботи: вивчити методику і відпрацювати навички визначення модуля пружності при розтяганні (стисканні) з випробувань на згинання сталеві консольної балки.

Устаткування: Дослідження при згинанні сталеві консолі виконується на дослідній установці, яка встановлена в лабораторії кафедри прикладної механіки Національного університету цивільного захисту України.

Теоретичне обґрунтування. Модуль пружності при розтяганні (стисканні) E , інакше модуль пружності першого роду, або модуль Юнга належить до пружних констант матеріалів і визначається експериментально.

При згинанні сталеві консолі її деформацію, тобто прогин знаходимо за табличною формулою:

$$f = \frac{Pl^3}{3EI_Y}, \quad (3.1)$$

де: f – прогин консолі; P – зосереджене навантаження на кінці консолі; l – довжина консолі; E – модуль пружності при розтяганні (стисканні); I_Y – осьовий момент інерції поперечного перерізу консолі.

Зосереджене навантаження P та прогин консолі f визначаються експериментально, а геометричні характеристики – довжина консолі l та осьовий момент інерції поперечного перерізу I_Y – безпосереднім вимірюванням і наступним обчисленням.

Відповідно модуль пружності E знаходиться перетворенням виразу (3.1)

$$E = \frac{Pl^3}{3fI_Y}. \quad (3.2)$$

Залежність (3.1), яка обумовлена законом Гука при згинанні, обмежує величину згинального моменту, тому при проведенні дослідів потрібно визначити його максимально допустиме значення, при якому нормальні напруження в консолі не перевищують границі пропорційності, тобто:

$$\sigma_{max} = \frac{M_{3\Gamma}^{max}}{W_Y} \leq \sigma_{nu}' \quad (3.3)$$

де: W_Y – осьовий момент опору поперечного перерізу консольної балки; σ_{nu} – границя пропорційності матеріалу балки при згинанні.

Звідки

$$M_{3\Gamma}^{max} \leq \sigma_{nu} W_Y. \quad (3.4)$$

При виконанні умови (3.4) деформації консолі при експерименті будуть пружними, а залишкові деформації – відсутніми.

Підготовка та проведення дослідів. Для дослідження виготовлено спеціальний зразок у вигляді консольної балки прямокутного поперечного перерізу жорстко затисненої в захваті випробувального пристрою.

Перед випробуванням потрібно визначити необхідні розміри балки і дослідної установки, виконати їх ескізи (рис. 3.1 і 3.2) і занести дані до протоколу дослідів.

Прогин консольної балки f вимірюється за допомогою індикатора годинникового типу, який встановлено в точці прикладення вертикального навантаження, що знаходиться на відстані l від затиснення.

Величина згинального моменту в затисненні дорівнює

$$M_{3\Gamma} = Pl, \quad (3.5)$$

де: P – вертикальне навантаження консолі.

З урахуванням умови (3.4) навантаження консольної балки не повинно перевищувати максимального значення

$$P \leq P_{max} = \frac{M_{3\Gamma}^{max}}{l}. \quad (3.6)$$

Для підвищення точності експерименту навантаження консольної балки, тобто величина прикладеного до неї згинального моменту, поділяється на декілька кроків, що обумовлені вагою відповідних тягарців.

До протоколу дослідів занотовуються покази індикатора та вага тягарців перед навантаженням і для кожного кроку навантаження.

Після випробування зразок розвантажується.

Обробка результатів. Середній приріст вертикального перемі-

щення консолі під індикатором (Δf_{CP}) на крок навантаження дорівнює усередненій різниці показів індикатора (Δf_i):

$$\Delta f_{CP} = \frac{\sum_{i=1}^5 \Delta f_i}{5}. \quad (3.7)$$

Середній приріст вертикального навантаження консолі (ΔP_{CP}) на крок навантаження дорівнює усередненій вазі тягарців ($\Delta P_i = P_i$):

$$\Delta P_{CP} = \frac{\sum_{i=1}^5 \Delta P_i}{5}. \quad (3.8)$$

Модуль Юнга визначається за формулою (3.2), в яку підставляються середній приріст вертикального навантаження консолі (ΔP_{CP}) та середній приріст вертикального переміщення консолі під індикатором (Δf_{CP}).

Знайдена експериментальна величина модуля Юнга порівнюється із довідниковим значенням з визначенням похибки у відсотках.

ПРОТОКОЛ ВИПРОБУВАНЬ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ № 3

Визначення модуля Юнга з випробувань на згинання сталевих консолей

Випробування проведено " ____ " _____ 20__ р.

Мета роботи: вивчити методику і відпрацювати навички визначення модуля пружності при розтяганні (стисканні) з випробувань на згинання сталевих консольних балок.

Таблиця 1. Вихідні дані

№ з.п.	Найменування даних	Позначення, формули та числові дані
1	Матеріал зразка	
2	Табличне значення модуля Юнга матеріалу балки, МПа	$E =$
3	Рисунок 3.1. Схема дослідної установки	Рисунок 3.2. Ескіз перерізу балки
4	Довжина консолей, мм	$l =$
5	Розміри перерізу балки, мм	$b =$ $h =$
6	Осьовий момент інерції поперечного перерізу балки, см ⁴	$I_Y = \frac{bh^3}{12} =$

7	Осьовий момент опору поперечного перерізу балки, $см^3$	$W_Y = \frac{bh^2}{6} =$
8	Границя пропорційності матеріалу балки при згинанні, $МПа$	$\sigma_{ну} =$
9	Максимальне допустиме значення згинального моменту, $Нм$	$M_{3Г}^{max} \leq \sigma_{ну} W_Y =$
10	Відстань від затиснення до точки прикладення навантаження, $мм$	$l =$
11	Відстань від затиснення до точки встановлення індикатора, $мм$	$l =$
12	Максимальне допустиме значення навантаження, $Н$	$P \leq P_{max} = \frac{M_{3Г}^{max}}{l} =$

Таблиця 2. Результати спостережень

№ кроку	Величина навантаження, $Н$	Крок навантаження, $Н$	Покази індикатора, $мм$	Різниця показів індикатора, $мм$
	P_i	ΔP_i	f_i	Δf_i
0				
1				
2				
3				
4				
5				

Таблиця 3. Обробка результатів дослідження

№	Найменування даних	Позначення, формули та числові дані
1	Сума різниць показів індикатора, <i>мм</i>	$\sum_{i=1}^5 \Delta f_i =$
2	Середня різниця показів індикатора, <i>мм</i>	$\Delta f_{CP} = \frac{\sum_{i=1}^5 \Delta f_i}{5} =$
3	Сума кроків навантаження, <i>Н</i>	$\sum_{i=1}^5 \Delta P_i =$
4	Середній крок навантаження, <i>Н</i>	$\Delta P_{CP} = \frac{\sum_{i=1}^5 \Delta P_i}{5} =$
5	Експериментальне значення модуля Юнга матеріалу балки, <i>МПа</i>	$E = \frac{\Delta P_{CP} l^3}{3 \Delta f_{CP} I_Y}$

Таблиця 4. Висновки

Розбіжність між табличним та експериментальним значеннями модуля Юнга для стали		$\delta = \frac{ E_{експ} - E }{E} 100\% =$		
Роботу виконав				
	курсант (студент)	Група	Прізвище, ім'я та по батькові	Дата, підпис
Роботу прийняв		Прикладна механіка		
	викладач	Кафедра	Прізвище, ім'я та по батькові	Оцінка, дата, підпис

Контрольні питання:

1. Що називається згинанням і коли воно відбувається?
2. Як визначається допустиме навантаження при випробуванні балки на згинання?
3. Як експериментально визначаються деформації балки?
4. Як визначаються опорні реакції консольної балки в затисненні?
5. Як обчислюються нормальні напруження в поперечних перерізах балки при згинанні?
6. Як обчислюється згинальний момент у поперечному перерізі балки?
7. Які форми поперечних перерізів є раціональними для балок із пластичних матеріалів?
8. Як будуються епюри згинальних моментів?
9. Як будуються епюри поперечних сил?
10. Як перевіряється побудова епюри згинальних моментів?
11. Як перевіряється побудова епюри поперечних сил?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

Визначення деформацій при згинанні балки на двох опорах

Мета роботи: вивчити методику і відпрацювати навички розрахункового та експериментального визначення деформацій при згинанні балки на двох опорах.

Устаткування: Дослідження на згинання балки на двох опорах виконуються на дослідній установці, яка встановлена в лабораторії кафедри прикладної механіки Національного університету цивільного захисту України.

Теоретичне обґрунтування. При згинанні балки на двох опорах, яка навантажена зосередженою силою в середині прольоту, її максимальну деформацію, тобто прогин знаходимо за теоретичною формулою:

$$f = \frac{Pl^3}{48EI_Y}, \quad (4.1)$$

де: f – прогин в середині прольоту балки; P – зосереджене навантаження; l – відстань між опорами; E – модуль пружності матеріалу балки при розтяганні (стисканні); I_Y – осьовий момент інерції поперечного перерізу балки.

Зосереджене навантаження P та прогин в середині прольоту балки f визначаються експериментально, а геометричні характеристики – відстань між опорами l та осьовий момент інерції поперечного перерізу I_Y – безпосереднім вимірюванням і наступним обчисленням.

Залежність (4.1), яка обумовлена законом Гука при згинанні, обмежує величину згинального моменту, тому при проведенні дослідів потрібно визначити його максимально допустиме значення, при якому нормальні напруження балки не перевищують границі пропорційності:

$$\sigma_{max} = \frac{M_{3\Gamma}^{max}}{W_Y} \leq \sigma_{m\zeta}, \quad (4.2)$$

де: W_Y – осьовий момент опору поперечного перерізу; $\sigma_{m\zeta}$ – границя пропорційності матеріалу балки при згинанні. Звідки

$$M_{3\Gamma}^{max} \leq \sigma_{m\zeta} W_Y. \quad (4.3)$$

При виконанні умови (4.3) деформації балки при експерименті будуть пружними, а залишкові деформації – відсутніми.

Підготовка та проведення дослідів. Для дослідження виготовлено спеціальний зразок у вигляді балки прямокутного поперечного перерізу, яка спирається на опори випробувального пристрою.

Перед випробуванням потрібно визначити необхідні розміри балки і дослідної установки, виконати їх ескізи (рис. 4.1 і 4.2) і занести дані до протоколу дослідів.

Прогин двохопорної балки f вимірюється за допомогою індикатора годинникового типу, який встановлено в точці прикладення вертикального навантаження, що знаходиться в середині прольоту балки, довжиною l .

Величина згинального моменту в центрі балки дорівнює

$$M_{3Г} = \frac{Pl}{4}, \quad (4.4)$$

де: P – вертикальне навантаження балки.

З урахуванням умови (4.3) навантаження балки не повинно перевищувати максимального значення

$$P \leq P_{max} = \frac{4M_{3Г}^{max}}{l}. \quad (4.5)$$

Для підвищення точності експерименту навантаження балки поділяється на декілька кроків, що обумовлені вагою відповідних тягарців.

До протоколу дослідів занотовуються покази індикатора та вага тягарців перед навантаженням і для кожного кроку навантаження.

Обробка результатів. Середній приріст вертикального переміщення балки під індикатором (Δf_{CP}) на крок навантаження дорівнює усередненій різниці показів індикатора (Δf_i):

$$\Delta f_{CP} = \frac{\sum_{i=1}^5 \Delta f_i}{5}. \quad (4.6)$$

Середній приріст вертикального навантаження консолі (ΔP_{CP}) на крок навантаження дорівнює усередненій вазі тягарців

$(\Delta P_i = P_i)$:

$$\Delta P_{CP} = \frac{\sum_{i=1}^5 \Delta P_i}{5}. \quad (4.7)$$

Для визначення розрахункової величини прогину балки в формулу (4.1) підставляються середній приріст вертикального навантаження (ΔP_{CP}) та табличне значення модуля Юнга матеріалу балки.

Знайдена експериментальна величина середнього прогину (вертикального переміщення) балки під індикатором (Δf_{CP}) порівнюється із розрахунковим значенням з визначенням похибки у відсотках.

ПРОТОКОЛ ВИПРОБУВАНЬ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ № 4

Визначення деформацій при згинанні балки на двох опорах

Випробування проведено " _____ " _____ 20__ р.

Мета роботи: вивчити методику і відпрацювати навички розрахункового та експериментального визначення деформацій при згинанні балки на двох опорах.

Таблиця 1. Вихідні дані

№ з.п.	Найменування даних	Позначення, формули та числові дані
1	Матеріал балки	
2	Табличне значення модуля Юнга матеріалу балки, <i>МПа</i>	$E =$
3	Рисунок 4.1. Схема дослідної установки	Рисунок 4.2. Ескіз перерізу балки
4	Відстань між опорами балки, <i>мм</i>	$l =$
5	Розміри перерізу балки, <i>мм</i>	$b =$ $h =$
6	Осьовий момент інерції поперечного перерізу балки, <i>см⁴</i>	$I_Y = \frac{bh^3}{12} =$
7	Осьовий момент опору поперечного перерізу балки, <i>см³</i>	$W_Y = \frac{bh^2}{6} =$
8	Границя пропорційності матеріалу балки при згинанні, <i>МПа</i>	$\sigma_{нц} =$
9	Максимальне допустиме значення згинального моменту, <i>Нм</i>	$M_{3Г}^{max} \leq \sigma_{нц} W_Y =$

10	Відстань від опори до точки прикладення навантаження, <i>мм</i>	$\frac{l}{2} =$
11	Відстань від затиснення до точки встановлення індикатора, <i>мм</i>	$\frac{l}{2} =$
12	Максимальне допустиме значення навантаження, <i>Н</i>	$P \leq P_{max} = \frac{4M_{3\Gamma}^{max}}{l} =$

Таблиця 2. Результати спостережень

№ кроку	Величина навантаження, <i>Н</i>	Крок навантаження, <i>Н</i>	Покази індикатора, <i>мм</i>	Різниця показів індикатора, <i>мм</i>
	P_i	ΔP_i	f_i	Δf_i
0				
1				
2				
3				
4				
5				

Таблиця 3. Обробка результатів дослідження

№	Найменування даних	Позначення, формули та числові дані
1	Сума різниць показів індикатора, <i>мм</i>	$\sum_{i=1}^5 \Delta f_i =$
2	Середня різниця показів індикатора, <i>мм</i>	$\Delta f_{CP} = \frac{\sum_{i=1}^5 \Delta f_i}{5} =$
3	Експериментальне значення прогину ба-	$f_{експ} = \Delta f_{CP} =$

	лки, мм	
4	Сума кроків навантаження, Н	$\sum_{i=1}^5 \Delta P_i =$
5	Середній крок навантаження, Н	$\Delta P_{CP} = \frac{\sum_{i=1}^5 \Delta P_i}{5} =$
6	Розрахункове значення прогину балки, мм	$f_{розр} = \frac{\Delta P_{CP} l^3}{48EI_Y} =$

Таблиця 4. Висновки

Розрахунком та експериментально визначено прогин при згинанні балки на двох опорах. Розбіжність становить:		$\delta = \frac{ f_{розр} - f_{експ} }{f_{розр}} 100\% =$		
Роботу виконав				
	курсант (студент)	Група	Прізвище, ім'я та по батькові	Дата, підпис
Роботу прийняв		Прикладна механіка		
	викладач	Кафедра	Прізвище, ім'я та по батькові	Оцінка, дата, підпис

Контрольні питання:

1. Що називається згинанням і коли воно відбувається?
2. Як визначається допустиме навантаження при випробуванні балки на згинання?
3. Як експериментально визначаються деформації балки?
4. Як визначаються опорні реакції балки на двох опорах?
5. Як обчислюються нормальні напруження в поперечних перерізах балки при згинанні?
6. Як обчислюється згинальний момент у поперечному перерізі балки?
7. Які форми поперечних перерізів є раціональними для балок із пластичних матеріалів?
8. Як будуються епюри згинальних моментів?
9. Як будуються епюри поперечних сил?
10. Як перевіряється побудова епюри згинальних моментів?
11. Як перевіряється побудова епюри поперечних сил?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

Випробування стиснутого стержня на стійкість

Мета роботи: визначити критичну силу теоретично (за допомогою формули Ейлера) та експериментально.

Устаткування: Дослідження на стійкість виконується на дослідній установці, яка встановлена в лабораторії кафедри прикладної механіки Національного університету цивільного захисту України.

Теоретичне обґрунтування. Довгі стиснуті стержні можуть втрачати несучу здатність через втрату стійкості, якщо стискальна сила перевищує критичне значення, яке має назву «критична сила» і визначається за формулою Ейлера:

$$F_{кр} = \frac{\pi^2 EI_{min}}{(\mu l)^2}, \quad (5.1)$$

де I_{min} – мінімальний момент інерції поперечного перерізу стержня; E – модуль пружності матеріалу стержня; l – довжина стержня; μ – коефіцієнт зведеної довжини, який залежить від способів закріплення кінців стержня. При застосуванні формули Ейлера для сталевих стержнів має бути виконана умова $\lambda \geq 100$, де λ – гнучкість стержня - визначається за формулою:

$$\lambda = \frac{\mu l}{i_{min}}, \quad (5.2)$$

де i_{min} – мінімальний радіус інерції поперечного перерізу стержня дорівнює:

$$i_{min} = \sqrt{\frac{I_{min}}{A}}, \quad (5.3)$$

де A - площа поперечного перерізу стержня.

Таким чином

$$\lambda = \frac{\mu l}{i_{min}} \geq 100, \quad (5.4)$$

або

$$l \geq 100 \frac{i_{min}}{\mu}. \quad (5.5)$$

При виконанні умови (5.5) деформації балки при експерименті будуть пружними, напруження від критичної сили менше границі

пропорційності – тобто у відповідності із законом Гука.

Із збільшенням довжини стержня при постійній стискальній силі (P), його гнучкість збільшується і можливо настання критичного стану. Таким чином, можна визначити відповідну «критичну довжину» стержня $l_{\text{кр}}$

$$l_{\text{кр}} = \sqrt{\frac{\pi^2 EI_{\text{min}}}{\mu^2 P}}. \quad (5.6)$$

Підготовка та проведення досліду. Для дослідження виготовлено спеціальний зразок у вигляді вертикальної стійки (стержня) прямокутного поперечного перерізу, яка жорстко затиснена в опорі випробувального пристрою. Перед випробуванням потрібно визначити необхідні розміри балки і дослідної установки, виконати їх ескізи (рис. 5.1 і 5.2) і занести дані до протоколу досліду.

Випробування проводиться на спеціальній установці, яка дає змогу з деяким кроком збільшувати (зменшувати) довжину стійки l при постійній стискальній силі P , яка визначається закріпленням на стійці тягарцем. При цьому треба слідкувати за поведінкою стержня. Якщо система не досягла критичного стану, то при виведенні стержня зі стану прямолінійної форми рівноваги він після деяких коливань знову займатиме початкове положення. Якщо ж система досягла критичного значення, то при виведенні стержня зі стану прямолінійної форми рівноваги він не повертається до початкового положення.

Визначення довжини стійки, яка відповідає критичному стану системи ($l_{\text{кр}}$), повторюють декілька разів з метою підвищення точності досліду і занотують до протоколу випробувань.

Після випробування стержень розвантажується.

Обробка результатів. Усереднена величина «критичної довжини» стійки, яка визначена в серії із n випробувань становить

$$l_{\text{кр.ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n l_{\text{кр}.i}}{n}. \quad (5.7)$$

За усередненою величиною «критичної довжини» стійки за формулою Ейлера визначається експериментальна величина критичної сили та порівнюється із діючим навантаженням (P) з визначенням похибки у відсотках.

$$F_{\text{кр.експ}} = \frac{\pi^2 EI_{\text{min}}}{(\mu l_{\text{кр.ср}})^2}. \quad (5.8)$$

ПРОТОКОЛ ВИПРОБУВАНЬ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ № 5

Випробування стиснутого стержня на стійкість

Випробування проведено " _____ " _____ 20__ р.

Мета роботи: вивчити методику і відпрацювати навички розрахункового (за допомогою формули Ейлера) та експериментального визначення критичної сили при випробуванні стиснутого стержня на стійкість.

Таблиця 1. Вихідні дані

№ з.п.	Найменування даних	Позначення, формули та числові дані
1	Матеріал стержня	
2	Модуль пружності матеріалу стержня, МПа	$E =$
3		
	Рисунок 5.1. Схема дослідної установки	Рисунок 5.2. Ескіз перерізу стержня
4	Довжина стержня, мм	$l = var$
5	Розміри перерізу балки, мм	ширина: $b =$ товщина: $h =$
6	Площа поперечного перерізу стержня, мм ²	$A = bh =$
7	Мінімальний момент інерції перерізу, мм ⁴	$I_{min} = \frac{bh^3}{12} =$

8	Мінімальний радіус інерції перерізу, <i>мм</i>	$i_{min} = \sqrt{\frac{I_{min}}{A}} =$
9	Коефіцієнт, що враховує умови закріплення кінців стержня	$\mu =$
10	Стискальне навантаження, <i>Н</i>	$P =$

Таблиця 2. Результати спостережень

№ з.п.	Найменування даних	Позначення, формули та числові дані	
1	Експериментальне значення «критичної довжини» стержня, <i>мм</i>	Дослід № 1	$l_{кр.1} =$
		Дослід № 2	$l_{кр.2} =$
		Дослід № 3	$l_{кр.3} =$
		Середнє значення	$l_{кр.ср} = \frac{\sum_{i=1}^3 l_{кр.i}}{3} =$
2	Визначення гнучкості стержня.	$\lambda = \frac{\mu l_{кр.ср}}{i_{min}} =$	
3	Перевірка можливості застосування формули Ейлера ($\lambda \geq 100$)		
4	Експериментальне значення критичної сили, <i>Н</i>	$F_{кр.експ} = \frac{\pi^2 EI_{min}}{(\mu l_{кр.ср})^2} =$	

Таблиця 4. Висновки

Розрахунково- експериментальним методом визначена величина критичної сили для стиснутого стержня. Розбіжність із діючим стискальним навантаженням становить:		$\delta = \frac{ P - F_{\text{кр.експ}} }{P} 100\% =$		
Роботу виконав				
	курсант (студент)	Група	Прізвище, ім'я та по батькові	Дата, підпис
Роботу прийняв		Прикладна механіка		
	викладач	Кафедра	Прізвище, ім'я та по батькові	Оцінка, дата, підпис

Контрольні питання:

1. У чому полягає явище втрати стійкості стиснутого стержня?
2. Що називається критичною силою?
3. Що називається критичним напруженням?
4. Що називається гнучкістю стержня?
5. Від яких параметрів залежить гнучкість стержня?
6. Який вид має формула Ейлера, яка визначає значення критичної сили?
7. Як впливають жорсткість поперечного перерізу на значення критичної сили?
8. Як впливають довжина стержня на значення критичної сили?
9. Який момент інерції перерізу входить у формулу Ейлера?
10. Що являє собою коефіцієнт приведення довжини стержня? Назвіть його значення при різних умовах закріплення кінців стиснутих стержнів.
11. Як установлюється границя застосування формули Ейлера?
12. Який вид має формула Ф.С.Ясинського для визначення критичних напружень?
13. При яких значеннях гнучкості застосовується формула Ф.С.Ясинського для розрахунку стиснутих стержнів зі сталі Ст3?
14. Як визначається критична сила по Ф.С. Ясинському?
15. Який вид має графік залежності критичних напружень від гнучкості для сталевих стержнів?
16. Який вид має умова стійкості стиснутого стержня?
17. Які типи розрахунків можна виконувати за допомогою умови стійкості стиснутого стержня?

ЛІТЕРАТУРА

Основна

1. Опір матеріалів з основами теорії пружності й пластичності: У 2 ч., 5 кн. – Ч. 1, кн. 1. Загальні основи курсу /В.Г. Піскунов, В.К. Присяжнюк; За ред. В.Г. Піскунова. – К.: Вища шк., 1994. – 204 с.
2. Опір матеріалів з основами теорії пружності й пластичності: У 2 ч., 5 кн. – Ч. 1, кн. 2. Опір бруса / В.Г. Піскунов, Ю.М. Федоренко, В.Д. Шевченко та ін.; За ред. В.Г. Піскунова. – К.: Вища шк., 1994. – 335 с.
3. Опір матеріалів з основами теорії пружності й пластичності: У 2 ч., 5 кн. – Ч. 2, кн. 4. Приклади і задачі / В.Г. Піскунов, В.Д.Шевченко, М.М. Рубан та ін.; За ред. В.Г. Піскунова. – К.:Вища шк., 1995. – 303 с.
4. Писаренко Г.С., Квітка О.Л., Уманський Е.С. Опір матеріалів. — К.: Вища шк., 1993. – 665 с.
5. Прикладна механіка, розділ «Опір матеріалів» /Євсюков О.П., Садковий В.П., Ларін О.М., Драгун С.В., Чернобай Г.О., Саварона А.П. – Харків: АПБУ, 2006. -220 с. Курс лекцій.

Додаткова література

6. Александров А.В., Потапов В.Д., Державин Б.П. Сопротивление материалов. — М.: Высш. шк., 1995. — 560 с.
7. Дарков А.В., Шпиро Г.С. Сопротивление материалов. – М.: Высш. шк., 1989. – 624 с.
8. Сопротивление материалов / Под общ. ред. Смирнова А.Ф. – М.: Высш. шк., 1975. – 480 с.
9. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. - М.: Наука, 1986. – 512 с.
10. Цурпал А.И., Барабан Н.П., Швайко В.М. Сопротивление материалов: Лабораторные работы, – 2 изд. – К.: Вища школа Головне вид-во, 1988. – 243 с.

ЗМІСТ

стор.

Інструкція (витяг) з охорони праці при проведенні лабораторних робіт з прикладної механіки.....	3
Вступ.....	5
Вказівки до виконання лабораторних робіт та оформлення протоколів.....	5
Лабораторна робота № 1. Випробування на зріз металевих зразків.....	6
Лабораторна робота № 2. Визначення модуля зсуву з випробувань на кручення.....	8
Лабораторна робота № 3. Визначення модуля Юнга з випробувань на згинання сталевій консолі.....	14
Лабораторна робота № 4 Визначення деформацій при згинанні балки на двох опорах.....	20
Лабораторна робота № 5. Випробування стиснутого стержня на стійкість.....	26
Література	31

Навчальне видання

Укладачі: **Чернобай** Генадій Олександрович
Кондратенко Олександр Миколайович
Деркач Юрій Федорович

Прикладна механіка. Розділ «Опір матеріалів» Робочий зошит. Лабораторні роботи

Відповідальний за випуск О.М.Кондратенко

Підп. до друку 15.06.2016 р. Формат 60x84 1/16
Папір 80 г/см². Друк ризограф. Умовн.-друк. арк. 2,25
Тираж прим. Вид № 32/16

Сектор редакційно-видавничої діяльності
Національного університету цивільного захисту України
61023, Харків, вул. Чернишевська, 94