

Міністерство освіти і науки України
Мирогощанський аграрний фаховий коледж

ІНСТРУКЦІЙНА КАРТА

Для проведення лабораторно-практичних занять

З курсу: Інженерна механіка

Тема заняття: Стійкість стиснутих стержнів

Робоче місце: Лабораторна робота № 4

Назва роботи: **Визначення критичної сили стержня.**

Тривалість заняття: 80 хв

Викладач _____ Корнелюк А.І.

Розглянуто на засіданні циклової комісії технічних дисциплін

Протокол № _____ від “ _____ ” _____ 20__ р.

Голова комісії _____ Мельник О.М

Лабораторна робота 4

ВИЗНАЧЕННЯ КРИТИЧНОЇ СИЛИ СТЕРЖНЯ

Мета роботи:

- дослідити явище втрати стійкості прямолінійної форми рівноваги при осьовому стисненні гнучких стержнів;
- порівняти значення критичних сил, визначених по розрахунковій формулі і експериментально.

Матеріальне забезпечення:

1. Установка для дослідження гнучкого стрижня на поздовжній згин – 1 шт.
2. Вимірювальний прилад (важільно-зубчаста вимірювальна головка типу МИГ-1 з ціною поділки 1 мкм) – 1 шт.

Завдання до лабораторної роботи:

1. Дослідити деякі випадки втрати стійкості прямолінійної форми рівноваги при осьовому стисненні гнучких стержнів; експериментально перевірити формулу для визначення критичної сили.

Теоретичні відомості

При розрахунках на міцність і жорсткість припускається, що при деформації конструкції між зовнішніми навантаженнями і внутрішніми силами пружності має місце стійка форма рівноваги. При стисненні стержнів вздовж поздовжньої осі ця рівновага залишається стійкою до певного значення зовнішніх сил, що дорівнюють критичним.

Напруження, при якому стиснутий у центрі прямолінійний стержень втрачає стійкість, може бути значно меншим границі міцності матеріалу, з якого він виготовлений. При втраті прямолінійної форми в перерізах стержня виникають додаткові напруження згину.

Незначне перевищення зовнішньої сили понад критичне призводить до недопустимого зростання деформації елемента конструкції і в наслідку руйнування.

Згин, зв'язаний з втратою стійкості стержнем прямолінійної форми рівноваги при певній величині осьової стискуючої сили називають поздовжнім згином. Зазначимо, що ніяких сил, що діяли перпендикулярно до поздовжньої осі, при цьому не має.

Критичною силою називається найбільше значення осьової стискуючої сили, до якої прямолінійна форма рівноваги стержня являється стійкою. Критичну силу можна визначити за формулою Ейлера:

$$F_{кр} = \frac{\pi^2 EJ_{\min}}{(\mu l)^2}$$

де E - модуль пружності для матеріалу стержня;

$J_{\min}$ - мінімальний осьовий момент інерції поперечного перерізу стержня;

μ - коефіцієнт приведення довжини, що залежить від способу закріплення кінців стержня;

l - довжини стержня

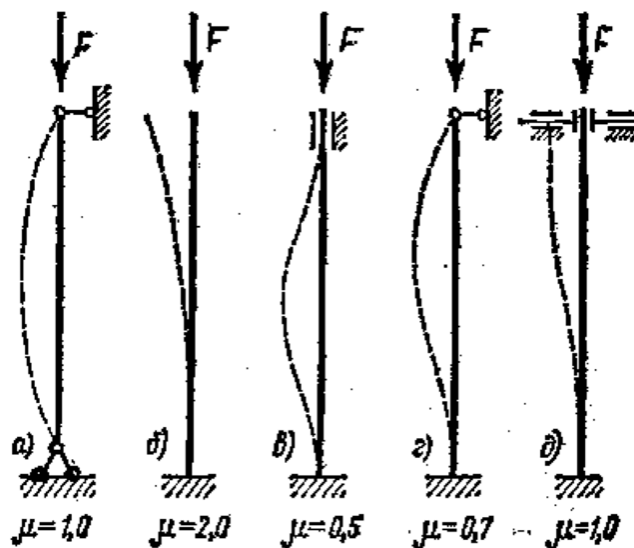


Рис. 1. Значення коефіцієнта μ приведення довжини в деяких випадках закріплення кінців стержня

Поняття приведеної довжини $\mu=1$ вперше введено професором Ф.С. Ясинським. Являє собою коефіцієнт приведення довжини, число, яке показує в скільки разів необхідно збільшити довжину шарнірно закріпленого з обох кінців стержня, щоб критична сила для нього була рівною критичній силі стержня в даних умовах закріплення.

На рис. 1 показані деякі випадки закріплення кінців стержня і приведені значення коефіцієнта μ :

а – обидва кінці стержня закріплені шарнірно і можуть зближатися;

б – нижній кінець жорстко закріплений (защемлений), верхній вільний;

в – обидва кінці жорстко закріплені (защемлені), верхній кінець поміщено в нерухому втулку, внаслідок чого він може лише зміщуватись в поздовжньому напрямі;

г – нижній кінець жорстко закріплений, верхній закріплений шарнірно, кінці можуть зближатися;

д – нижній кінець жорстко закріплений, верхній кінець поміщено в рухому втулку і може вільно переміщуватися в напрямі, перпендикулярному до осі стержня, але обертання не може бути.

Зазначимо, що на практиці майже ніколи не трапляються в чистому вигляді приведені закріплення стержня.

З формули Ейлера видно, що значення критичної сили не залежить від характеристик міцності матеріалу, а залежить від модуля пружності.

Оскільки модулі пружності різних марок сталей мало відмінні, то критичні сили для стержнів з високоякісних легованих сталей і з звичайних вуглецевих сталей приблизно однакові. Тому застосування дорогих легованих сталей з високим значенням σ_T і σ_B для стержнів, які працюють лише на поздовжнє гнуття, в більшості випадків не виправдане. В цьому полягає різниця між роботою стержня на розтяг і на стиск.

Формулу Ейлера можна застосовувати, коли гнучкість стержня

$$\lambda = \frac{\mu \cdot l}{i_{\min}}$$

де $i_{\min} = \sqrt{\frac{J_{\min}}{A}}$ - мінімальний радіус інерції поперечного перерізу стержня не

$$\lambda_{ep} = \pi \sqrt{\frac{E}{\sigma_{тц}}}$$

менше граничного її значення, що відповідає границі пропорційності матеріалу, тобто коли $\lambda \geq \lambda_{гр}$.

Гнучкість стержня це безрозмірна величина, що характеризує вплив розмірів стержня і способів закріплення його кінців. Тоді як гранична гнучкість залежить від фізико механічних властивостей матеріалу (E і $\sigma_{тц}$) і є сталою величиною для даного матеріалу. Для стержнів із маловуглецевої сталі формула Ейлера застосовується, якщо їх гнучкість $\lambda \geq 100$. При менших значеннях гнучкості формула Ейлера неприйнятна, так як втрата стійкості відбувається при напруженнях, що перевищують границю пропорційності.

Можна стверджувати, що досягнення навантаженням критичного значення рівнозначне руйнуванню конструкції, оскільки нестійка форма

рівноваги, коли $F > F_{кр}$ неминуче буде втрачена, що пов'язане з практично необмеженим зростанням деформації та напружень. Особлива небезпека руйнування внаслідок втрати стійкості полягає в тому, що, як правило, воно відбувається раптово й при низьких значеннях напружень, коли міцність елемента ще не вичерпана.

Опис лабораторної установки

Схема експериментальної установки приведена на рис. 2.

Робота виконується на зразку у вигляді сталевго стержня 1 довжиною $l=500\text{мм}$ прямокутного перерізу з розмірами $b=2,0\text{мм}$, $h=35\text{мм}$. Кінці стержня установлені в спеціальних затискних головках 2 і 3 для закріплення його кінців.

Використовуючи затискні гвинти 4 можна жорстко закріпити один кінець стержня при шарнірному кріпленні другою, що відповідає $\mu=0,7$, або жорстко закріпити обидва кінці стержня, що відповідає $\mu=0,5$ або здійснити шарнірне кріплення ($\mu=1$). Головка 3 входить у втулку з динамометром 5, що дає можливість вимірювати силу стиснення стержня за допомогою вимірювальної головки 6 з ціною поділки $i=0,001\text{мм}$. Конічним гвинтом втулка жорстко з'єднується з правим опорним стояком 7, що має відповідний затискний пристрій 8, що включає затяжний болт і ексцентриковий затискач.

Навантаження здійснюють гвинтовим домкратом 9, що установлений на лівому опорному стояку 10.

Опори 7 і 10 за допомогою болтів і гайок 11 кріпляться в Т-подібному пазу силової плити 12 лабораторного стола.

Послідовність виконання роботи

1. Ознайомитись із будовою лабораторної установки для визначення критичної сили стиснутого стержня. Розібратися з призначенням її окремих елементів.

2. Встановити стержень у затискних головках і закріпити відповідно до варіанту, що досліджується, кріплення кінців стержня ($\mu=1$; $\mu=0,7$; $\mu=0,5$)

3. Навантажити для кожного із варіантів кріплення зразок, що досліджується, обертанням маховика домкрата. Навантаження необхідно здійснювати повільно і плавно (безперервно), спостерігаючи за збільшенням показань вимірювального приладу і поведінкою зразка. Критичною силою вважають те значення сили стискання, при якому починається вигин стержня видимий візуально при стеженні за процесом навантаження зразка. Показання вимірювальної головки домкрата для послідууючої статистичної обробки результатів експерименту позначити, як $x_i(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$. Здійснити

повторні вимірювання критичної сили стиснення для кожного із варіантів кріплення кінців стержнів. Кількість повторних вимірів повинна бути не менше 6-7 (встановлюється викладачем).

Отримані результати вимірювань занести до табл. 1

Вказівка: після кожного із вимірювань досліджуваного параметру експериментальна установка повинна бути розвантажена, а нульове показання вимірювальної головки повинно бути відкореговано.

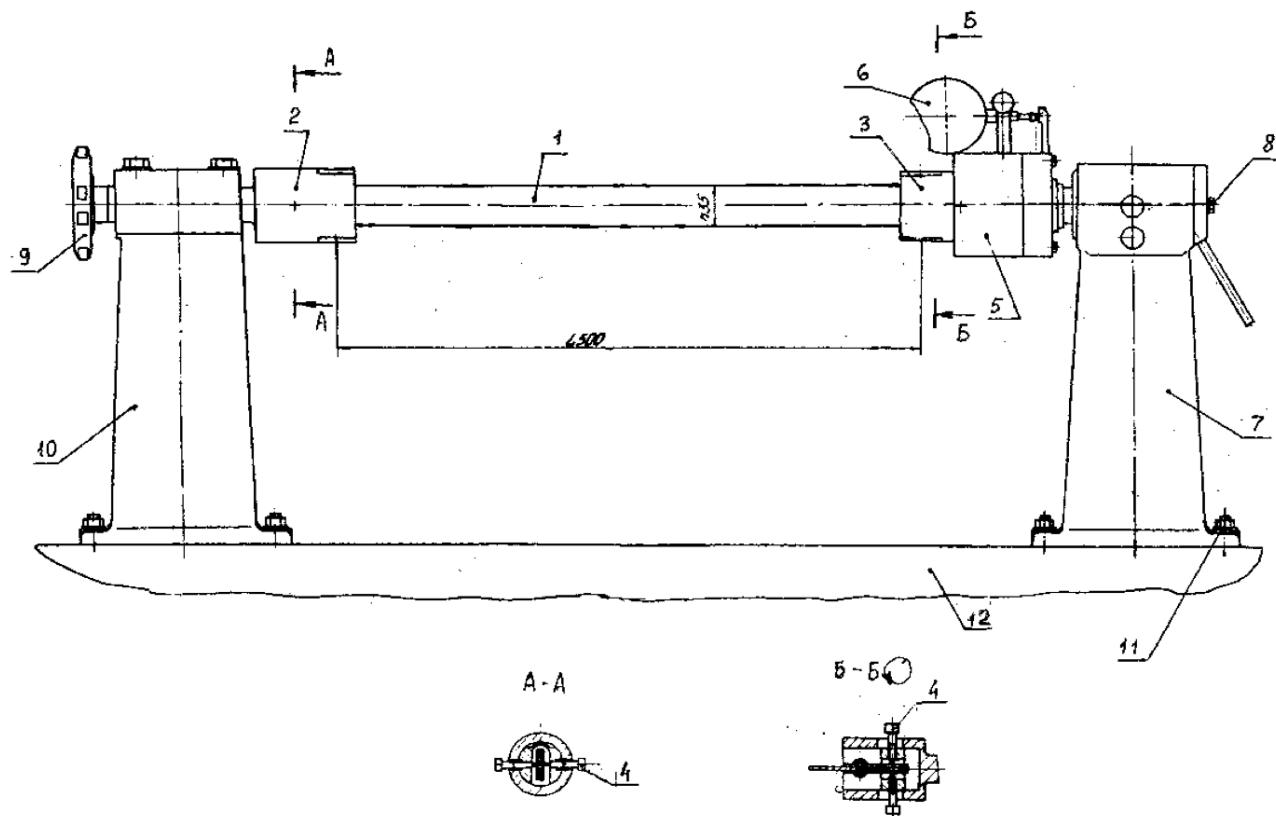


Рис. 2. Схема експериментальної установки для визначення критичної сили стиснутого стержня

4. Виконати статистичну обробку результатів вимірювань критичної сили стиснутого стержня.

Таблиця 1

Результати вимірювань критичної сили стиснутого стержня

Закріплення кінців стержня	Показання приладу, мм						S, мм	Результат експерименту		
	x_1	x_2	x_3	...	x_n	$\bar{x}$		$\bar{x}'$, мм	$m = \bar{x}'$, мм	Прогини $F_{кр}^e = m \cdot k$, Н
$\mu=1$										
$\mu=0,7$										
$\mu=0,5$										

Таблиця 2

Результати оцінки вимірювань при рівні значимості $\alpha=0,05$

Закріплення кінців стержня	Відповідні дані, мм		Сумнівні результати вимірювань та відхилення, мм		Оцінка за критерієм грубих похибок		
	$\bar{x}$	S			критерій t_β	$t_\beta \cdot S$	висновок про похибку
$\mu=1$			$x_{max}^c =$	$ x_{max}^c - \bar{x} =$			
			$x_{min}^c =$	$ x_{min}^c - \bar{x} =$			
$\mu=0,7$			$x_{max}^c =$	$ x_{max}^c - \bar{x} =$			
			$x_{min}^c =$	$ x_{min}^c - \bar{x} =$			
$\mu=0,5$			$x_{max}^c =$	$ x_{max}^c - \bar{x} =$			
			$x_{min}^c =$	$ x_{min}^c - \bar{x} =$			

5. Визначити експериментальне значення критичної сили стиснутого стержня за формулою:

$$F_{кр}^e = m \cdot k, \text{ Н}$$

де m – усереднене значення показань вимірювального приладу: $m = \bar{x}'$, мм

k – ціна поділки приладу при вимірюванні зусилля. Для даної наладки при використанні вимірювального приладу з ціною поділки $i=0,001\text{ мм}=1\text{ мкм}$ ціна однієї поділки $k=1,176\text{ Н/мкм}$.

Результат занести до табл. 1 та 3.

6. Визначити теоретичне значення критичної сили стиснутого стержня за формулою Ейлера

Значення модуля пружності матеріалу стержня, що досліджується, прийняти $E=(2,0-2,1)105\text{МПа (Н/мм}^2\text{)}$.

Осьовий момент інерції поперечного перерізу стержня визначити за формулою:

$$J_{\min} = \frac{h \cdot b^3}{12} [\text{мм}^4]$$

де $b=2,0\text{мм}$. $h=35\text{мм}$.

Результати занести до табл.3.

7. Визначити відхилення результатів експерименту від розрахункового значення критичної сили стиснутого стержня за формулою:

$$\delta = \frac{|F_{кр}^e - F_{кр}^T|}{F_{кр}^T} \cdot 100\%$$

Результат занести до табл.3.

Таблиця 3

Порівняння розрахункових і експериментальних результатів визначення критичної сили стиснутого стержня

Закріплення кінців стержня	Критична сила , $F_{кр}$, Н		Розбіжність, %
	експериментальне значення	теоретичне значення	
$\mu=1$			
$\mu=0,7$			
$\mu=0,5$			

Зміст звіту

1. Назва роботи.
2. Мета роботи.
3. Завдання до лабораторної роботи.
4. Результати вимірювань критичної сили стиснутого стержня (за формою табл. 1) та їх оцінки за критерієм грубих похибок (за формою табл.2).
5. Оцінка відхилення результатів експерименту від розрахункового значення критичної сили стиснутого стержня (за формою табл.3).
6. Формули, що були використані при виконанні розрахунків з підстановкою цифрових значень фізичних величин.
7. Висновок.

Контрольні запитання

1. Яка форма перерізу стиснутого стержня являється раціональною?
2. У чому полягає явище втрати стійкості стиснутого стержня?
3. Чим небезпечна втрата стійкості конструкції?
4. Яку силу для стиснутого стержня називають критичною?
5. За якою формулою визначають критичну силу?
6. Що таке гнучкість стержня? Як вона визначається?
7. Як визначається гранична гнучкість і для чого служить ця величина?
8. В яких межах застосовується формула Ейлера?
9. Чому у формулі Ейлера записується $J_{\min}$, а не $J_{\max}$?