

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Національний університет «Запорізька політехніка»**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до виконання лабораторної роботи №5  
«Дослідження стійкості стояків з одинарними та складеними  
перерізами при жорсткому й шарнірному закріпленні їх кінців»

з дисципліни  
«Розрахунки та проектування зварних конструкцій»

для студентів освітньої програми «Технології та устаткування  
зварювання» усіх форм навчання

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи №5 «Дослідження стійкості стояків з одинарними та складеними перерізами при жорсткому й шарнірному закріпленні їх кінців» з дисципліни «Розрахунки та проектування зварних конструкцій» для студентів освітньої програми «Технології та устаткування зварювання» усіх форм навчання / Укл. М.Ю. Осіпов, О.Є. Капустян. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2020. – 14 с.

Укладачі: Осіпов М.Ю., канд. техн. наук, доцент  
Капустян О.Є., канд. техн. наук, доцент

Рецензент: Лаптева Г. М., канд. техн. наук, доцент

Редактор: Аверченко І.П., ст. лаб.

Відповідальний за випуск:  
Осіпов М.Ю., канд. техн. наук, доцент

Затверджено  
на засіданні кафедри ОТЗВ  
Протокол №7 від 19.02.2020 р.

Рекомендовано  
до видання НМК ІФФ  
Протокол №6 від 10.03.2020 р.

**ЗМІСТ**

1 МЕТА РОБОТИ.....	4
2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ.....	4
3 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ І КОНТРОЛЮ ПІДГОТОВЛЕНОСТІ СТУДЕНТІВ ДО РОБОТИ.....	7
4 МАТЕРІАЛИ, ІНСТРУМЕНТ, ПРИЛАДИ, ОБЛАДНАННЯ .....	8
5 ВКАЗІВКИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ .....	10
6 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ ..	11
7 ЗМІСТ ЗВІТУ .....	13
8 РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА .....	13

## 1 МЕТА РОБОТИ

Дослідження впливу зв'язків та схеми закріплення кінців на стійкість стояків кутового профілю.

## 2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Стояки (колони) служать для передачі навантаження від конструкцій, що розташовані зверху стояка, на опору. У залежності від того, як передається на стояк навантаження, розрізняють центральні- і ексцентрично стиснуті стояки.

Центральні стиснуті стояки працюють на поздовжню силу, прикладену по осі стояка, або симетрично щодо його вісі, що призводить до рівномірного стиску поперечного перерізу. Ексцентрично стиснуті стояки, крім осьового стиску від поздовжньої сили, працюють також на вигин від згинаючого моменту (рис. 2.1).

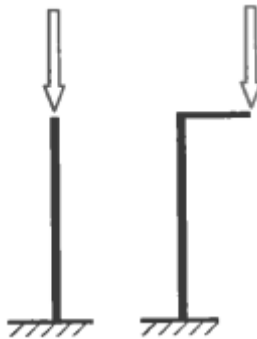


Рисунок 2.1 – Типи навантаження стояків

Для надійної роботи конструкції повинна бути забезпечена не тільки міцність, але й стійкість. Тому у цілому ряді випадків, врешті, для стиснутих стержнів, окрім перевірки на міцність, необхідна перевірка на стійкість.

Забезпечення стійкості досягається зниженням допустимих напружень для стиснутих елементів і множенням звичайних

допустимих напружень  $[\sigma]$  на коефіцієнт поздовжнього вигину  $\varphi \leq 1$ . Тоді допустимі напруження стиснення  $[\sigma]_{\text{ст}} = [\sigma] \cdot \varphi$ .

Коефіцієнт поздовжнього вигину  $\varphi$  залежить від гнучкості стержня  $\lambda$  і від матеріалу стисненого стержня. Значення  $\varphi$  для деяких конструкційних матеріалів приведено в [2].

Для визначення гнучкості  $\lambda$  береться приведена вільна довжина  $l_0$ , що залежить від геометричної довжини стояка і від характеру закріплення кінців його. На рис. 2.2 надані приведені вільні довжини при деяких типах закріплення кінців стислих стержнів. Чим менше гнучкість  $\lambda$ , тим ближче до одиниці коефіцієнт  $\varphi$  і тим повніше використовується матеріал.

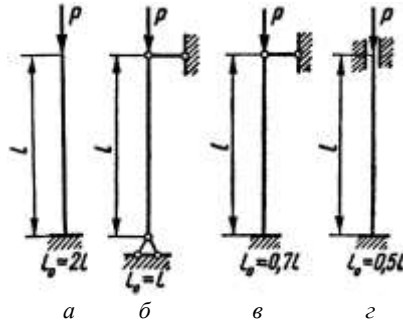


Рисунок 2.2 – Розрахункові схеми стояків

Гранична гнучкість стояків і колон обмежена. Для основних стояків і колон  $\lambda \leq 120$ ; для допоміжних –  $\lambda \leq 150$ .

Перетин стояка може бути суцільний або складений, що складається з окремих гілок, з'єднаних планками або вставками.

У суцільному перетині всі центральні вісі перетинають метал. Такі вісі називають матеріальними.

У складеному перерізі є одна або кілька центральних вісів, що не перетинають метал, їх називають вільними.

Тип перетину стояку вибирається конструктором в залежності від призначення, величини і характеру навантаження (центральна, ексцентрична) і від наведеної вільної довжини стояка  $l_0$ .

На рис. 2.3, а, б, в наведено деякі типи перетинів стояків і колон відповідно для малих (до 100 кН), середніх (100...1000 кН) і великих (понад 1000 кН) навантажень. Розподіл навантажень на малі, середні та великі і межі величин цих навантажень прийняті умовно.

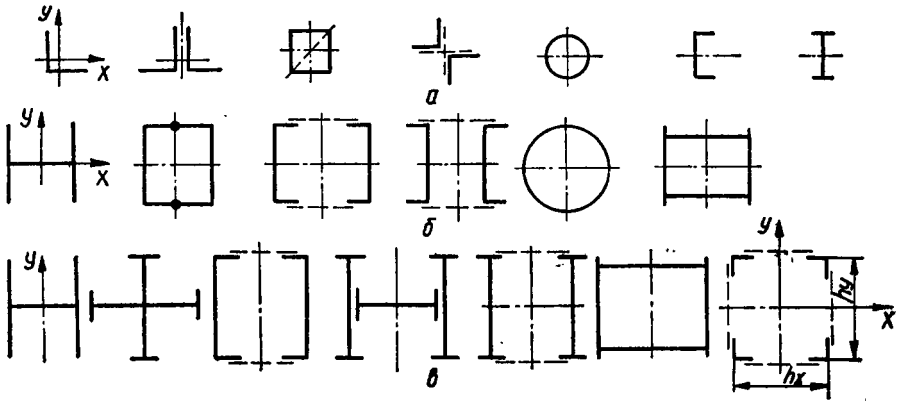


Рисунок 2.3 – Типи перетинів стовпків і колон [1]

Мінімальна стискаюча сила, що викликає в стиснутому стержні втрату стійкості, називається критичною силою  $P_{кр}$ . У загальному випадку стиснутого монолітного стержня критична величина навантаження визначається за формулою Ейлера:

$$P_{кр} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J_{min}}{(\mu \cdot l)^2}, \quad (2.1)$$

де  $E$  – модуль пружності; для дюралюмінію  $E = 0,071 \times 10^6$  МПа;

$J_{min}$  – мінімальний момент інерції,  $\text{см}^4$ ;

$l$  – довжина стержня, см;

$\mu$  – коефіцієнт приведеної довжини, яка залежить від способів затиснення кінців стовяка:

- при жорсткому закріпленні обох кінців (рис. 2.2, з)  $\mu = 0,5$ ;
- при шарнірному затисненні одного кінця (рис. 2.2, в)  $\mu = 0,7$ ;
- для стержня з одним защемленим кінцем та другим – вільним (рис. 2.2, а)  $\mu = 2,0$ ;
- для стержня з обома шарнірно закріпленими кінцями (рис. 2.2, б)  $\mu = 1,0$ .

При навантаженнях більших за критичне прямолінійна форма вісі стержня стає нестійкою, тобто практично зникає, і стержень переходить до нової криволінійної форми рівноваги. Ця нова форма рівноваги може бути також достатньо стійка, але її особливістю є дуже різке зростання прогинів при перевищенні навантаження критичного значення.

Для підвищення жорсткості стовпків, які мають складені

поперечні перерізи, окремі гілки з'єднуються зв'язками-вставками (рис. 2.4).

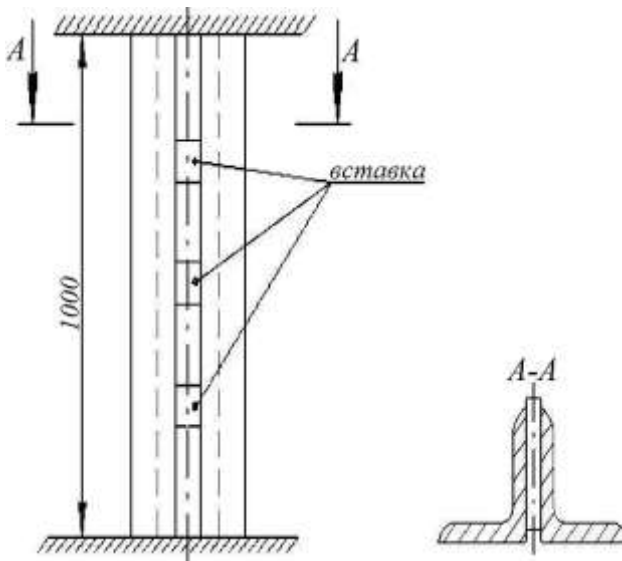


Рисунок 2.4 – Випробовуваний стояк складеного поперечного перерізу

### 3 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ І КОНТРОЛЮ ПІДГОТОВЛЕНОСТІ СТУДЕНТІВ ДО РОБОТИ

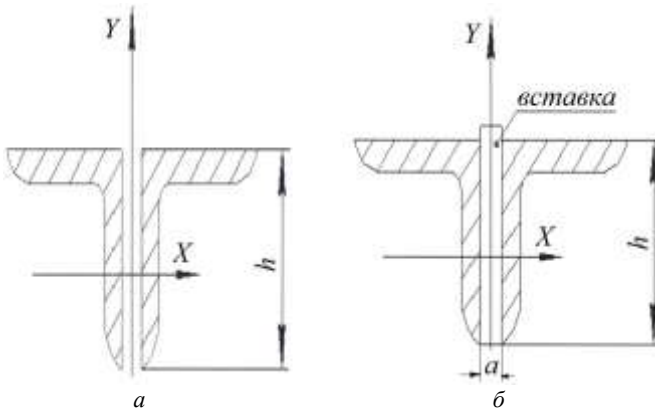
1. У якому напрямку відбувається поперечне переміщення стержня (при відсутності й присутності зв'язків) при поздовжньому стискуючому зусиллі?

2. Як виконується розрахунок міцності і стійкості стояків із складеними перерізами?

3. З яких міркувань у стержнях складеного перерізу призначаються відстані між зв'язками?

## 4 МАТЕРІАЛИ, ІНСТРУМЕНТ, ПРИЛАДИ, ОБЛАДНАННЯ

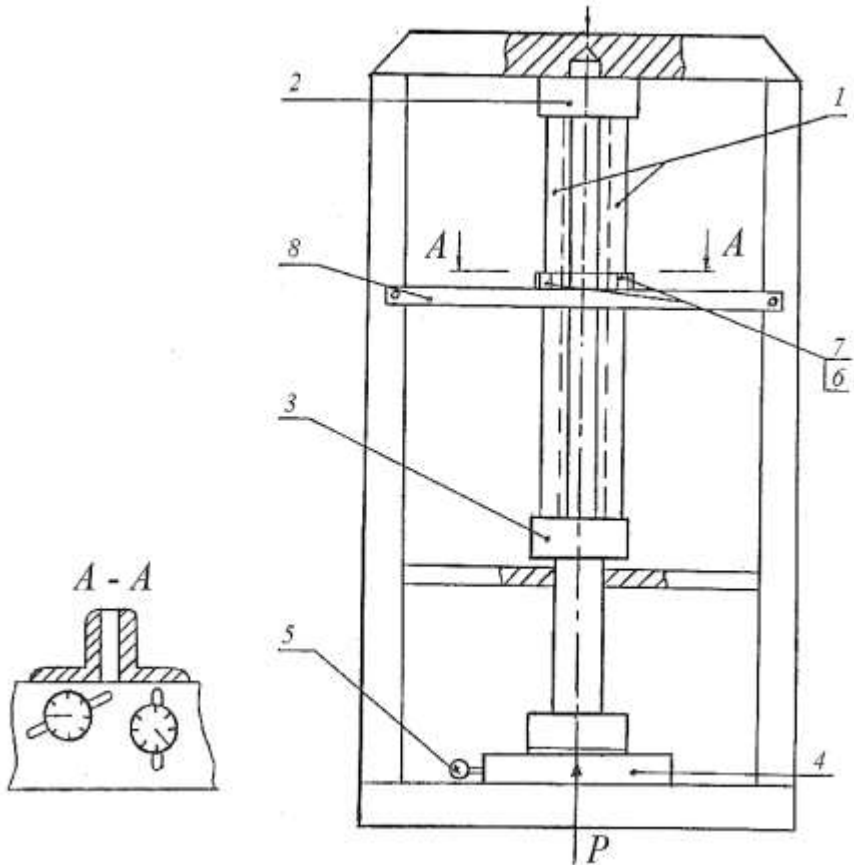
1. Стержні кутового профілю з алюмінієвого сплаву  $l = 1000$  мм, розмірами, мм:  $15 \times 15 \times 1,2$ ;  $20 \times 20 \times 1,2$ ;  $25 \times 25 \times 1,2$ ;  $30 \times 30 \times 1,2$  з незв'язаних (рис. 4.1, *а*) і зв'язаних вставками куточків (рис. 4.1, *б*).



*а* – незв'язані куточки, *б* – зв'язані куточки за допомогою вставок  
Рисунок 4.1 – Поперечні перерізи стояків з елементів кутового профілю

2. Лінійка метрична.
3. Штангенциркуль.
4. Прилад для навантаження стержня (рис. 4.2).





1 – випробувані стержні; 2,3 – захвати; 4 – прес; 5 – манометр; 6,7 – індикатори годинникового типу; 8 – площадка для кріплення

Рисунок 4.2 – Схема приладу для навантаження стержня

Випробувані стержні 1 закріплюються у захватах 2, 3, які забезпечують жорстке (*a*) і шарнірне (*б*) затиснення кінців стержнів (рис. 4.3). При прикладенні навантаження за допомогою преса 4, стискаючі зусилля передаються на стержні. Величина прикладеного зусилля оцінюється за даними манометра 5 преса 4. Поперечні переміщення стержнів при навантаженні поздовжнім зусиллям фіксуються індикаторами 6, 7, закріпленими на дільниці 8.

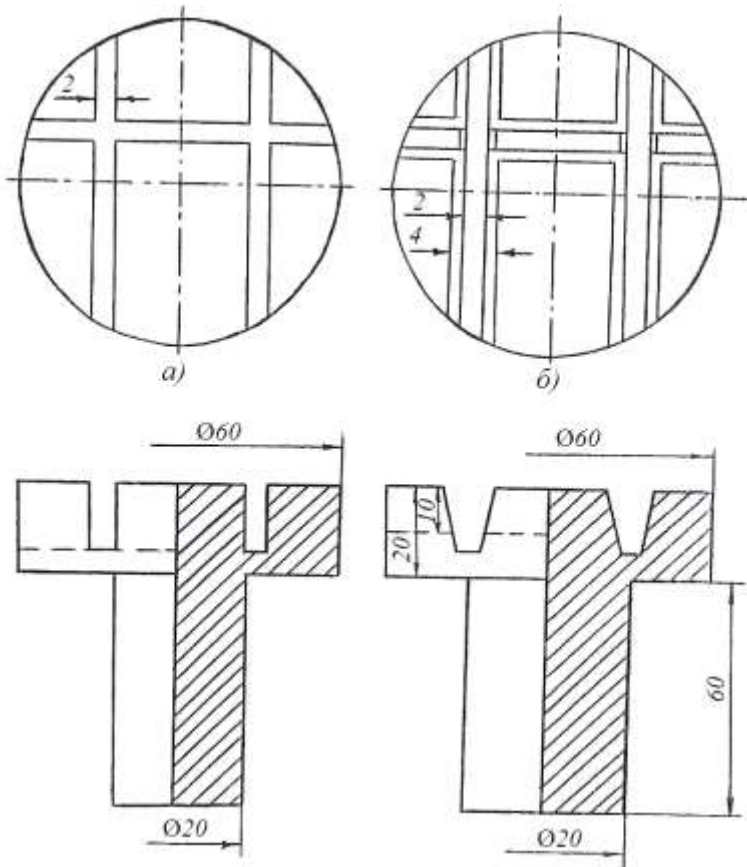


Рисунок 4.3 – Захвати для жорсткого (а) і шарнірного (б) затиснення випробуваних стержнів

## 5 ВКАЗІВКИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ

1. До лабораторних робіт допускаються студенти після інструктажу з охорони праці та пожежної безпеки.
2. Забороняється вмикати електричні прилади та обладнання без дозволу завідуючого лабораторією або викладача.
3. У випадку виявлення неполадок обладнання студент повинен

негайно повідомити викладача або завідуючого лабораторією.

4. У випадку виникнення пожежі або поразки електричним струмом студенти повинні діяти у відповідності із затвердженими інструкціями з охорони праці та пожежної безпеки.

5. При виконанні роботи не допускати можливості нанесення травм при випадковому падінню зразків чи нанесення подряпин їх гострими кромками.

## 6 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

Практична частина лабораторної роботи складається з двох частин: теоретичного розрахунку критичного значення навантаження і його експериментального визначення, які треба виконувати в наступній послідовності.

6.1 Визначити теоретичне значення критичного навантаження  $P_{кр1}$  і  $P_{кр2}$  стержнів при жорсткому й шарнірному закріпленні їх кінців за формулою 2.1.

$P_{кр1}$  – критична сила для одного не зв'язаного куточка (рис. 4.1, а).

$P_{кр2}$  – критична сила для зв'язаних куточків (рис. 4.1, б).

Для випадку рис. 4.1, а

$$J_{min} = i_x^2 \cdot F,$$

де  $i_x = 0,3h$ ;

$F$  – площа перерізу куточка;

$h$  – висота полки куточка.

Для випадку рис. 4.1, б

$$J_{min} = i_x^2 \cdot F + \frac{ah^3}{12},$$

де  $a = 0,5$  см – товщина вставки.

Отримані результати занести до табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Результати перевірки на стійкість стояків розрахунковим методом

Критичне значення навантаження, кГс	Розмір куточка, мм						
	Жорстке закріплення				Шарнірне закріплення		
	15×15 ×1,2	20×20 ×1,2	25×25× 1,2	30×30 ×1,2	15×15 ×1,2	20×20 ×1,2	30×30 ×1,2
$P_{кр1}$							
$P_{кр2}$							

6.2 Визначити відношення  $P_{кр2}/P_{кр1}$  для всіх розмірів стержнів та схем закріплення кінців.

6.3 Експериментальне визначення поперечних переміщень.

6.3.1 Виконати плавне навантаження не зв'язаних між собою куточків при жорсткому закріпленні їх кінців, записуючи показання манометра пресу 5 та індикаторів поперечних переміщень 6, 7 у табл. 6.2.

6.3.2 Виконати вказане у п. 6.3.1 для випадку шарнірного закріплення кінців.

6.3.3 Виконати вказане у п.п. 6.3.1 та 6.3.2 для зв'язаних куточків.

Результати занести до табл. 6.2.

Таблиця 6.2 – Результати перевірки на стійкість стояків експериментальним методом

Розмір куточка, мм	Навантаження	Поперечне переміщення $\Delta l$ , мм при навантаженні, кГс					
		0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05
15×15×1,2	$P_1$						
	$P_2$						
20×20×1,2	$P_1$						
	$P_2$						
25×25×1,2							
30×30×1,2							

Примітка: чисельник – для жорсткого закріплення кінців, знаменник – для шарнірного.

6.4 Враховуючи величину поперечного переміщення  $\Delta l_{max}$  для жорсткого і шарнірного закріплення кінців одинарного і зв'язаних куточків, визначити навантаження  $P_1$  і  $P_2$ , за формулою:

$$P_{(1,2)} = \frac{\Delta l \cdot E \cdot F}{\mu \cdot l_{(1,2)}}. \quad (6.1)$$

6.5 За результатами вимірювань п.6.3.1-6.3.3 (табл. 6.2) побудувати залежність  $P_{(1,2)} = f(\Delta l)$

## 7 ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Мета роботи.
2. Розрахунки критичних зусиль.
3. Результати дослідів та розрахунки.
4. Аналіз отриманих результатів.
5. Висновки по роботі.

## 8 РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Николаев Г.А. Сварные конструкции. Расчеты и проектирование. / Г.А. Николаев, В.А. Винокуров. – М.: Высшая школа, 1990. – 446 с.
2. Серенко А.Н. Расчет сварных соединений и конструкций / А.Н. Серенко, М.Н. Крумбольт, К.В. Багрянский. – К.: Вища школа, 1977. – 336 с.
3. Чертов І.М. Зварні конструкції: Підручник / І.М. Чертов. – К.: Арістей, 2006. – 376 с.
4. Металлические конструкции. Учебник для студентов высших учебных заведений / Ю.И. Кудишин, Е.И. Беленя, В.С. Игнатьева и др.; под редакцией Ю.И. Кудишина. 10-е издание. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 688 с.
5. Клименко Ф.Є. Металеві конструкції / Ф.Є. Клименко, В.М.

Барабаш, Л.І. Стороженко / За ред.. Ф.Є. Клименка: Підручник. – 2-ге видання, випр. і доп. – Львів: Світ, 2002. – 312 с.