

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ і НАУКИ УКРАЇНИ  
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
імені Івана Пулюя**

# **ОПІР МАТЕРІАЛІВ**

**ВАРІАНТИ ЗАДАЧ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНИХ РОБІТ  
(спрощений варіант)**

**ЧАСТИНА II**

**ТЕРНОПІЛЬ - 2010**

**Кафедра технічної механіки та с/г машинобудування ТНТУ імені Івана Пулюя.**

Варіанти задач склав доцент **Мильніков О.В.**

Рецензенти:

Зав. кафедрою ТОЗВ Тернопільського національного технічного університету  
ім. І. Пулюя проф., д.т.н. **Підгурський М.І.**

Доц. кафедри механіки суцільних середовищ  
Київського національного університету ім. Т.Шевченка  
доц., к. фіз.-мат.н. **Кепіч Т.Ю.**

## **I. ВСТУП.**

Типи задач, що входять до розрахунково-графічних робіт (РГР), складені на основі курсу Опору матеріалів для машинобудівних та транспортних спеціальностей вищих навчальних закладів. Типи задач розраховані на студентів механічних спеціальностей Тернопільського національного технічного університету ім. Івана Пулюя.

## **II. ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБІТ.**

1. Кожний студент виконує ту кількість задач РГР, яка передбачена навчальним графіком та програмою курсу Опору матеріалів для даної спеціальності.
2. Для того, щоб вибрати дані свого варіанту, треба в таблиці, яка відповідає задачі, вписати дані у відповідності до свого номера залікової книжки та перших шести літер алфавіту, що розташовується під шифром, який при цьому повторюється двічі. Цифри, що визначають рік, відкидаються.

Наприклад: № залікової книжки ХО<sub>п</sub>-99-682

Тоді шифр	6	8	2	6	8	2
Букви	а	б	в	г	д	е

З кожного вертикального стовпця таблиці, позначеного знизу певною літерою, треба взяти число, що стоїть у тому горизонтальному рядку, номер якого співпадає з номером букви.

Наприклад: Розглянемо таблицю 1 та визначимо дані, які необхідно взяти при вищезгаданому номеру залікової книжки 92-682.

№ схеми – 2; площа –  $A = 18 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ ; відстані:  $a = 1.6 \text{ м}$ ,  $b = 1.8 \text{ м}$ ;  $c = 1.2 \text{ м}$ ; сила  $F = 1.6 \text{ кН}$ ; напруження:  $\sigma_x = 60 \text{ МПа}$ ;  $\sigma_y = 80 \text{ МПа}$ ;  $\tau_x = 20 \text{ МПа}$ .

**Зауваження:** Задачі, виконані з порушенням правил вибору варіанту не зараховуються.

3. Кожна розрахунково-графічна робота, яка складається із кількох задач, повинна бути виконана або в окремому зошиті, або на форматних листах, зшитих разом. В заголовку роботи повинно бути чітко написані: номер РГР, назва факультету, курсу, групи, ім'я та по батькові студента (повністю), навчальний шифр (номер залікової книжки), дата надсилання роботи і точна адреса.  
Кожна задача повинна включати в себе:
  - Умову і креслення (чи ескіз) до неї (при чому на кресленні до умови ніяких додаткових побудов не допускається).
  - Розв'язок задач, акуратно записаний, з обов'язковими короткими поясненнями ходу розв'язку. Проміжні результати слід підкреслювати і записувати їх розмірність в системі СІ.
  - Ескізи, креслення і інші задачі графічних зображень, виконані згідно ГОСТ із вказанням розмірів. Можна виконувати їх на міліметровому папері, а потім вклеювати в текст. Всі епюри до задачі повинні малюватись на одному листі.
  - Відповідь та її аналіз з інженерної точки зору (наприклад, забезпечена міцність конструкції, що розраховується, чи ні і т.п.).
4. При розв'язку задач не слід обчислювати велику кількість значущих цифр, обчислення повинні відповідати необхідній точності. Якій, наприклад, зміст

обчислювати діаметр дерев'яної балки з точністю до  $10^{-6}$  мм, що дозволяє сучасна портативна обчислювальна техніка. Тим більше не слід записувати результати в такому, наприклад, вигляді:  $P=253624,3$  Н.

Число, записане в такому вигляді, важко, як прочитати, та і уявити.

Його краще записати у вигляді:

$$P = 0.25 \cdot 10^6 \text{Н} \text{ або } P = 0.25 \text{МН, або } P=254 \text{кН.}$$

Це вже набагато легше уявити. Необхідно пам'ятати, що "Опір матеріалів" – це насамперед практичні інженерні розрахунки, результати яких мають бути представлені в зручному і зрозумілому вигляді.

5. При одержанні із університета РГР студент зобов'язаний виправити в ній всі помічені помилки і виконати всі зроблені рецензентом вказівки.

Всі виправлення записуються на окремих листах і вклеюються у відповідних місцях поруч з текстом, який був написаний раніше. Окремі від роботи виправлення не розглядаються.

### III. ВАРІАНТИ ЗАДАЧ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНИХ РОБІТ.

#### Задача 9.

До дерев'яної балки прямокутного поперечного перерізу, зображеної на рис. 8, в т. А прикладене навантаження, що діє у вертикальній площині, та навантаження в т. В, що прикладене вже в горизонтальній площині.

Необхідно:

- побудувати епюри згинальних моментів в горизонтальній та вертикальній площинах  $M_{гор}$  та  $M_{верт}$ ;
- підібрати розміри поперечного перерізу  $h$  та  $b$  (при відомому співвідношенні  $\frac{h}{b} = k$ ) з умови міцності, прийнявши  $[\sigma] = 8МПа$ ;
- визначити положення нейтральної осі в небезпечному перерізі та накреслити (в аксонометрії) епюру розподілу нормальних напружень по ньому.

Дані вибрати з таблиці 4.

#### Задача 10.

Визначити максимальне стискаюче навантаження, яке можна прикласти в т. А до короткого чавунного стержня, поперечний переріз якого зображено на рис. 9.

Номер схеми, розміри перерізу та величини допустимих напружень на стиск та розтяг вибрати з таблиці 4.

#### Задача 11.

Ведучий шків з діаметром  $D_1$  з горизонтальним положенням пасу, що передає на вал потужність  $P$ , та ведомий шків з діаметром  $D_2$  і вертикальним положенням пасу роблять разом з валом, на якому закріплені,  $n$  – обертів за хвилину (схема – рис. 10).

Потрібно:

- визначити крутні моменти, прикладені до вала із сторони шківів  $T_1$  та  $T_2$  і побудувати епюру крутних моментів;
- визначити колові зусилля  $t_1$  та  $t_2$ , що діють на шківах;
- визначити зусилля, що прикладаються до валу з боку шківів, приймаючи їх рівними трьом коловим зусиллям;
- побудувати епюри згинальних моментів в горизонтальній ( $M_{гор}$ ) та вертикальній ( $M_{верт}$ ) площинах;
- побудувати сумарну епюру згинальних моментів  $M$ , використовуючи залежність  $M = \sqrt{M_{гор}^2 + M_{верт}^2}$ ;
- за допомогою епюр  $M$  та  $T$  знайти небезпечний переріз та значення розрахункового момента в ньому (за третьою теорією міцності);
- підібрати діаметр вала з умови міцності, приймаючи  $[\sigma] = 90МПа$ .

Дані вибрати з таблиці 5.

### Задача 12.

На рис. 11 зображена в аксонометрії вісь ламаного стержня круглого поперечного перерізу, яка розташована в горизонтальній площині і має прями кути в т. **A** та т. **B**. На стержень діє вертикальне навантаження. Прийняти  $M=mFl$ ,  $T=mFl$ .

Потрібно:

- побудувати окремо (в аксонометрії) епюри згинальних  $M$  та крутних  $T$  моментів (в долях  $Fl$ );
- встановити небезпечний переріз і знайти для нього величину розрахункового моменту  $M_r$  за четвертою (енергетичною) теорією міцності (в долях  $Fl$ ).

Номер схеми та значення  $m$  вибрати з таблиці 6.

### Задача 13.

Для заданих схем сталевих двотаврових балок (рис. 12) необхідно обчислити методом Мора (способом Верещагіна) прогин в т. **A** та кут повороту в т. **B**.

Дані вибрати з таблиці 6.

### Задача 14.

Стальний стержень довжиною  $l$ , закріплений як показано на рис. 13 і стискається поздовжньою силою  $F$ . Підібрати розміри поперечного перерізу при  $[\sigma] = 160 \text{ МПа}$ .

Дані вибрати з таблиці 7.

**Вказівка:** Розрахунок здійснювати послідовними наближеннями, попередньо, при першому наближенні, задавши величину коефіцієнта  $\varphi = 0,5$ .

### Задача 15.

Визначити максимальні напруження в сталевій двотавровій балці (рис. 15), на яку з висоти  $h$  падає вантаж  $Q$ . Дані вибрати з таблиці 7.

### Задача 16.

На двох балках двотаврового поперечного перерізу встановлено двигун вагою  $Q$  (Схема на рис. 14) з частотою обертання вала  $n$  обертів на хвилину. Відцентрова сила інерції, яка виникає внаслідок незрівноваженості частин двигуна, що обертаються, дорівнює  $H$ . Власною вагою балки та силою опору можна знехтувати.

Необхідно знайти:

- частоту власних коливань  $\omega_0$ ;
- частоту коливань, викликаних збурюючою силою  $\omega$ ;
- коефіцієнт наростання коливань  $\beta$ ;
- динамічний коефіцієнт  $K_d$ ;
- найбільше нормальне напруження в балках  $\sigma_d$ .

**Зауваження:** Якщо динамічне напруження виявиться більшим від допустимого ( $[\sigma] = 100 \text{ МПа}$ ), то необхідно збільшити розміри перерізу (вибрати більший номер двотавра) і повторити розрахунки.

Дані вибрати з таблиці 7.

Таблица 4

№ строки	№ схемы по рис. 8,9	$F$ кН	$M$ кНм	$k$	$d$ см	$[\sigma_c]$ МПа	$[\sigma_p]$ МПа
1	1	1,0	1,0	1,1	2	50	21
2	2	2,0	2,0	1,2	3	60	22
3	3	3,0	3,0	1,3	4	70	23
4	4	4,0	4,0	1,4	5	80	24
5	5	5,0	5,0	1,5	6	90	25
6	6	6,0	6,0	1,6	2	50	26
7	7	7,0	7,0	1,7	3	60	27
8	8	8,0	8,0	1,8	4	70	28
9	9	9,0	9,0	1,9	5	80	29
0	0	10	10,0	2,0	6	90	30
	в	б	а	г	б	д	е

Таблица 5

№ строки	№ схемы по рис. 10	$P$ кВт	$n$ об/хв	$a$ м	$b$ м	$c$ м	$D1$ м	$D2$ м
1	1	15	100	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
2	2	20	150	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
3	3	25	200	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
4	4	30	250	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
5	5	35	300	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
6	6	40	350	1,6	1,6	1,6	1,1	1,1
7	7	45	400	1,7	1,7	1,7	1,2	1,2
8	8	50	450	1,8	1,8	1,8	1,3	1,3
9	9	55	500	1,9	1,9	1,9	1,4	1,4
0	0	60	550	2,0	2,0	2,0	1,5	1,5
	в	а	б	г	д	е	б	е

Таблиця 6

№ строки	№ схеми по рис. 11,12	№ двогавра	$m$	$M$ (кНм)	$F$ (кН)	$a$ (м)	$b$ (м)
1	1	18	1,1	1,0	1,0	1,1	1,1
2	2	18а	1,2	2,0	2,0	1,2	1,2
3	3	20	1,3	3,0	3,0	1,3	1,3
4	4	20а	1,4	4,0	4,0	1,4	1,4
5	5	22	1,5	5,0	5,0	1,5	1,5
6	6	22а	1,1	6,0	6,0	1,6	1,6
7	7	24	1,2	7,0	7,0	1,7	1,7
8	8	24а	1,3	8,0	8,0	1,8	1,8
9	9	27	1,4	9,0	9,0	1,9	1,9
0	0	27а	1,5	10	10	2,0	2,0
	в	б	в	д	а	б	в

Таблиця 7

№ строки	№ схеми по рис. 13, 14, 15	№ схеми закріплення (рис. 13)	№ схеми форми перерізу (рис. 13)	$F$ кН	$l$ м	$k$	$Q$ кН	$H$ кН	$h$ см	$n$ об/х в
1	1	1	1	10	3,0	0,1	1,1	0,6	11	400
2	2	2	2	20	3,1	0,2	1,2	0,7	12	450
3	3	1	3	30	3,2	0,3	1,3	0,8	13	500
4	4	2	4	40	3,3	0,4	1,4	0,9	14	550
5	5	1	5	50	3,4	0,5	1,5	1,0	15	600
6	6	2	1	60	3,5	0,1	1,1	0,6	16	400
7	7	1	2	70	3,6	0,2	1,2	0,7	17	450
8	8	2	3	80	3,7	0,3	1,3	0,8	18	500
9	9	1	4	90	3,8	0,4	1,4	0,9	19	550
0	0	2	5	100	3,9	0,5	1,5	1,0	20	600
	в	д	е	б	д	а	в	б	г	е



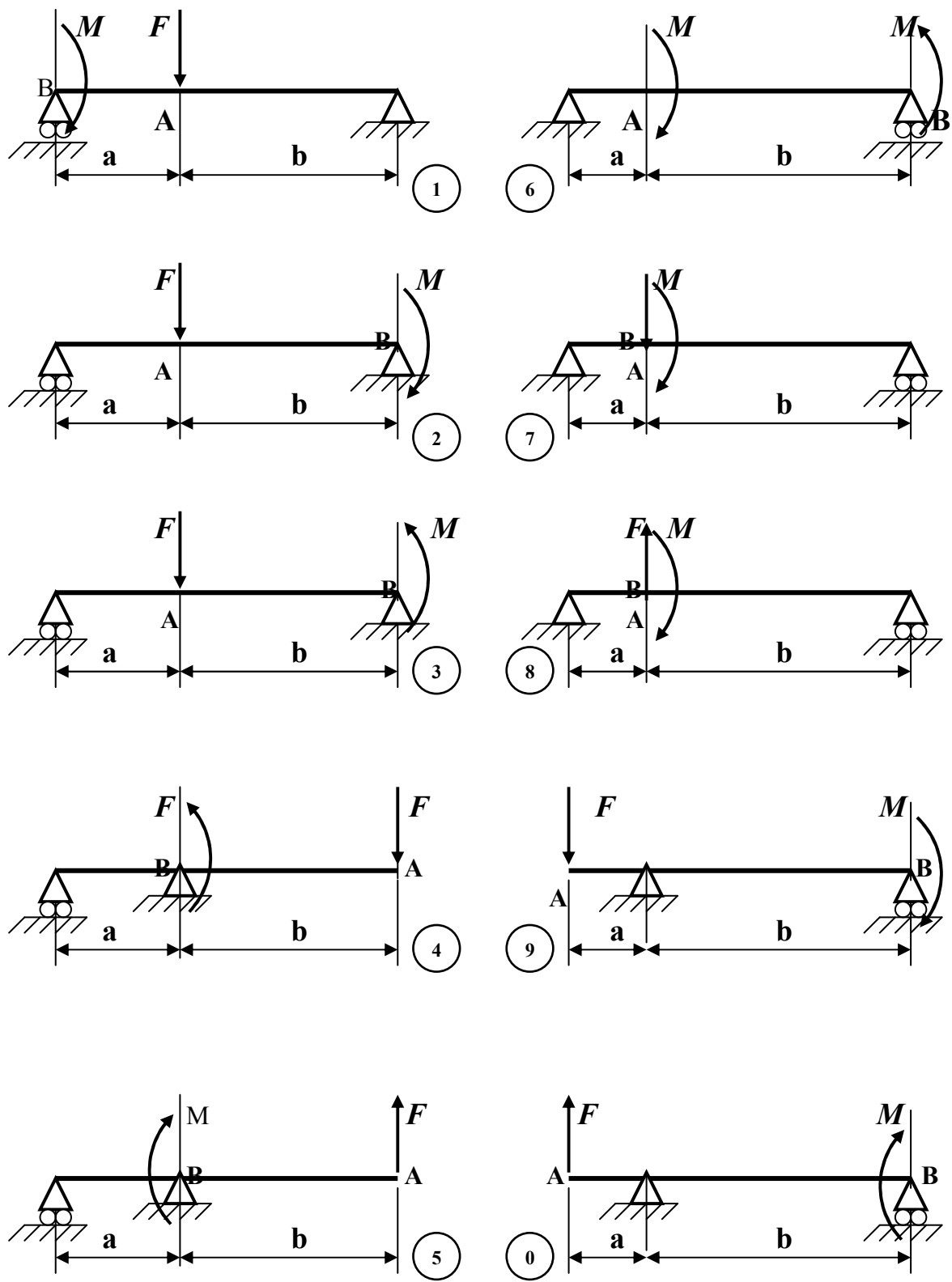


Рис. 8.

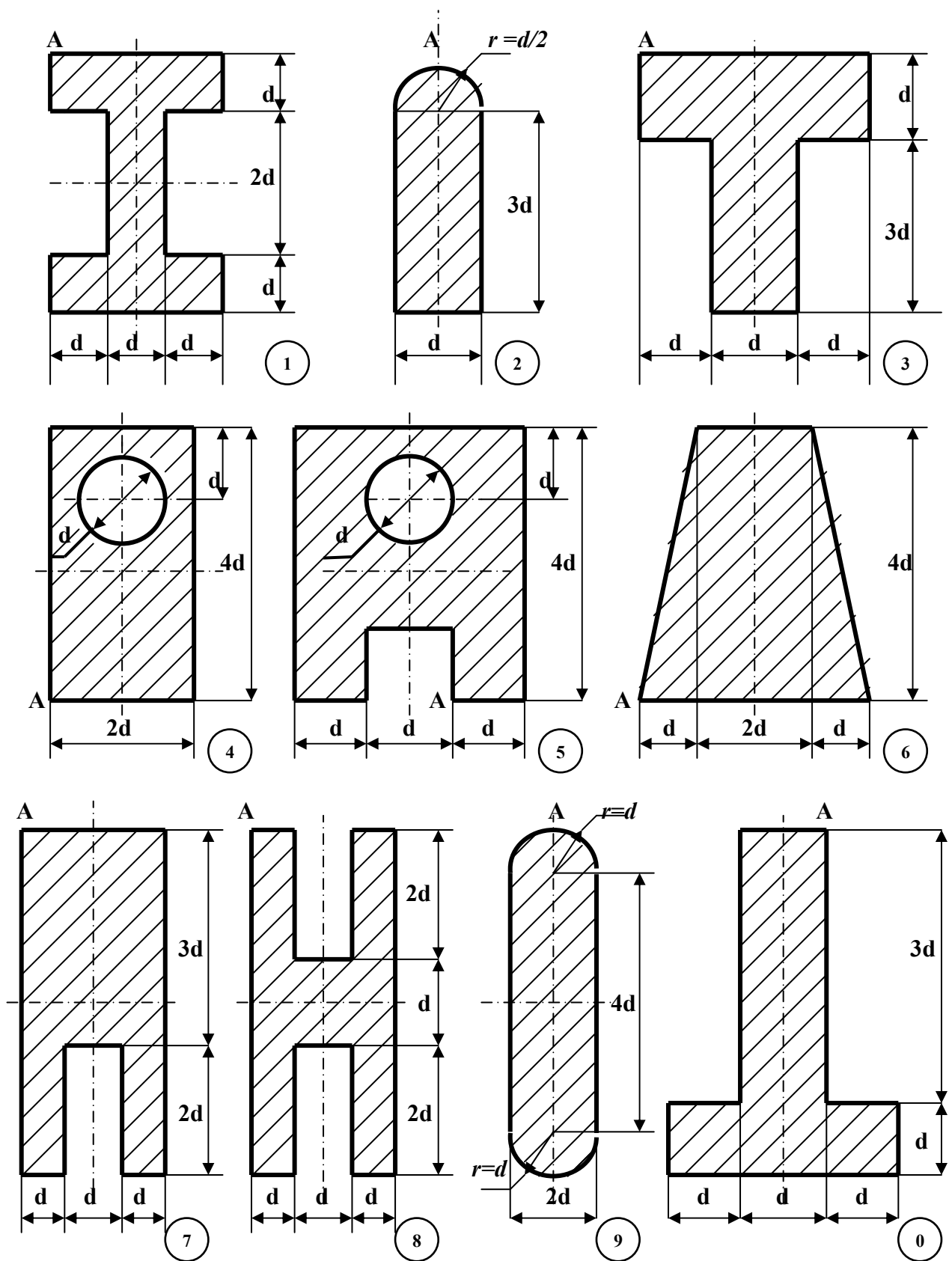


Рис. 9.

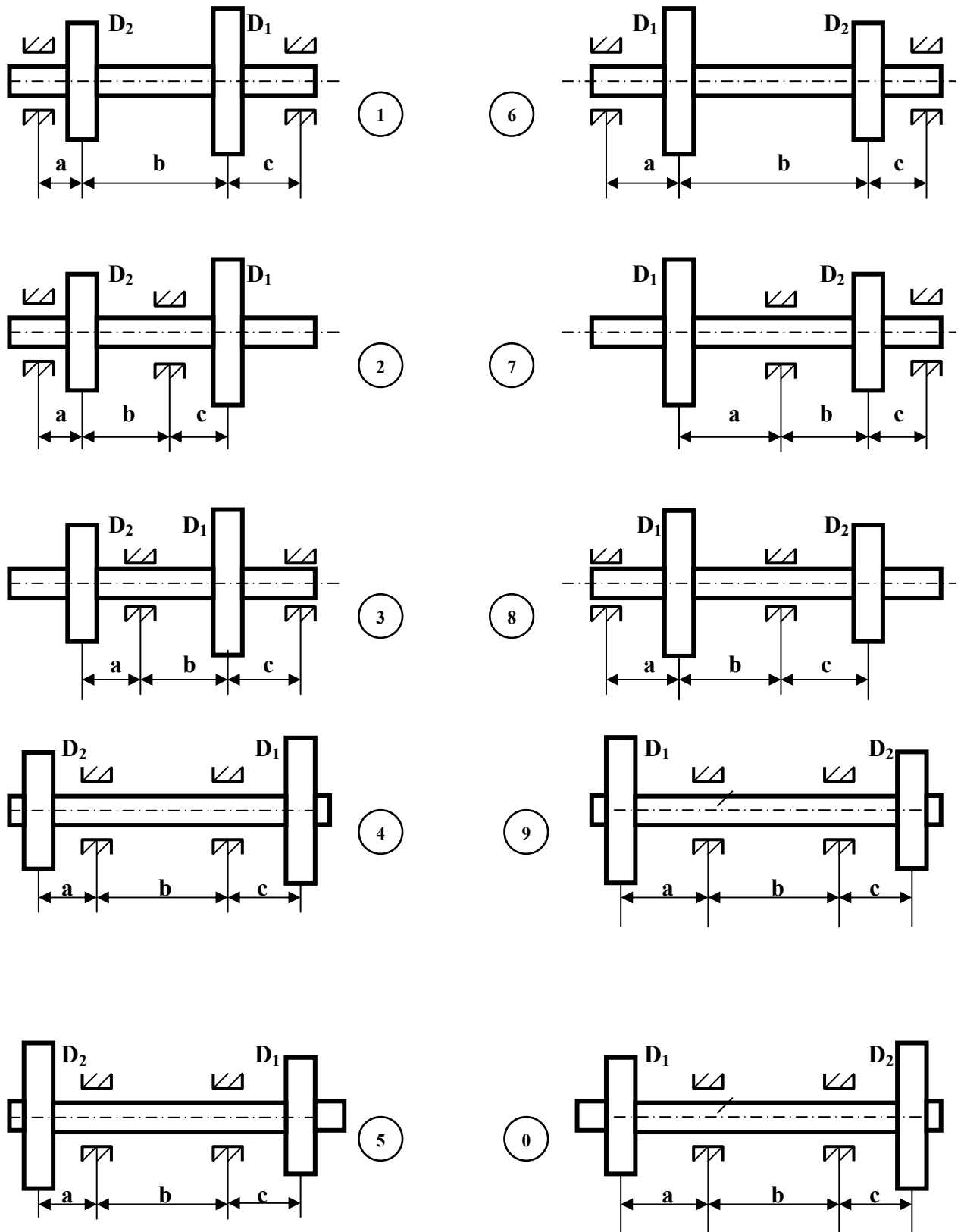


Рис. 10.

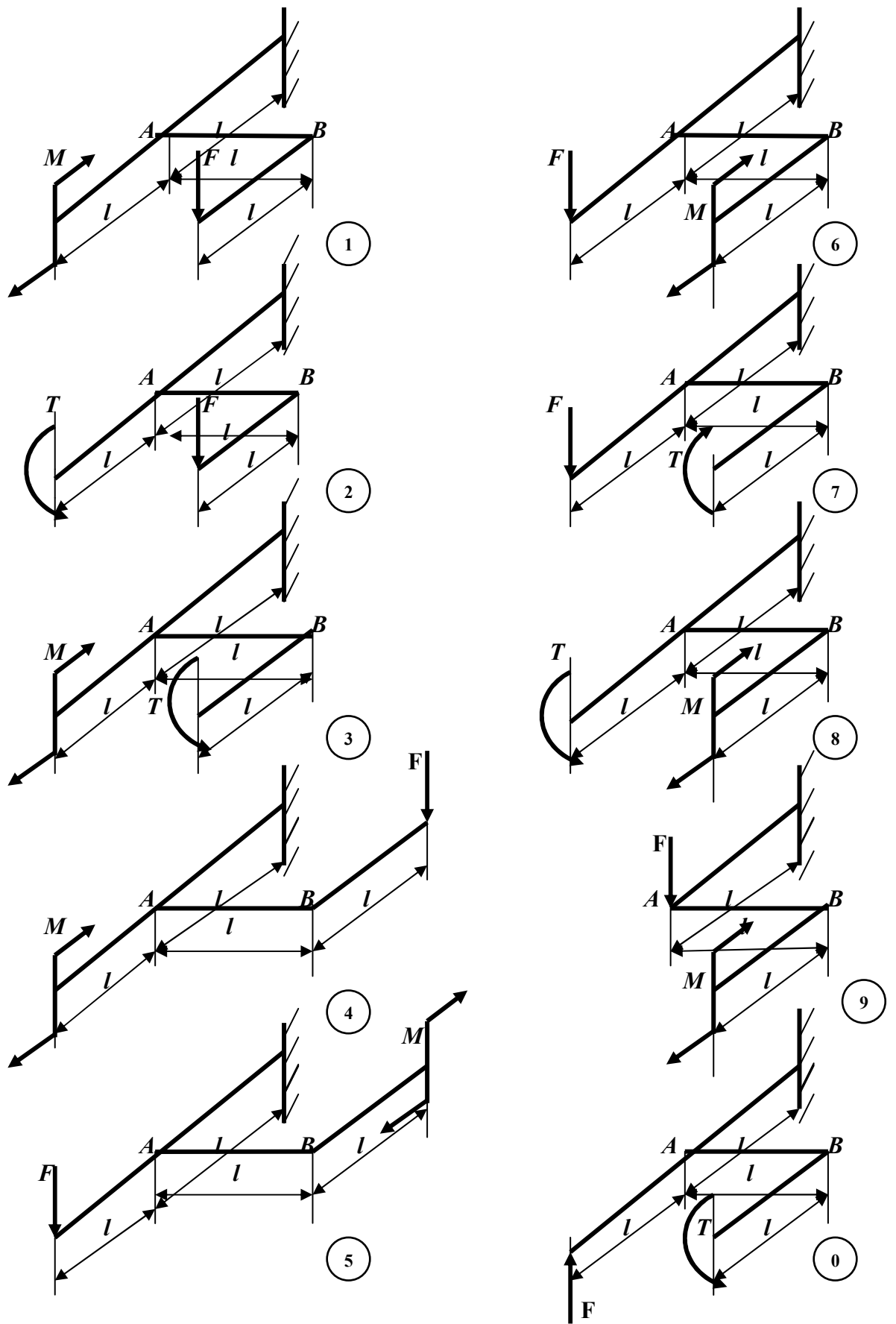


Рис. 11.

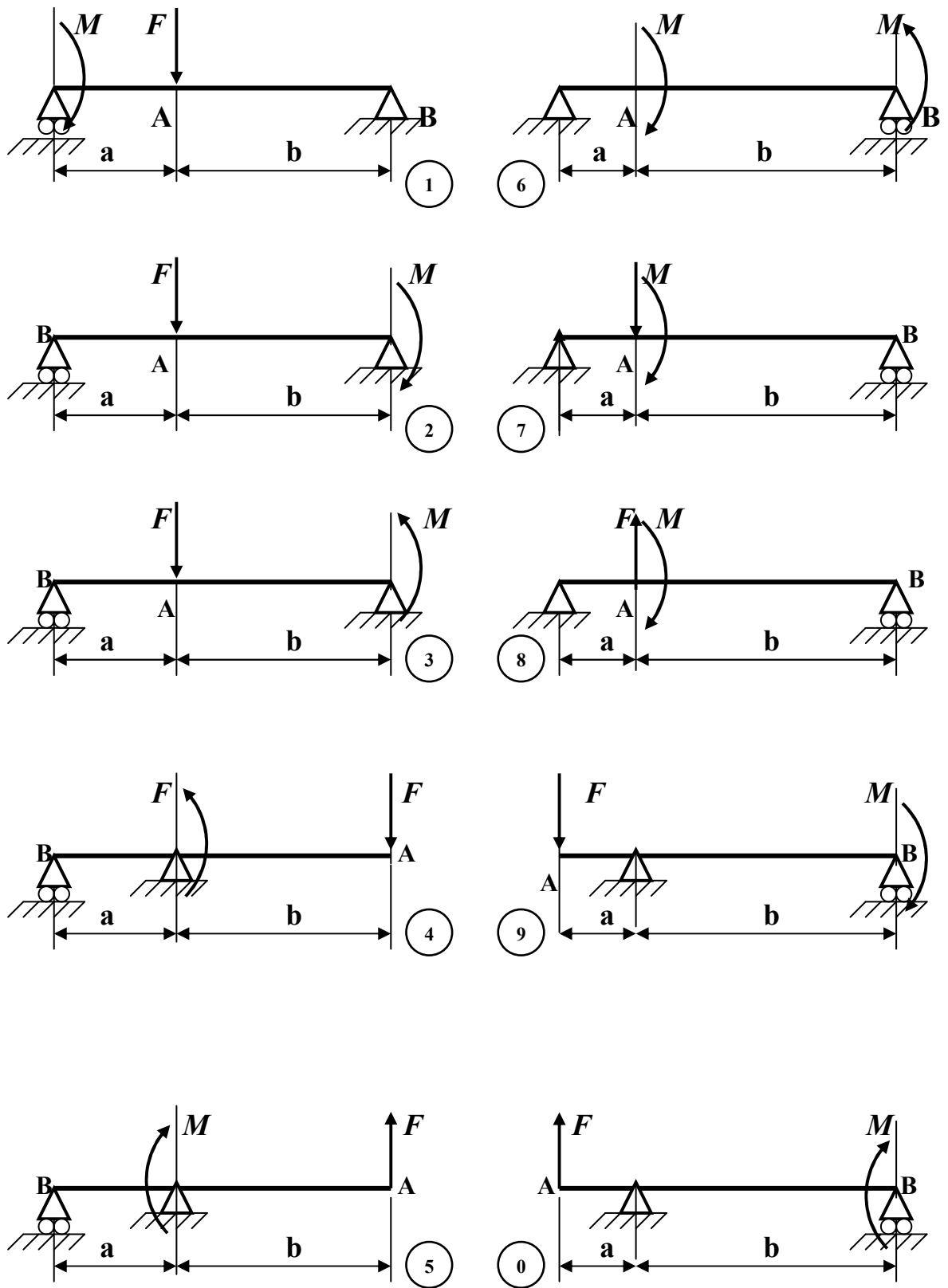


Рис. 12.

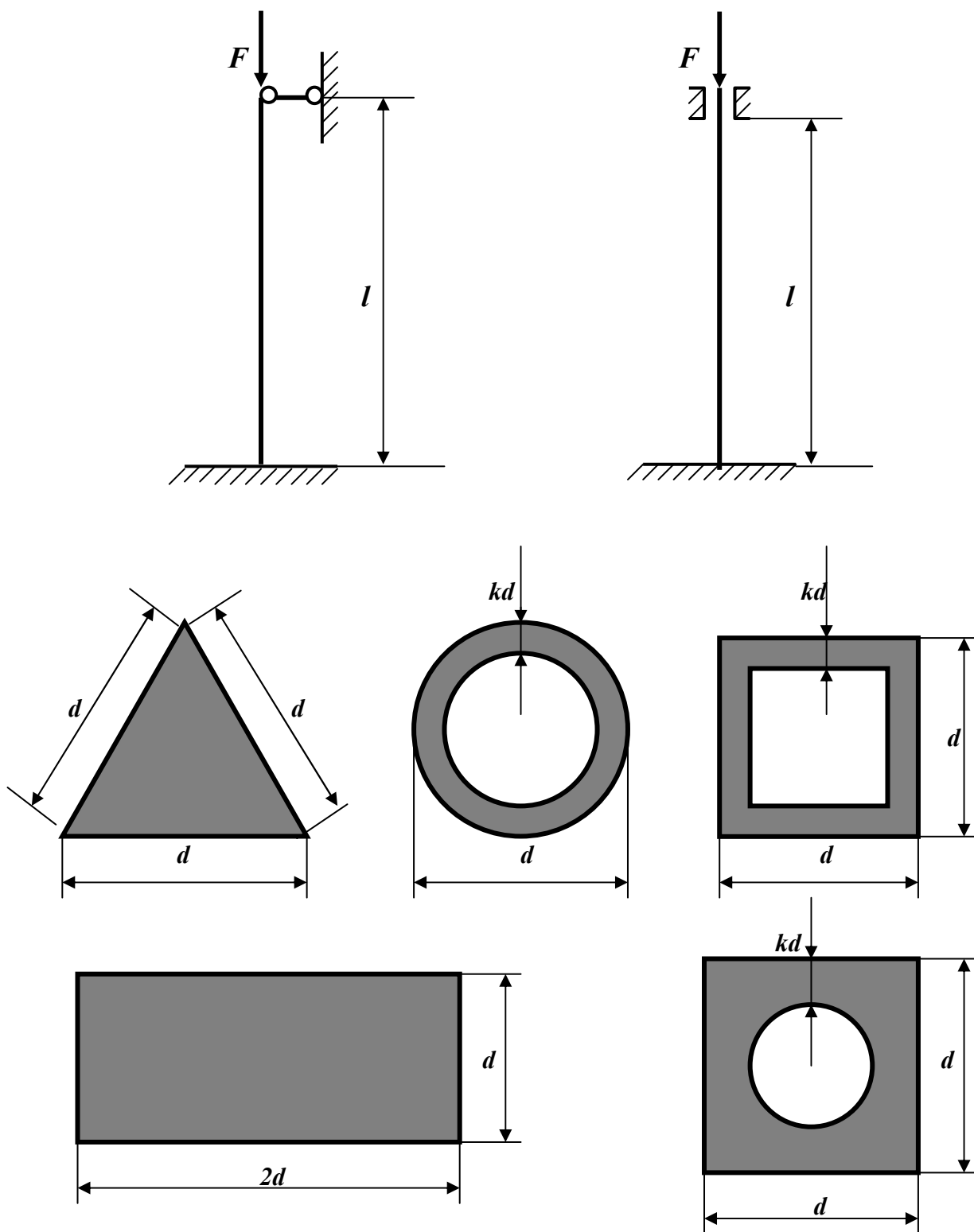


Рис. 13.

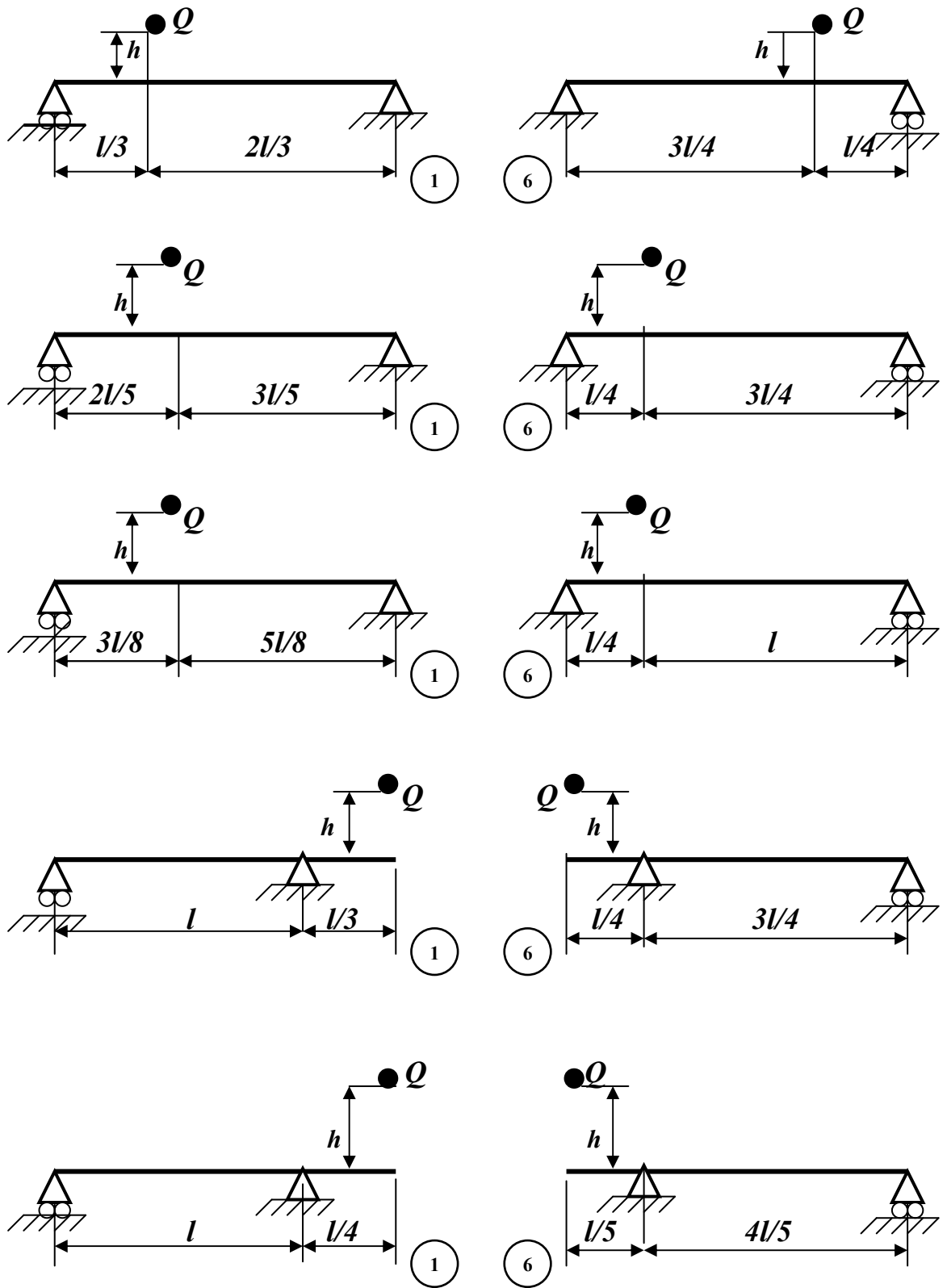


Рис. 14.

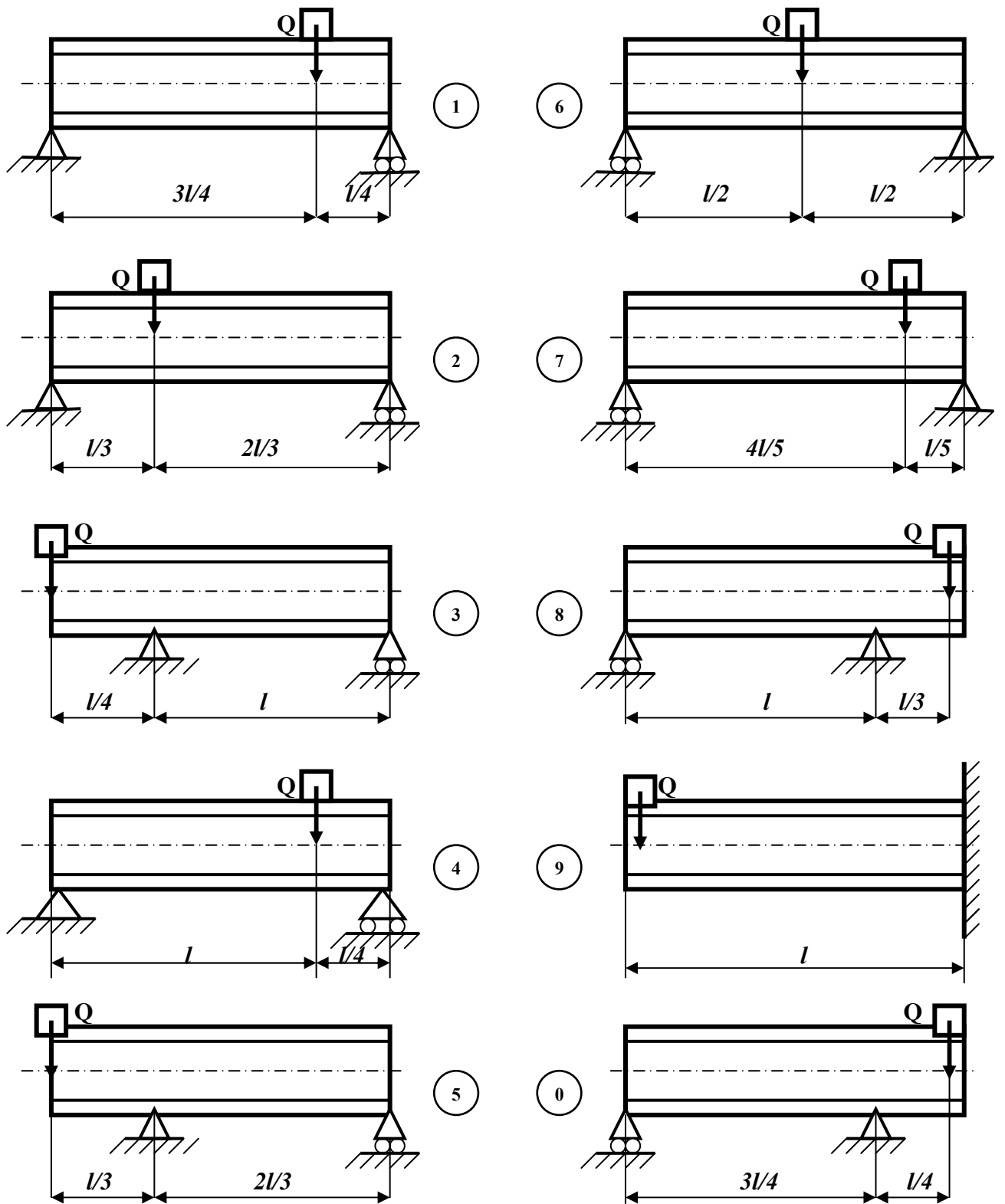


Рис. 15.



Додатки.  
Додаток 1. Зразок титульного аркуша РГР.

**Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет  
імені Івана Пулюя**

# **ОПР МАТЕРІАЛІВ**

**Розрахунково-графічна робота №2**

(Задачі 9, 10, 11, 12)

**Студента гр. ХО-21  
Тхорика Богдана Івановича  
(особистий шифр 10-932)**

**Тернопіль- 2010**

Додаток 2. Зразок розв'язку задачі.

### Задача 14.

Стальний стержень довжиною  $l$ , закріплений як показано на рис. 13 і стискається повздовжньою силою  $F$ . Підібрати розміри поперечного перерізу при  $[\sigma] = 160 \text{ МПа}$ .

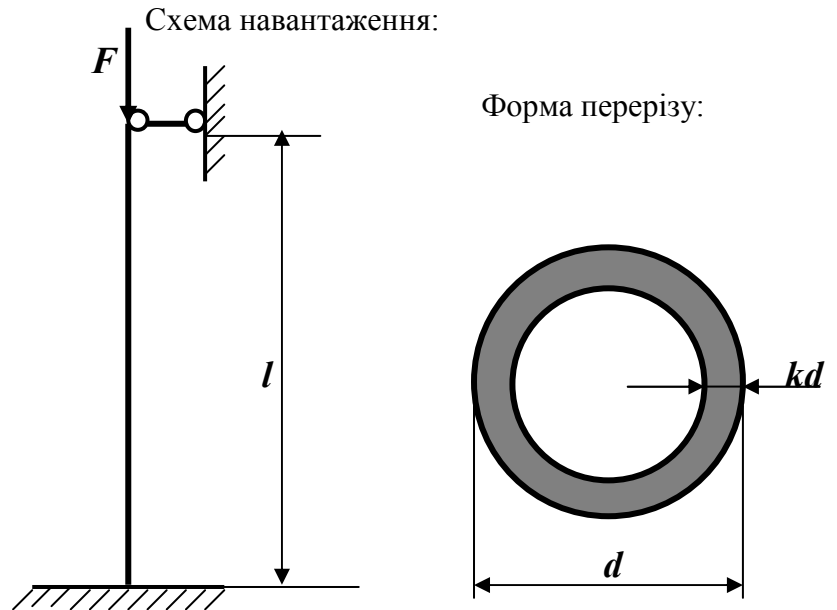
Дані вибрати з таблиці 5.

**Вказівка:** Розрахунок здійснювати послідовними наближеннями, попередньо, при першому наближенні, задавши величину коефіцієнта  $\varphi = 0,5$ .

Дано:

$$\begin{aligned} F &= 30 \text{ кН} \\ l &= 3,2 \text{ м} \\ k &= 0,4 \\ [\sigma] &= 160 \text{ МПа} \\ \varphi_1 &= 0,5 \\ \mu &= 0,7 \end{aligned}$$

$d - ?$



### Розв'язок задачі.

Площу поперечного перерізу стержня будемо визначати з умови стійкості:

$$\sigma_{\max} = \frac{F}{A} \leq [\sigma] \cdot \varphi$$

де  $\varphi$  – коефіцієнт зменшення основного допустимого напруження.

Звідси

$$A \geq \frac{F}{[\sigma] \cdot \varphi}$$

Виходячи з умов оптимальної конструкції, будемо розглядати рівність

$$A = \frac{F}{[\sigma] \cdot \varphi}$$

Приймаючи в якості першого наближення  $\varphi_1 = 0,5$ , одержимо:

$$A_1 = \frac{F}{[\sigma] \cdot \varphi_1} = \frac{0,03}{160 \cdot 0,5} = 3,75 \cdot 10^{-4} (\text{м}^2)$$

Виразимо площу  $A$  через розмір поперечного перерізу  $d$ .

$$A = \frac{\pi d^2}{4} - \frac{\pi (d - 2kd)^2}{4} = \frac{\pi \cdot (d^2 - (d - 2kd)^2)}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,96d^2}{4} = 0,754d^2$$

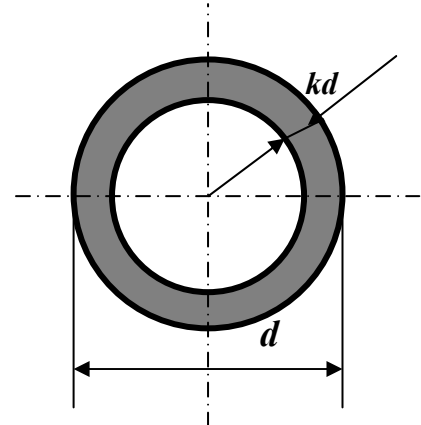
Звідси: 
$$d = \sqrt{\frac{A}{0,754}}.$$

Тепер виразимо через розмір поперечного перерізу  $d$  гнучкість стержня  $\lambda$ .

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

де:  $\mu$  – коефіцієнт приведення довжини, який залежить від способу закріплення стержня (у випадку закріплення стержня даного варіанта  $\mu = 0,7$ ); а  $i_{\min}$  – радіус інерції відносно осі з найменшим моментом інерції –  $I_{\min}$  (у нашому випадку моменти інерції відносно обої центральної осі приймають однакове значення).

$$\begin{aligned} I_{\min} &= \frac{\pi d^4}{64} - \frac{\pi(d - 2kd)^4}{64} = \frac{\pi(d^4 - (0,2d)^4)}{64} = \\ &= \frac{3,14 \cdot 0,9984}{64} d^4 = 0,049d^4 \end{aligned}$$



Тоді:

$$i_{\min} = \sqrt{\frac{I_{\min}}{A}} = \sqrt{\frac{0,049d^4}{0,754d^2}} = 0,25d$$

Ў для нашого випадку гнучкість виразиться так:

$$\lambda = \frac{\mu l}{i_{\min}} = \frac{0,7 \cdot 1,2}{0,25d} = 3,36d^{-1}$$

Отже у першому наближенні:

$$d_1 = \sqrt{\frac{3,75 \cdot 10^{-4}}{0,754}} = 2,23 \cdot 10^{-2} (\text{м})$$

І відповідно:

$$\lambda_1 = 3,36 \cdot (2,23 \cdot 10^{-2})^{-1} = 150,6 \approx 151.$$

Коефіцієнт  $\varphi_1^1$  визначаємо за таблицею. Так для сталі Ст. 3 (інтерполюючи значення, які відповідають  $\lambda=150$  та  $\lambda=160$ ) отримуємо

$$\varphi_1^1 = 0,32.$$

При цьому напруження в поперечному перерізі стержня :

$$\sigma = \frac{F}{A\varphi_1^1} = \frac{0,03}{3,75 \cdot 10^{-4} \cdot 0,32} \approx 250 \text{ МПа},$$

що значно перевищує допустиме  $[\sigma] = 160 \text{ МПа}$ .

Тому потрібно продовжити розрахунки і проводити подальші наближення.

### 2 наближення.

Приймаємо  $\varphi_2 = 0,4$ .

Тоді:

$$A_2 = \frac{F}{[\sigma] \cdot \varphi_2} = \frac{0,03}{160 \cdot 0,4} = 4,68 \cdot 10^{-4} (\text{м}^2)$$

Відповідно

$$\lambda_2 = 3,36 \cdot (2,49 \cdot 10^{-2})^{-1} = 134,9 \approx 135.$$

$$d_1 = \sqrt{\frac{4,68 \cdot 10^{-4}}{0,754}} = 2,49 \cdot 10^{-2} (м)$$

Як і в першому наближенні знаходимо  $\varphi_2^1 = 0,38$ .

Ї знову перевіряємо умову міцності

$$\sigma = \frac{F}{A\varphi_2^1} = \frac{0,03}{4,68 \cdot 10^{-4} \cdot 0,38} \approx 168,7 \text{ МПа},$$

що теж перевищує  $[\sigma] = 160$  МПа.

Тому робимо **3 наближення.**

Приймаємо  $\varphi_3 = 0,38$ .

Тоді:

$$A_2 = \frac{F}{[\sigma] \cdot \varphi_2} = \frac{0,03}{160 \cdot 0,38} = 4,93 \cdot 10^{-4} (м^2)$$

$$d_1 = \sqrt{\frac{4,93 \cdot 10^{-4}}{0,754}} = 2,56 \cdot 10^{-2} (м)$$

Відповідно

$$\lambda_2 = 3,36 \cdot (2,56 \cdot 10^{-2})^{-1} = 131,2 \approx 131.$$

Як в першому та другому наближеннях знаходимо  $\varphi_3^1 = 0,39$ .

Ї знову перевіряємо умову міцності

$$\sigma = \frac{F}{A\varphi_2^1} = \frac{0,03}{4,93 \cdot 10^{-4} \cdot 0,39} \approx 156,0 \text{ МПа},$$

що  $\cong [\sigma] = 160$  МПа, причому похибка при цьому не перевищує загальноприйнятої – 5%. Тому на цьому розрахунки можна припинити і остаточно прийняти

$$\underline{d = 2,56 \cdot 10^{-2} м \approx 2,6 см.}$$