

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**Запорізький національний технічний університет**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до лабораторної роботи № 4 "Дослідження розподілення  
напружень в елементах зварної ферми"

з дисципліни

**"Розрахунок зварних конструкцій"**

для студентів напряму підготовки 6.050504 "Зварювання"

усіх форм навчання

**2015**

Методичні вказівки до лабораторної роботи №4 "Дослідження розподілення напружень в елементах зварної ферми" з дисципліни "Розрахунок зварних конструкцій" для студентів напрямку 6.050504 "Зварювання" усіх форм навчання / Укл. М.Ю. Осіпов. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2015. – 17 с.

Укладач:

Осіпов М.Ю., доцент, канд. техн. наук.

Рецензент:

Капустян О.Є., ст. викладач

Відповідальний за випуск:

Осіпов М.Ю., доцент, канд. техн. наук.

Розглянуто

на засіданні НМК кафедри ОТЗВ

Затверджено

на засіданні кафедри ОТЗВ

Протокол №2

від 29.10.2015 р.

## 1 МЕТА РОБОТИ

Дослідження розподілення напружень в елементах зварної ферми **розрахунковим** та **експериментальним** шляхом.

## 2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Зварною фермою зветься жорстка геометрично незмінна система стержнів, пов'язаних між собою по кінцях зварними швами. Система незмінна, якщо під дією зовнішніх сил, прикладених до неї, переміщення її точок відбуваються лише в межах пружних деформацій. Точки з'єднань стержнів називаються вузлами ферми, вертикальні стержні ферми – стійки, похилі стержні – розкоси. Сукупність стержнів верхньої частини ферми називають верхнім поясом, стержні нижньої частини – нижнім поясом.

Особливістю роботи ферми, яка правильно спроектована і правильно експлуатується, на відміну від балок, є те, що всі її елементи відчують тільки поздовжні розтягуючі або стискаючі зусилля. У порівнянні з балками, ферми більш економічні елементи зварних конструкцій.

Для того щоб елементи ферми не відчували згинальні моменти і перерізуючи сили необхідно дотримуватися таких умов:

- а) осьові лінії елементів ферми у вузлах повинні перетинатися в одній точці;
- б) елементи ферми повинні бути прямолінійними;
- в) сили, що діють на ферми, вважаються прикладеними тільки у вузлах ферми.

При виконанні цих умов єдиним розрахунковим зусиллям в кожному стержні є поздовжня сила, яка визначається розрахунковими або експериментальними методами. Основними розрахунковими методами визначення зусиль в стержнях ферм є:

- а) метод вирізання вузлів;
- б) метод наскрізних перетинів (або моментних точок), званий також методом Ріттера;
- в) графічний спосіб визначення зусиль в стержнях ферм за допомогою побудови діаграми Максвелла-Кремони.

При сучасних обчислювальних засобах рішення систем рівнянь з багатьма невідомими графічний метод останнім часом застосовується досить рідко.

Правильність прийнятої у розрахунку силової схеми конструкції та точність теоретичних розрахунків може бути перевірена та підтверджена експериментально.

Для експериментального дослідження напружено-деформованого стану деталей та вузлів зварних конструкцій при експлуатації широко застосовується електротензометрування. Електротензометричний метод базується на використанні тензометричних резисторів.

Конструктивно тензорезистор складається з паперовою або плівковою підкладки, на якій за допомогою клею укріпленний чутливий елемент – спеціальний константановий тензометричний дріт діаметром 0,012...0,5 мм. Коефіцієнт тензометричної чутливості константанового дроту практично не змінюється аж до руйнування. Чутливий елемент виконується у вигляді петлеподібної решітки різної конфігурації. З чутливим елементом електрично з'єднані вивідні провідники. Тензометричні резистори наклеюють на об'єкт дослідження, котрі після прикладення навантаження деформуються разом з ним.

В основу роботи тензорезистора покладена залежність активного (омічного) опору провідника  $R$  (Ом) від його довжини  $l$  (м), перерізу провідника  $F$  (м<sup>2</sup>) і питомого опору  $\rho$  (Ом·м):

$$R = \rho \cdot \frac{l}{F}$$

При дії на елементи ферми розтягуючих або стискаючих деформацій будуть змінюватися геометричні розміри (в першу чергу довжина  $l$ ) провідника тензорезистора і, як результат, його опір.

При визначенні одноосних напружень в елементах конструкції тензорезистори орієнтують у напрямку діючої сили, що при роботі матеріалу в пружній стадії відповідно до закону Гука дає можливість визначити зв'язок між деформаціями і напруженнями по формулі:

$$\sigma = \varepsilon E = \frac{\Delta l}{l} E,$$

де  $\sigma$  – напруження в перерізі, МПа (або кгс/см<sup>2</sup>);

$\varepsilon$  – відносна деформація, виміряна тензорезистором;

$E$  – модуль пружності (модуль Юнга) досліджуваного матеріалу, МПа (для сталі  $E = 0,21 \cdot 10^6$  МПа (або  $2,1 \cdot 10^6$  кгс/см<sup>2</sup>);

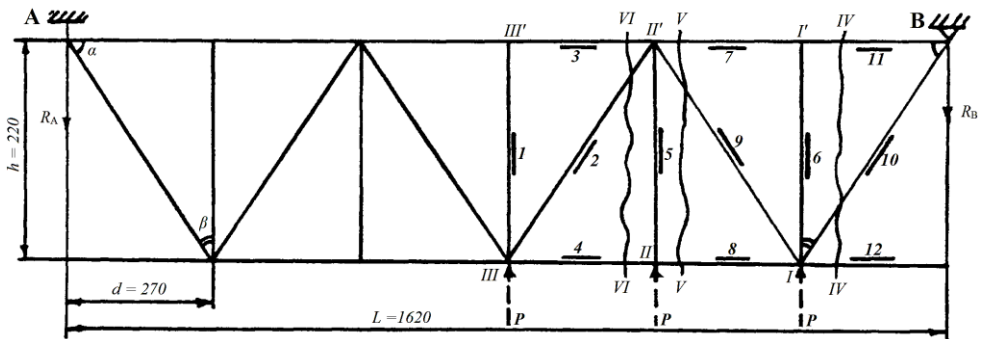
$\Delta l$  – подовження або укорочення довжини  $l$  тензорезистора при навантаженні, м (або см).

### 3 ПРИЛАДИ І ОБЛАДНАННЯ

- 3.1 Модель зварної ферми з наклеєними тензорезисторами.
- 3.2 Стенд для випробування.
- 3.3 Комплект цифрової тензометричної апаратури ЦТК-1.

### 4 МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ РОБОТИ

В якості об'єкта дослідження прийнята модель зварної ферми з паралельними поясами, схема якої показана на рис. 4.1.



$I, I' \dots III, III'$  – вузли ферми,  $1 \dots 12$  – номери стержнів і тензорезисторів,  
 $IV \dots VI$  – перерізи для визначення зусиль в стержнях ферми методом моментних точок,  
 усі розміри – в мм,  $\alpha = 30^\circ$ ,  $\beta = 60^\circ$

**Рисунок 4.1 – Схема прикладення навантаження ферми і місця наклейки тензорезисторів на її елементи**

При визначенні робочих зусиль і напружень у стержнях ферма навантажується зусиллям  $P$  по чергово у вузлах  $I, II, III$ , що дозволяє імітувати дію рухомого навантаження.

Поздовжні зусилля и напруження у стержнях ферм від навантаження, прикладеного у вузлах, можуть бути визначені розрахунковим та експериментальним шляхом.

#### 4.1 Визначення зусиль та напружень в елементах ферми розрахунковим методом

Визначення зусиль у стержнях аналітичним способом виконується за допомогою рівнянь статки, являючи собою рівняння проєкцій на вісі або рівняння моментів відносно точки.

**Метод вирізання вузлів** полягає у послідовному відрізання від ферми її вузлів, які, у даному випадку, мають стояки (рис. 4.2) та аналізу рівноваги кожного з них під дією зовнішньої сили (якщо вона прикладена до цього вузла) та внутрішніх зусиль у розрізаних стержнях, заміняючи дію на вузол відкинutoї частини ферми.

Починають складати рівняння рівноваги для вузлів, в яких з'єднується не більше двох стержнів з невідомими зусиллями. Для кожного вузла складаються два рівняння рівноваги проєкцій сил на осі координат:

$$\sum X = 0, \quad \sum Y = 0.$$

З рівнянь визначають зусилля в необхідних стержнях.

Зображуючи сили, що діють з боку стержнів на аналізований вузол (рис. 4.2), вектори зусиль направляють від вузла, вважаючи стержні ферми розтягнутими. Величини всіх невірно спрямованих на розрахунковій схемі сил виходять зі знаком "мінус" – стержень стиснутий.

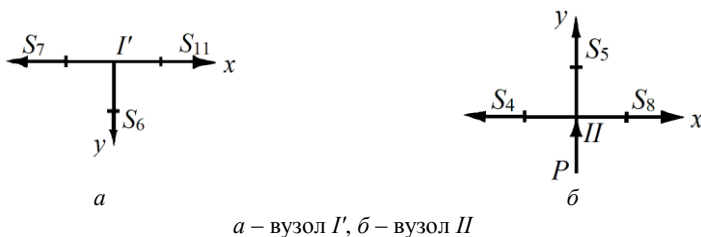


Рисунок 4.2 – Приклади урівноваження вирізаних вузлів ферми (рис. 4.1) при визначенні зусиль у стояках

Усі зусилля у стержнях позначаємо буквою  $S$  з індексом стержня, наприклад  $S_1, S_2$  та ін.

Для виявлення у фермі, яка розраховується, непрацюючих стержнів слід використовувати такі правила:

1. Якщо у вузлі сходяться два стержні, і навантаження у вузлі немає, – обидва стержня не працюють, тобто зусилля в обох стержнях дорівнюють нулю.

2. Якщо у вузлі сходяться два стержні і зовнішнє навантаження спрямовано вздовж одного з них, – другий стержень не працює, тобто зусилля в ньому дорівнює нулю.

3. Якщо у вузлі сходяться три стержні за умови, що два є продовженням один другого і у вузлі відсутнє зовнішнє навантаження, то зусилля в третьому стержні дорівнює нулю (а в перших двох стержнях рівні між собою).

Після визначення всіх можливих зусиль в стержнях методом вирізання вузлів переходимо до визначення решти невідомих зусиль в стержнях методом наскрізних перетинів.

Суть **методу наскрізних перетинів** полягає в наступному.

а) провести переріз крізь три стержня ферми, вісі яких не перетинаються в одній точці;

б) умовно відкинути частину ферми; її дію на залишкову частину замінити внутрішніми зусиллями у перерізаних стержнях;

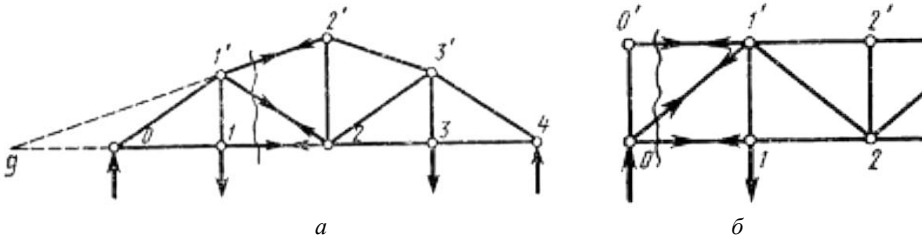
в) скласти рівняння моментів усіх сил, прикладених до розглянутої частини ферми відносно моментової точки; із нього знайти зусилля, що визначається.

Статичні рівняння рівноваги в загальному випадку:

$$\sum M_{1'} = 0; \sum M_2 = 0; \sum M_g = 0,$$

де  $1', 2$  і  $g$  – моментові точки (рис. 4.3, а).

Точки називаються моментними (або точками Ріттера), якщо вони визначаються перетином двох з перерізаних трьох стержнів ферми.



*a* – ферма з непаралельними поясами, *б* – ферма з паралельними поясами (фрагмент)

**Рисунок 4.3 - Приклади визначення моментних точок при розрахунку ферм**

Моментна точка  $1'$  лежить на перетині стержнів  $1'-2'$  і  $1'-2$ ; точка  $2$  – на перетині  $1'-2$  і  $1-2$ ; точка  $g$  – на перетині  $1-2$  і  $1'-2'$  (рис. 4.3, *a*).

Кожне рівняння містить одне невідоме, оскільки інші невідомі зусилля утворюють відносно моментної точки моменти, рівні нулю.

При розрахунку ферми з паралельними поясами (рис. 4.3, *б*) моментна точка  $g$  переміщається в нескінченність, а статичне рівняння рівноваги щодо цієї моментної точки замінюється на рівняння рівноваги проєкцій сил на вісь  $y$  і статичні рівняння для ферми з паралельними поясами записуються наступним чином:

$$\sum M_0 = 0; \sum M_{1'} = 0; \sum Y = 0.$$

Моментні точки –  $0$  і  $1'$ .

Щоб задача була статично визначною, в перетин ферми не повинно потрапляти більше трьох стержнів з невідомими зусиллями.

#### 4.1.1 Визначення опорних реакцій

При будь-якому розрахунковому методі розрахунок ферми завжди починається з визначення невідомих сил реакцій в опорних вузлах. Для вирішення цього завдання складаються три рівняння рівноваги для системи всіх зовнішніх сил, що діють на розглянуту ферму:

$$\sum X_i = 0; \sum Y_i = 0; \sum M_A = 0.$$



Для ферми, що розглядається (див. рис. 4.1), при прикладанні навантаження до вузла  $I$  опорні реакції можуть бути визначені з таких рівнянь рівноваги:

$$\begin{aligned} \sum M_A = 0; & \quad P \cdot 5d - R_B = 0; & \quad R_B = \frac{5}{6}P. \\ \sum Y_i = 0; & \quad -R_A + P - R_B = 0; & \quad R_A = \frac{1}{6}P. \end{aligned}$$

Обов'язкова перевірка правильності визначення опорних реакцій, тому що допущена помилка робить марними всі інші розрахунки. Потім приступаємо до визначення зусиль у стержнях ферми методами "вирізання вузлів" і "наскрізних перетинів".

#### 4.1.2 Визначення зусиль у стержнях ферми

Зусилля у стержнях поясів ферми (див. рис. 4.1) визначаємо способом моментних точок. Для цього проводимо послідовно перерізи  $IV-IV$ ,  $V-V$ ,  $VI-VI$ . При цьому для визначення зусиль у стержнях верхнього поясу  $S_{11}$ ,  $S_7$  та  $S_3$  складаємо рівняння моментів відносно моментних точок відповідно  $I$ ,  $II$  та  $III$  (див. рис. 4.1), а зусилля у розкосах  $S_{10}$ ,  $S_9$  та  $S_2$  визначаємо з рівняння рівноваги

$$\sum Y = 0.$$

Для визначення зусиль у стержнях нижнього поясу  $S_{12}$ ,  $S_8$  та  $S_4$  складаємо рівняння моментів відносно точок відповідно  $I'$ ,  $II'$  та  $III'$  (див. рис. 4.1).

Таким чином, при навантаженні  $P$  у вузлі  $I$  рівняння мають вигляд:

$$\begin{aligned} \sum M_I = 0; & \quad S_{11} \cdot h - R_B \cdot d = 0; & \quad S_{11} = \frac{5P \cdot d}{6h}; \\ \sum y = 0; & \quad S_9 \cdot \cos \beta + P - R_B = 0; & \quad S_9 = -\frac{1}{6 \cos \beta} P; \\ \sum M_{II} = 0; & \quad S_7 \cdot h + P \cdot d - R_B \cdot 2d + S_9 \cdot \cos \beta \cdot d = 0; & \quad S_7 = \frac{5P \cdot d}{6h}; \\ \sum M_{III} = 0; & \quad S_3 \cdot h + P \cdot 2d - R_B \cdot 3d = 0; & \quad S_3 = \frac{1P \cdot d}{2h}; \\ \sum y = 0; & \quad -S_{10} \cdot \cos \beta - R_B = 0; & \quad S_{10} = -\frac{5}{6 \cos \beta} P; \\ \sum M_{I'} = 0; & \quad -S_{12} \cdot h - R_B \cdot d - S_{10} \cdot \cos \beta \cdot d = 0; & \quad S_{12} = 0; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum M_{III'} = 0; \quad -S_8 \cdot h + P \cdot d - R_B \cdot 2d = 0; & \quad S_8 = -\frac{2P \cdot d}{3h}; \\ \sum y = 0; \quad -S_2 \cdot \cos \beta + P - R_B = 0; & \quad S_2 = \frac{1}{6} \frac{P}{\cos \beta}; \\ \sum M_{III''} = 0; \quad -S_4 \cdot h + P \cdot 2d - R_B \cdot 3d - S_2 \cdot \cos \beta \cdot d = 0; & \quad S_8 = -\frac{2P \cdot d}{3h}. \end{aligned}$$

Для визначення зусилля у стояку  $S_6$  скористаємося методом вирізання вузлів і розглянемо умову рівноваги вузла  $\Gamma'$  (див. рис. 4.2, а). Даний вузол знаходиться у рівновазі під дією зусиль у стержнях  $S_{11}$ ,  $S_7$  та  $S_6$ .

З рівняння  $\sum y = 0$  та згідно правила 3 (с. 7) отримуємо, що зусилля  $S_6 = 0$ .

Згідно тому ж правилу зусилля у стояках  $S_1$  та  $S_5$  також дорівнюють нулю ( $S_1 = 0$ ,  $S_5 = 0$ ).

Аналогічно визначаємо зусилля у стержнях ферми від навантаження прикладеного у вузлах  $II$  та  $III$  (див. рис. 4.1).

Зусилля у стержнях лівої половини ферми слід прийняти рівним зусиллям у відповідних симетричних стержнях правої половини при, відповідно, навантаженні вузлів, розміщених у лівій частині ферми.

По знайденим зусиллям у стержнях ферми визначаємо робочі напруження:

$$\sigma = \frac{S_n}{F}, \quad (4.1)$$

де  $S_n$  – зусилля у стержні, Н (або кгс);

$F$  – площа перерізу стержня ферми, м<sup>2</sup> (або см<sup>2</sup>).

## 4.2 Визначення напружень в елементах ферми експериментальним методом

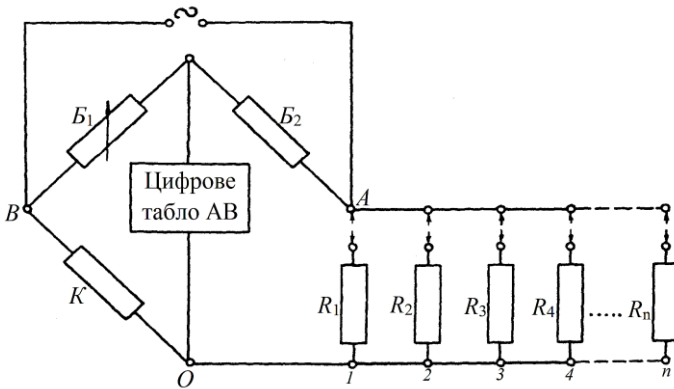
Навантаження ферми виконується на спеціальному стенді, який представляє собою жорстку просторову конструкцію. Стенд складається з чотирьох попарно з'єднаних стояків, які приварені до основи, на котру встановлюється гвинтовий прес.

У якості верхніх зв'язків стояків служать трикутні призми (А та В, див. рис. 4.1), котрі виконують роль опор балки за час її випробування. Навантаження ферми у вузлах  $I$ ,  $II$  і  $III$  відбувається за допомогою пересувного гвинтового преса. Величина прогину ферми фіксується індикатором годинникового типу, змонтованим на штанзі.

Дослідження розподілення деформацій та робочих напружень в стержнях ферми відтворюється за допомогою тензорезисторів, наклеєних так, як показано на рис. 4.1 (1,2, 3...12).

При вимірюванні деформацій дрововими тензорезисторами важливо уникнути помилки вимірювання за рахунок зміння температури деталі. Зміння температури елемента викликає зміння, по-перше, питомого опору матеріалу тензорезистора; по-друге, зміння довжини дроту тензорезистора; по-третє, зміння лінійних розмірів об'єкту іспиту. Вплив цих явищ необхідно виключити.

Одним із розповсюджених методів компенсації впливу зміння температури є застосування двох однакових тензорезисторів, з котрих один наклеєн на модель ферми ( $R_1, R_2, \dots R_n$ ), а другий ( $K$ ) – на ненавантажену пластину з того ж матеріалу, що знаходиться у тих же температурних умовах, що і модель. Ці тензорезистори вмикаються в сусідні плечі мостової схеми (рис. 4.4) та цим автоматично компенсуються температурні явища.



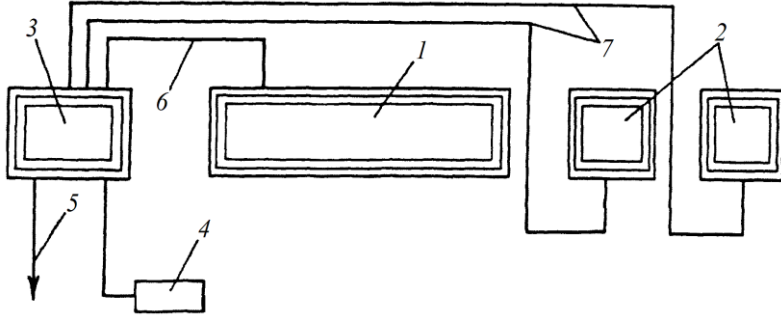
$B_1, B_2$  – баластні тензорезистори;  $R_1, R_2, \dots R_n$  – робочі тензорезистори;  
 $K$  – компенсаційний тензорезистор

**Рисунок 4.4 – Схема вимірювання напруг в елементах ферми**

Для виміру деформацій в стержнях ферми дослідним шляхом застосовується комплект цифрової тензометричної апаратури ЦТК-1, який забезпечує автоматичне зчитування показань та їх вивід на

цифрове табло, автоматичне або ручне переключення видачі показань у десятинній формі у зовнішній ланцюг.

Блок-схема приладу ЦТК-1 приведена на рис. 4.5.



1 – автоматичний електронний вимірювач деформацій АВ, 2 – 100-позиційний прецизійний перемикач АП, 3 – блок керування та живлення, 4 – кнопковий пульт, 5, 6, 7 – з’єднувальні кабелі

**Рисунок 4.5 – Блок-схема приладу ЦТК-1**

У вимірювальному приборі ЦТК-1 компенсаційний ( $K$ ) та робочі тензорезистори складають зовнішній напівміст, а баластні ( $B_1$  і  $B_2$ ) – внутрішній напівміст (див. рис. 4.4). Послідовне перемикання робочих тензорезисторів ( $R_1, R_2, \dots R_n$ ) здійснюється при натисканні кнопки перемикача (АП) електронного вимірювача деформацій АВ.

При підготовці комплекту апаратури ЦТК-1 до роботи, ціна поділки приладу АВ приведена у відповідності з тензометричною чуттєвістю ( $K = 2$ ) застосованих тензорезисторів і складає у відносних одиницях деформації (в. о. д.):

$$\text{в. о. д.} = 1 \cdot 10^{-5} \frac{\Delta l}{l}.$$

Таким чином, абсолютним значенням відносної деформації стержнів ферми є різниця абсолютних значень показань приладу початкового  $N_1 \cdot 10^{-5}$ , при ненавантаженій фермі, та повторного  $N_2 \cdot 10^{-5}$ , при навантаженій фермі, тобто

$$\varepsilon = N_2 \cdot 10^{-5} - N_1 \cdot 10^{-5}. \quad (4.2)$$

Напруження визначається по формулі:

$$\sigma = \varepsilon \cdot E. \quad (4.3)$$

## 5 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Лабораторна робота виконується групою студентів у кількості не більше 4 чоловік.

Перед тим, як приступати до виконання лабораторної роботи студент зобов'язаний вивчити дані методичні вказівки, інструкцію по техніці безпеки, відповісти на контрольні запитання викладача та отримати у нього дозвіл на виконання роботи.

5.1 Ознайомитися з методикою визначення зусиль та напружень у стержнях ферми аналітичними методами.

5.1.1 Виміряти геометричні параметри ферми ( $L, d, h, \alpha, \beta$ , розміри перерізу стержнів).

5.1.2 Використовуючи аналітичний метод розрахувати зусилля та напруження у стержнях ферми при її навантаженні зовнішнім зусиллям  $P = 1$  тс по формулі (4.1) та ці дані занести до табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Результати визначення зусиль і напружень у стержнях ферми розрахунковим методом

Номер стержня	Зусилля у стержні, Н			Напруження у стержні, МПа		
	при навантаженні вузла					
	<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>
1						
2						
...						
...						
12						

5.1.3 Виконати графічне представлення результатів розподілу напружень в стержнях верхнього і нижнього поясів, в стояках, в

розкосах залежно від місця докладання зовнішнього навантаження (вузли *I*, *II*, *III*).

5.2 Визначення деформації та напружень електротензометричним методом.

5.2.1 Вивчити методику вимірювання деформацій за допомогою тензорезисторів.

5.2.2 Ознайомитися зі стендом для іспиту ферми.

5.2.3 Зняти початкові показання електронного вимірювача деформацій (АВ) до навантаження балки за усіх тензорезисторів й отримані дані ( $N_1$ ) занести до табл. 5.2.

5.2.4 Навантажити ферму у вузлі *I* зусиллям  $P = 10^6$  Па (1 тс).

5.2.5 Зняти повторні показання приладу АВ з усіх тензорезисторів при навантаженій ферми та результати  $N_2$  занести до табл. 5.2.

При цьому, у процесі зняття показань  $N_2$  при почерговому підключенні усіх тензорезисторів, величина прогину ферми повинна додержуватися постійною.

5.2.6 Зняти навантаження з ферми у вузлі *I*.

5.2.7 Повторити дії, вказані в п.п. 5.2.3 – 5.2.6 при послідовному навантаженні ферми у вузлах *II* та *III*.

5.2.8 Отримані дані ( $N_1$  та  $N_2$ ) занести до таблиці 5.2.

5.2.9 Розрахувати деформацію  $\varepsilon$  та напруження  $\sigma$  по формулам (4.2) і (4.3) та отримані результати занести до таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Результати визначення деформації та напружень у стержнях ферми експериментальним методом

Номер тензорезистора	При навантаженні вузла											
	<i>I</i>				<i>II</i>				<i>III</i>			
	$N_1,$ $10^5$	$N_2,$ $10^5$	$\varepsilon,$ $10^5$	$\sigma,$ Мпа	$N_1,$ $10^5$	$N_2,$ $10^5$	$\varepsilon,$ $10^5$	$\sigma,$ Мпа	$N_1,$ $10^5$	$N_2,$ $10^5$	$\varepsilon,$ $10^5$	$\sigma,$ Мпа
1												
2												
...												
...												
12												

5.3 Зрівняти експериментальні результати (табл. 5.2) з аналогічними розрахунками (табл. 5.1), підготувати висновки по виконаній роботі, оформити звіт.

## **6 ЗМІСТ ЗВІТУ**

Звіт по даній роботі оформлюється та представляється кожним студентом у письмовому вигляді.

У звіті необхідно відобразити:

- 6.1 Титульний лист з підписом виконавця.
- 6.2 Вступ.
- 6.3 Мету роботи.
- 6.4 Прибори та обладнання.
- 6.5 Схему навантаження.
- 6.6 Розрахунок деформації та напружень.
- 6.7 Схему підключення тензорезисторів.
- 6.8 Результати аналітичного та експериментального дослідження деформацій та напружень у вигляді табл. 5.1 і 5.2.
- 6.9 Графіки розподілення напружень по перерізам стержнів ферми, отриманих розрахунковим та дослідним методами.
- 6.10 Аналіз отриманих результатів.
- 6.11 Висновки.

## **7 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ**

7.1 У чому складається принцип роботи тензорезистора?

7.2 Як визначаються розрахункові зусилля та напруження у стержнях ферм?

7.3 У яких стержнях ферми спостерігається постійність напружень за знаком?

7.4 У яких стержнях ферми напруження змінюються за знаком?

7.5 У яких випадках при навантаженні ферми стояки працюють як елементи, які підвищують її міцність, а у яких випадках – підвищують її жорсткість?

7.6 Які вимоги ставляться до вузлів ферми?

## **8 ВКАЗІВКИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ**

8.1 До лабораторних робіт допускаються студенти після інструктажу з охорони праці та пожежної безпеки.

8.2 Забороняється вмикати електричні прилади та обладнання без дозволу завідуючого лабораторією або викладача.

8.3 У випадку виявлення неполадок обладнання студент повинен негайно повідомити викладача або завідуючого лабораторією.

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



## РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Николаев Г.А. Сварные конструкции. Расчет и проектирование: Учеб. для вузов / Г.А. Николаев, В.А. Винокуров. – М.: Высш. шк., 1990. – 446 с.
2. Серенко А.Н. Расчет сварных соединений и конструкций. Примеры и задачи: Учебное пособие / А.Н. Серенко, М.Н. Крумбольдт, К.В. Багрянский. – К.: Высшая школа, 1977. – 336 с.
3. Логинов В.И. Электрические измерения механических величин / В.И. Логинов. – М.: Энергия, 1976. – 103 с.