

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ**  
**до виконання лабораторної роботи з курсу**  
**«Металеві конструкції»**

**«ВИЗНАЧЕННЯ СТІЛИ ПРОГІНУ ПРИ ЗГІНІ СТАЛЕВОЇ БАЛКИ**  
**ДВОТАВРОВОГО ПЕРЕРІЗУ, ЩО ВЛІЙНО ЛЕЖИТЬ»**

*(для студентів 2–5 курсів денної та заочної форм навчання  
галузі знань 19 – Архітектура та будівництво спеціальності  
192 – Будівництво та цивільна інженерія; професійне спрямування  
«Промислове та цивільне будівництво», «Міське будівництво і господарство»,  
«Теплогазопостачання та вентиляція»,  
«Водопостачання та водовідведення»)*

**Харків**  
**ХНУМГ ім. О. М. Бекетова**  
**2021**

Методичні рекомендації до виконання лабораторної роботи «Визначення стріли прогину при згині сталеві балки двотаврового перерізу, що вільно лежить» з навчальної дисципліни «Металеві конструкції» для студентів 2–5 курсів денної та заочної форм навчання галузі знань 19 – Архітектура та будівництво спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія; професійне спрямування «Промислове та цивільне будівництво», «Міське будівництво і господарство», «Теплогазопостачання та вентиляція», «Водопостачання та водовідведення») / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. В. Я. Жиляков. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. – 16 с.

Укладач канд. техн. наук, доц В. Я. Жиляков

Рецензент

**С. М. Золотов**, кандидат технічних наук, доцент кафедри будівельних конструкцій Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

*Рекомендовано кафедрою будівельних конструкцій, протокол № 9  
від 27 січня 2021 р.*

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

### ВИЗНАЧЕННЯ СТІЛИ ПРОГІНУ ПРИ ЗГІНІ СТАЛЕВОЇ БАЛКИ ДВОТАВРОВОГО ПЕРЕРІЗУ, ЩО ВІЛЬНО ЛЕЖИТЬ НА ДВОХ ОПОРАХ

#### Вступ

Випробування на вигин, як і випробування на стиснення, також є більш м'яким видом механічних випробувань порівняно з випробуванням на розтягання, тому на вигин можна випробовувати матеріали з малим запасом пластичності, які складно визначити під час розтягнення. Деталі й конструкції, що працюють на вигин, досить часто зустрічаються на промислових об'єктах, тому необхідно оцінювати здатність матеріалу чинити опір вигину залежно від умов навантаження.

**Мета роботи** – закріпити знання, отримані студентами в процесі вивчення розділу «Металеві конструкції» теоретичного курсу дисципліни. Вивчити методику визначення несучої здатності і деформативності згинальних сталевих балок. Проведені випробування повинні сприяти більш глибокому розумінню студентами дійсної роботи сталевих балок при різних видах навантаження, а також дати студентам навички в проведенні експериментальних досліджень.

#### **Завдання роботи:**

- показати характер деформування сталеві прокатної балки;
- проаналізувати характер розвитку прогинів балки з ростом навантаження;
- експериментально визначити стріли прогину балки при двох схемах навантаження. Провести порівняння фактичних значень прогинів балки від двох видів завантаження з теоретичними результатами.

Дослідження проведено на випробувальній машині

---

Вимірювальні прилади: 1) для стріли прогину – індикатор годинникового типу (рис. 8) \_\_\_\_\_; штангенциркуль (рис.1) – для визначення розміру перетину; лінійка (рис. 2) – для визначення прольоту балки.



Рисунок 1 – Металева лінійка

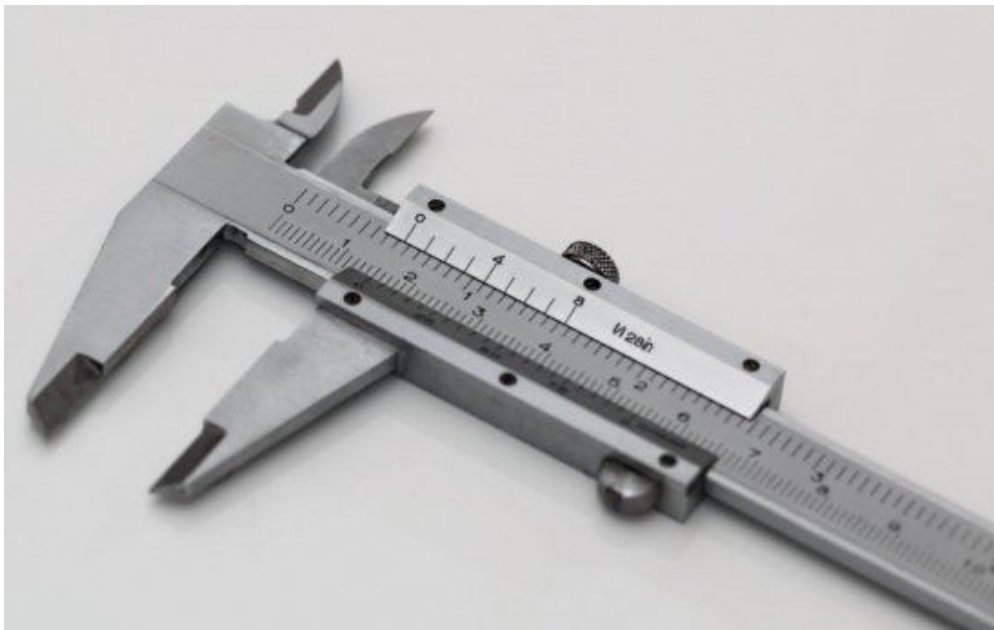


Рисунок 2 – Штангенциркуль

До занять допускаються студенти, які пройшли інструктаж з техніки безпеки, які оформили звіт по попереднього заняття і які ознайомились з змістом майбутніх робіт (за рекомендованою літературою).

У початку заняття викладач перевіряє готовність групи до виконання чергових робіт.

Студенти, які отримали під час перевірки готовності до виконання лабораторних робіт незадовільну оцінку, до занять не допускаються.

### Теорія

Безліч елементів конструкції пручається вигину, а пластичний вигин є поширеною технологічною операцією при їх виготовленні. При вигині стержнів відбувається одночасно розтягування і стиснення матеріалу (рис. 3-7), тому в порівнянні зі стандартними випробуваннями на розтягування і стиснення випробування на вигин не дає істотно нової інформації, і характеризують їх опір тільки вигину.

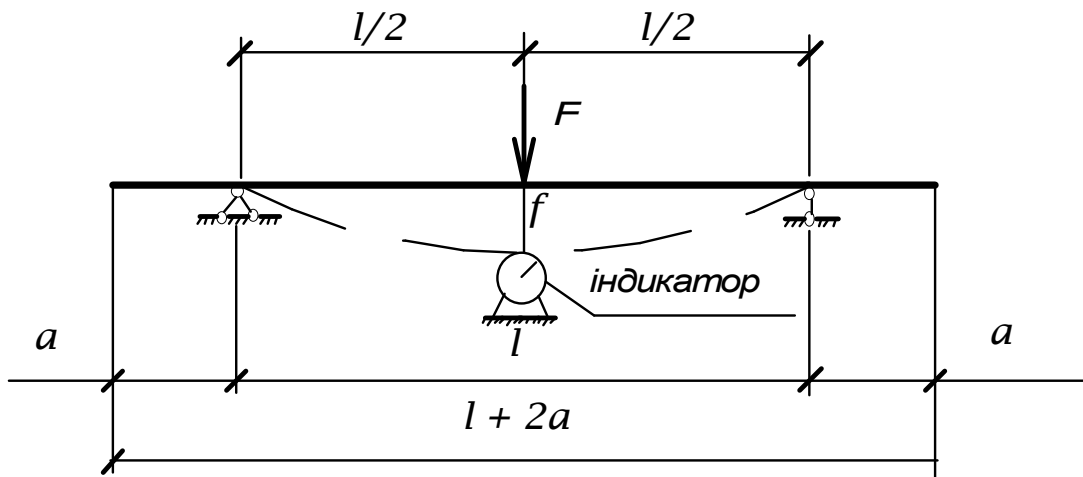


Рисунок 3 – Схема випробування – 1 сила

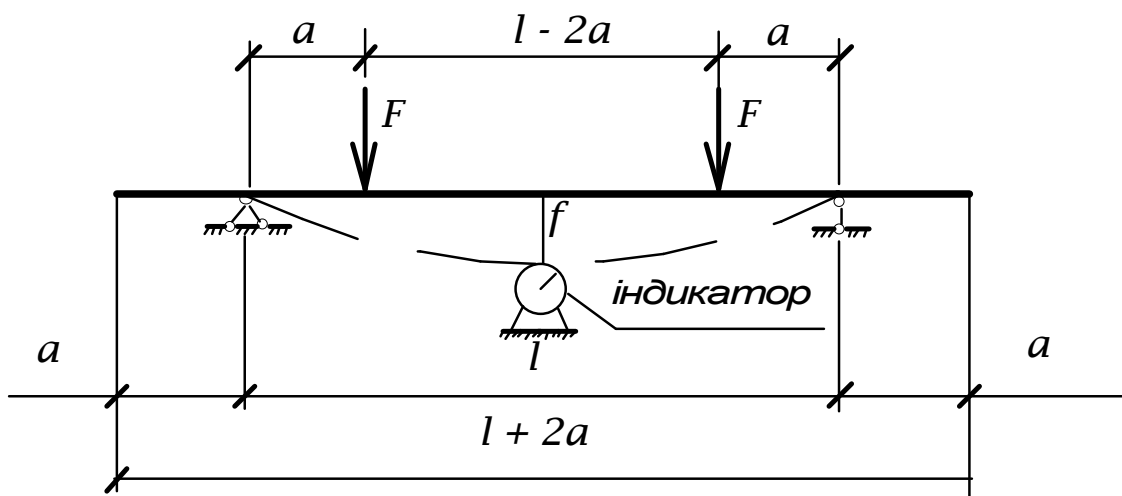


Рисунок 4 – Схема випробування – 2 сили (чистий згин)

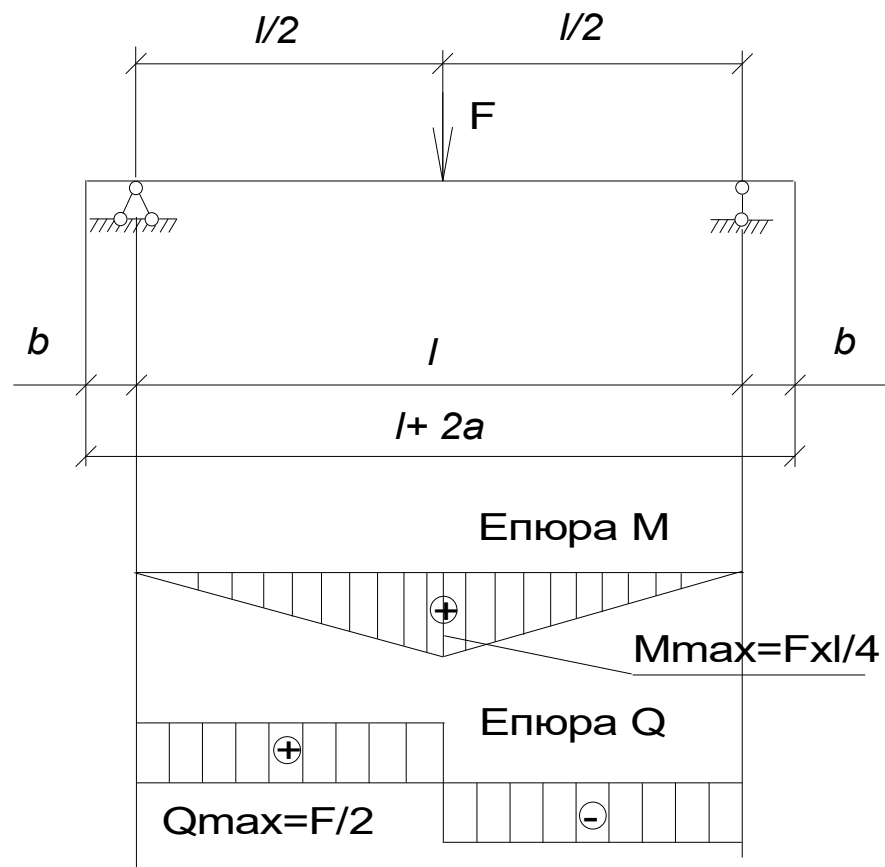


Рисунок 5 – Епюри внутрішніх зусиль (схема 1)

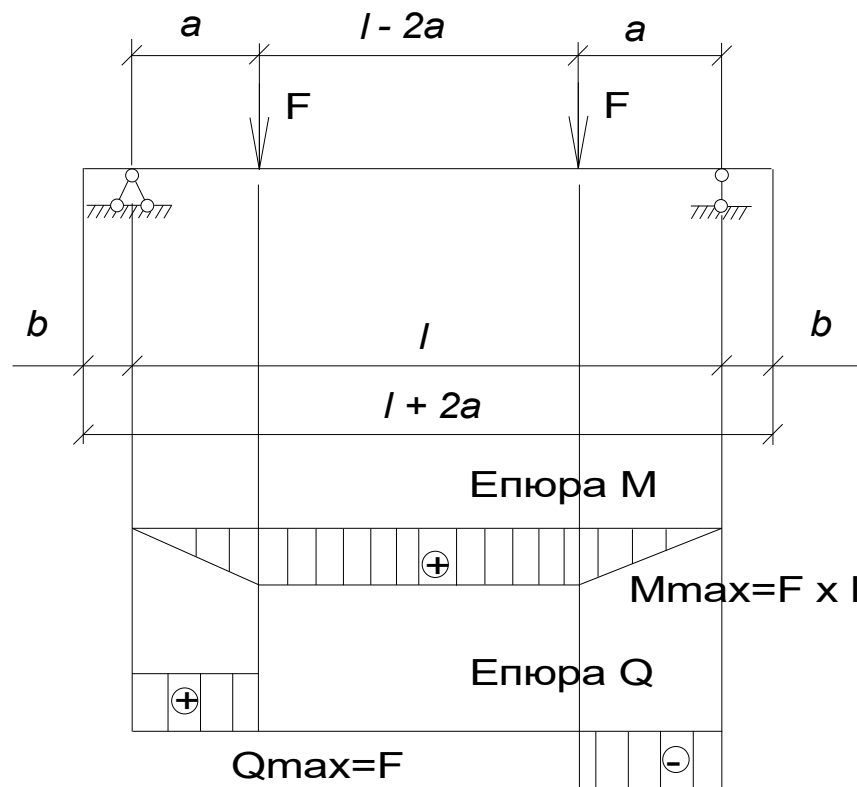


Рисунок 6 – Епюри внутрішніх зусиль при чистому згині (схема 2)

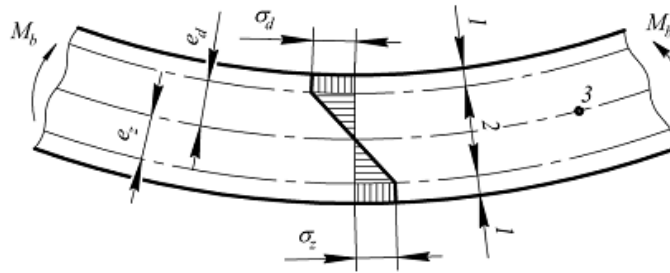


Рисунок 7 – Розподіл напружень в симетричному перерізі при згині зразка:

1 – пластична деформація; 2 – пружна деформація; 3 – нейтральна вісь

### **Випробування балки за схемою 1**

Вибраний профіль балки двотавр № \_\_\_\_\_

Момент опору перерізу  $W_x =$  \_\_\_\_\_

Момент інерції перерізу  $I_x =$  \_\_\_\_\_

Модуль пружності  $E = 2,06 \times 10^6 \text{ кгс/см}^2 \text{ } 2,06 \times 10^4 \text{ кН/см}^2$ ;

Границя пропорційності  $\sigma_{\text{пц}} = 2\,000 \text{ кгс/см}^2$ ;

Навантаження, що відповідає границі пропорційності ( $F_{\text{пц}} \cdot l / 4 = \sigma_{\text{пц}} \cdot W_x$ ),

$$F_{\text{пц}} = \frac{\sigma_{\text{пц}} W_x}{a} = \text{_____} = \text{кН}$$

Вибране навантаження  $F < F_{\text{пц}}$ . Приймаємо  $F = 0,8 F_{\text{пц}} =$  \_\_\_\_\_

Визначення максимального прогину балки за результатами розрахунку:

Розрахунковий прогин балки  $f^T$

$$f_{\text{max}}^T = \frac{Fl^3}{48EI_x} \text{ см.}$$

Відносний прогин

$$\frac{f_{\text{max}}^T}{l} = \text{_____} =$$

Визначення максимального прогину балки за результатами експерименту:

$$f_{\text{max}}^{\exists} = \text{_____} \text{ см.}$$

Відносний прогин

$$\frac{f}{l} = \text{_____} =$$

Розбіжність (у відсотках)

$$\delta = \frac{f_{\max}^T - f_{\max}^{\text{э}}}{f_{\max}^T} 100\% =$$

### **Випробування балки за схемою 2**

Вибраний профіль балки двотавр № \_\_\_\_\_

Момент опору перерізу  $W_x =$  \_\_\_\_\_

Момент інерції перерізу  $I_x =$  \_\_\_\_\_

Модуль пружності  $E = 2,06 \times 10^6$  кгс/см<sup>2</sup>  $2,06 \cdot 10^4$  кН/см<sup>2</sup>;

Границя пропорційності  $\sigma_{\text{пц}} = 2000$  кгс/см<sup>2</sup>;

Навантаження, що відповідає границі пропорційності ( $F_{\text{пц}} \cdot a = \sigma_{\text{пц}} \cdot W_x$ ),

$$F_{\text{пц}} = \frac{\sigma_{\text{пц}} W_x}{a} = \text{_____} = \text{кН}$$

Вибране навантаження  $F < F_{\text{пц}}$ . Приймаємо  $F = 0,8 F_{\text{пц}} =$  \_\_\_\_\_

Визначення максимального прогину балки за результатами розрахунку:

Розрахунковий прогин балки  $f^T$

$$f = \frac{Fa(3l^2 - 4a^2)}{24EI_x} = \text{_____} = \text{см.}$$

Відносний прогин

$$\frac{f}{l} = \text{_____} =$$

Визначення максимального прогину балки за результатами експерименту:

$$f^{\text{э}} = \text{_____} \text{ см}$$

Відносний прогин

$$\frac{f}{l} = \text{_____} =$$

Розбіжність (у відсотках)



$$\delta = \frac{f_{\max}^T - f_{\max}^{\mathcal{E}}}{f_{\max}^T} 100\% =$$

### Журнал спостережень і обробки результатів експерименту

Таблиця 1 – Результати спостережень і обробки результатів експерименту згину однією силою (рис. 5)

| №<br>п/п | Навантаження<br>F |    | Показники<br>індикатора |                                   | Примітка |
|----------|-------------------|----|-------------------------|-----------------------------------|----------|
|          | кг.с              | кН | відлік,<br>мм           | приріст<br>$\Delta f_{\text{мм}}$ |          |
| 1        |                   |    |                         |                                   |          |
| 2        |                   |    |                         |                                   |          |
| 3        |                   |    |                         |                                   |          |
| 4        |                   |    |                         |                                   |          |

Таблиця 2 – Результати спостережень і обробки результатів експерименту згину двома силами (рис. 6)

| №<br>п/п | Навантаження<br>2 F |    | Показники<br>індикатора |                                   | Примітка |
|----------|---------------------|----|-------------------------|-----------------------------------|----------|
|          | кг.с                | кН | відлік,<br>мм           | приріст<br>$\Delta f_{\text{мм}}$ |          |
| 1        |                     |    |                         |                                   |          |
| 2        |                     |    |                         |                                   |          |
| 3        |                     |    |                         |                                   |          |
| 4        |                     |    |                         |                                   |          |

Для вимірювання невеликих за величиною переміщень застосовують індикатори годинникового типу (рис. 8), які встановлюють на нерухомій опорі з

упором рухомого стрижня в випробовується або закріплюють на випробуваній конструкції з упором рухомого стрижня в нерухому точку. Тому індикатори називають ще контактними прогиноміра.

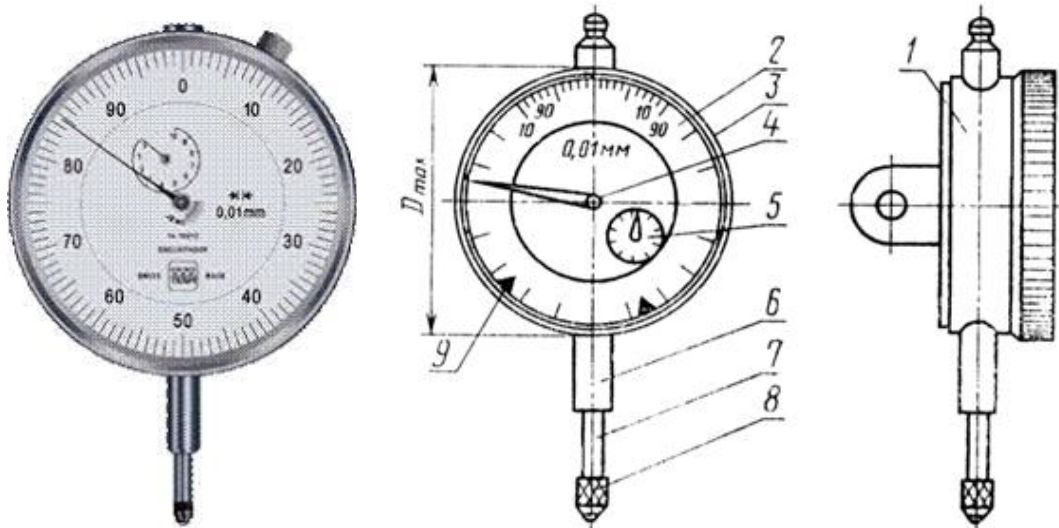


Рисунок 8 – Пристрій індикатора типу ІЧ

На лицьовій стороні корпусу (1) розташований циферблат (2) зі шкалою і ободок (3). У центрі циферблата встановлена стрілка (4) і нижче показчик (5) числа обертів стрілки. З корпусом (1) жорстко пов'язана гільза (6), в якій переміщається вимірювальний стрижень (7) з наконечником (8). У верхній частині корпусу виступає головка вимірювального стрижня.

Гільза (6) і вушко, яке розташоване в задній частині корпусу, служать для кріплення індикатора на стійках, штативах і пристосування. Поворотом обідка (3), на якому закріплений циферблат, стрілку суміщають з будь-яким розподілом шкали (частіше з нульовим). За головку стрижень відводять при установці виробу під вимірювальний

Індикатори характеризуються ціною поділки і межею вимірювання. Для виконання лабораторних робіт застосовують індикатори з ціною поділки 0,01 мм і межею вимірювання 10 мм.

Індикатор годинникового типу складається з циліндричного корпусу, всередині якого розміщується система шестерень. На лицьовій стороні приладу під склом розташовується кільцева шкала і велика стрілка для свідчення відліку.

Для відліку цілих оборотів великої стрілки індикатора передбачається друга мала шкала зі стрілкою. Через корпус проходить вимірювальний шток, на якому нарізана зубчаста рейка, поєднана з зубчастою шестеренною трубкою.

Принцип роботи полягає в наступному. У корпусі розміщений годинниковий механізм, що перетворює вертикальне рух штока приладу в обертальний рух вказівних стрілок. Зміщення штока на 1 мм відповідає один повний оборот великої стрілки або переміщення на одну поділку малої стрілки.

При випробуванні конструкцій індикатори встановлюють за допомогою спеціального штатива і особливого кулачка-держателя, до яких прилад кріпиться за муфту або сережку. Перед початком випробувань слід перевірити роботу встановленого індикатора, для чого потрібно плавно втопити на 2 – 3 мм, а потім відпустити вимірювальний шток.

Якщо після цього стрілка індикатора буде повертатися у вихідне положення, значить, індикатор закріплений правильно. В іншому ж випадку, його потрібно жорстко закріпити в кулачку-тримачі.

### **Запитання для самоперевірки**

1. Які внутрішні силові фактори виникають в поперечних перетинах балки при поперечному вигині?
2. Як закон розподілу нормальних напружень по висоті перерізу балки? За якою формулою обчислюються нормальні напруження при згині?
3. Як розподілені дотичні напруження в перетині балки при поперечному вигині? За якою формулою вони обчислюються?
4. Як експериментально визначити величину нормальних і дотичних напруг?
6. Як обчислити допустиме навантаження на балку?

Висновки: \_\_\_\_\_

---

---

---

---

---

---

---

---

Студент \_\_\_\_\_ (підпис)

Викладач \_\_\_\_\_ (підпис)

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 202 р.

### **СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. ДБН В.2.6-198:2014 «Сталеві конструкції. Норми проектування». Київ : Мінрегіон України, 2014. – 199 с.
2. ГОСТ 27772. Межгосударственный стандарт. Прокат для строительных стальных конструкций. Общие технические условия.
3. ДСТУ 2651:2005. Сталь вуглецева звичайної якості. Марки. (40964).
4. ДСТУ 7305:2013. Металлы. Метод испытаний на растяжение металлов и сплавов при низких и криогенных температурах.
5. Беленя Е. И. и др. Металлические конструкции. – М.: Стройиздат, 1986. – 560 с.
6. Справочник конструктора стальных конструкций / В. Т. Васильченко и др. – Киев : Будивельник, 1990. – 312 с.

## **ДОДАТОК А**

### **Правила звітності студента та техніки безпеки**

#### **Правила звітності студента**

Звіт повинен включати:

- титульний аркуш;
- мета і завдання лабораторної роботи;
- основні частина, що включає опис призначення, схеми дії і пристрої випробувальних пресів і машин, а також приладів для лабораторного практикуму;
- висновки відносно отриманих результатів експерименту;
- список використаних джерел.

**Фото кожного етапу випробувань кожен студент робить самостійно.**

**Фото обов'язково входять до складу звіту про лабораторну роботу.**

#### **1. Правила техніки безпеки**

1. Перед початком виконання лабораторних робіт студент зобов'язаний:

- а) ознайомитися з принципом роботи приладів і обладнання;
- б) вивчити принцип дії і навчитися користуватися всіма приладами, які будуть застосовуватися при випробуваннях;
- в) мати допуск до проведення випробувань будівельних конструкцій, який дається викладачем (завідуючим лабораторії) при проходженні студентом вступного інструктажу з ТБ (розпис в журналі по ТБ) і підготовці відповідних матеріалів при проведенні випробувань (наявність теоретичного розрахунку, журналу, відомості випробувань).

2. Вхід (вихід) в лабораторію до місця випробування допускається тільки з дозволу викладача.

3. Студентам категорично забороняється самостійно навантажувати конструкцію без дозволу викладача, переставляти (знімати) прилади та захисні пристрої, стосуватися клем, розеток тощо.

4. В процесі випробування зразків і моделей будівельних конструкцій реєстрацію показань приладів робити тільки за вказівкою викладача, що веде заняття.

5. Реєстрацію показань приладів студентам дозволяється виробляти до ступеня навантаження, що не перевищує 70% від розрахункової руйнує.

6. Перед руйнуванням конструкції студенти зобов'язані перейти в безпечну зону, вказану викладачем.

7. Підхід студентів до випробуваної конструкції для замальовки утворення тріщин і руйнування допускається тільки після скидання масла в гідросистемі преса або домкратах.

## ДОДАТОК Б

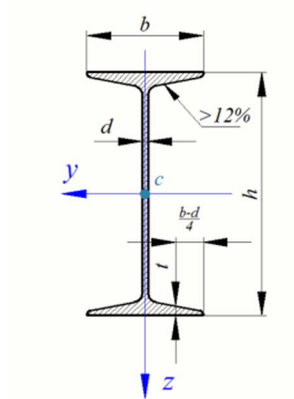
### Розрахункові значення простих балок

Таблиця 3 – Розрахункові значення простих балок [6]

| Схема балки и нагрузки  | Опорные реакции        | Максимальный момент                | Стрела прогиба  |
|---|------------------------|------------------------------------|---|
|  | $A = B = \frac{ql}{2}$ | $M_{\text{МАКС}} = \frac{ql^2}{8}$ | $f_{\text{МАКС}} = \frac{5}{384} \cdot \frac{ql^4}{EI}$ |
|  | $A = B = \frac{P}{2}$  | $M_{\text{МАКС}} = \frac{Pl}{4}$   | $f_{\text{МАКС}} = \frac{Pl^3}{48EI}$                   |
|  | $A = B = P$            | $M_{\text{МАКС}} = Pa$             | $f_{\text{МАКС}} = \frac{Pa}{24EI} (3l^2 - 4a^2)$       |

## ДОДАТОК В

### Геометричні характеристики прокатних профілів



Таблиця 4 – Характеристики двотаврових балок [2] (Сортамент)

| №<br>профиля | Масса<br><i>I</i> м, кг | Размеры, мм |          |          |          | Площадь<br>сечения<br><i>A</i> , см <sup>2</sup> | Справочные величины для осей |                        |                        |                        |                        |                        |                        |
|--------------|-------------------------|-------------|----------|----------|----------|--|------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
|              |                         | <i>h</i>    | <i>b</i> | <i>d</i> | <i>t</i> |  | <i>y-y</i>                   |                        |                        |                        | <i>z-z</i>             |                        |                        |
|              |                         |             |          |          |          |  | <i>I<sub>y</sub></i> ,       | <i>W<sub>y</sub></i> , | <i>i<sub>y</sub></i> , | <i>S<sub>y</sub></i> , | <i>I<sub>z</sub></i> , | <i>W<sub>z</sub></i> , | <i>i<sub>z</sub></i> , |
|              |                         |             |          |          |          |  |                              |                        |                        |                        |                        |                        |                        |
| 10           | 9,46                    | 100         | 55       | 4,5      | 7,2      | 12,0   | 198                          | 39,7                   | 4,06                   | 23,0                   | 17,9                   | 6,49                   | 1,22                   |
| 12           | 11,5                    | 120         | 64       | 4,8      | 7,3      | 14,7   | 350                          | 58,4                   | 4,88                   | 33,7                   | 27,9                   | 8,72                   | 1,38                   |
| 14           | 13,7                    | 140         | 73       | 4,9      | 7,5      | 17,4   | 572                          | 81,7                   | 5,73                   | 46,8                   | 41,9                   | 11,5                   | 1,55                   |
| 16           | 15,0                    | 160         | 81       | 5,0      | 7,8      | 20,2   | 873                          | 109                    | 6,57                   | 62,3                   | 58,6                   | 14,5                   | 1,70                   |
| 18           | 18,4                    | 180         | 90       | 5,1      | 8,1      | 23,4   | 1290                         | 143                    | 7,42                   | 81,4                   | 82,6                   | 18,4                   | 1,88                   |
| 18a          | 19,9                    | 180         | 100      | 5,1      | 8,3      | 25,4   | 1430                         | 159                    | 7,51                   | 89,8                   | 114                    | 22,8                   | 2,12                   |
| 20           | 21,0                    | 200         | 100      | 5,2      | 8,4      | 26,8   | 1840                         | 184                    | 8,28                   | 104                    | 115                    | 23,1                   | 2,07                   |
| 20a          | 22,7                    | 200         | 110      | 5,2      | 8,6      | 28,9   | 2030                         | 203                    | 8,37                   | 114                    | 155                    | 28,2                   | 2,32                   |
| 22           | 24,0                    | 220         | 110      | 5,4      | 8,7      | 30,6   | 2550                         | 232                    | 9,13                   | 131                    | 157                    | 28,6                   | 2,27                   |
| 22a          | 25,8                    | 220         | 120      | 5,4      | 8,9      | 32,8   | 2790                         | 254                    | 9,22                   | 143                    | 206                    | 34,3                   | 2,50                   |
| 24           | 27,3                    | 240         | 115      | 5,6      | 9,5      | 34,8   | 3460                         | 289                    | 9,97                   | 163                    | 198                    | 34,5                   | 2,37                   |
| 24a          | 29,4                    | 240         | 125      | 5,6      | 9,8      | 37,5   | 3800                         | 317                    | 10,1                   | 178                    | 260                    | 41,6                   | 2,63                   |
| 27           | 31,5                    | 270         | 125      | 6,0      | 9,8      | 40,2   | 5010                         | 371                    | 11,2                   | 210                    | 260                    | 41,5                   | 2,54                   |
| 27a          | 33,9                    | 270         | 135      | 6,0      | 10,2     | 43,2   | 5500                         | 407                    | 11,3                   | 229                    | 337                    | 50,0                   | 2,80                   |
| 30           | 36,5                    | 300         | 135      | 6,5      | 10,2     | 46,5   | 7080                         | 472                    | 12,3                   | 268                    | 337                    | 49,9                   | 2,69                   |
| 30a          | 39,2                    | 300         | 145      | 6,5      | 10,7     | 49,9   | 7780                         | 518                    | 12,5                   | 292                    | 436                    | 60,1                   | 2,95                   |
| 33           | 42,2                    | 330         | 140      | 7,0      | 11,2     | 53,8   | 9840                         | 597                    | 13,5                   | 339                    | 419                    | 59,9                   | 2,76                   |
| 36           | 48,6                    | 360         | 145      | 7,5      | 12,3     | 61,9   | 13380                        | 743                    | 14,7                   | 423                    | 516                    | 71,1                   | 2,89                   |
| 40           | 57,0                    | 400         | 155      | 8,3      | 13,0     | 72,6   | 19062                        | 953                    | 16,2                   | 545                    | 667                    | 86,1                   | 3,03                   |
| 45           | 66,5                    | 450         | 160      | 9,0      | 14,2     | 84,7   | 27696                        | 1231                   | 18,1                   | 708                    | 808                    | 101,0                  | 3,00                   |
| 50           | 78,5                    | 500         | 170      | 10,0     | 15,2     | 100,0  | 39727                        | 1589                   | 19,9                   | 919                    | 1043                   | 123,0                  | 3,23                   |
| 55           | 96,2                    | 550         | 180      | 11,0     | 16,5     | 118,0  | 55962                        | 2035                   | 21,8                   | 1181                   | 1356                   | 151,0                  | 3,39                   |
| 60           | 108,0                   | 600         | 190      | 12,0     | 17,8     | 138,0  | 75806                        | 2560                   | 23,6                   | 1491                   | 1725                   | 182,0                  | 3,54                   |

*Виробничо-практичне видання*

Методичні рекомендації  
до виконання лабораторної роботи з курсу «Металеві конструкції»  
«Визначення стріли прогину при згині сталеві балки двотаврового  
перерізу, що вільно лежить»

*(для студентів 2–5 курсів денної та заочної форм навчання  
галузі знань 19 – Архітектура та будівництво спеціальності  
192 – Будівництво та цивільна інженерія; професійне спрямування  
«Промислове та цивільне будівництво», «Міське будівництво і  
господарство», «Теплогазопостачання та вентиляція»,  
«Водопостачання та водовідведення»)*

Укладач ЖИЛЯКОВ Валерій Якович  
Відповідальний за випуск В. С. Шмуклер  
Технічний редактор О. В. Михаленко  
Комп'ютерне верстання В. Я. Жиликов

План 2021, 9М

---

Підп. до друку 02.03.2021. Формат 60×84/16.  
Друк на ризографі. Ум. друк. арк. 0,9.  
Тираж \_\_50\_\_ пр. Зам. №

Видавець і виготовлювач:  
Харківській національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.  
Електронна адреса: rektorat@khame.edu.ua  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:  
ДК № 5328 від 11.04.2017.