

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

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ І ЗАВДАННЯ
для проведення практичних занять, виконання контрольних
і розрахунково-графічних завдань, самостійної роботи
«РОЗТЯГ-СТИСК»
з курсу **«ОПР МАТЕРІАЛІВ»**

(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання зі спеціальностей 185 – Нафтогазова інженерія та технології, 192 – Будівництво та цивільна інженерія, 194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології)

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2024

Методичні рекомендації і завдання для проведення практичних занять, виконання контрольних і розрахунково-графічних робіт, самостійної роботи «Розтяг-стиск» з курсу «Опір матеріалів» (для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання зі спеціальностей 185 – Нафтогазова інженерія та технології, 192 – Будівництво та цивільна інженерія, 194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : В. П. Шпачук, О. О. Чупринін, А. О. Гарбуз, В. О. Склярів, Т. О. Супрун. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024. – 27 с.

Укладачі:

д-р техн. наук, проф. В. П. Шпачук,
канд. техн. наук, доц. О. О. Чупринін,
канд. техн. наук, доц. А. О. Гарбуз,
канд. техн. наук, доц. В. О. Склярів,
канд. техн. наук Т. О. Супрун

Рецензент

О. М. Кузнєцов, кандидат технічних наук, доцент кафедри теоретичної і будівельної механіки Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

*Рекомендовано кафедрою теоретичної і будівельної механіки,
протокол № 1 від 07.09.2023*

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Оформлення розрахунково-графічної роботи.....	4
2 Вихідні дані і завдання до роботи.....	5
Завдання 1.....	5
Завдання 2.....	9
Завдання 3.....	14
3 Приклади розрахунків.....	18
4 Критерії оцінювання розрахунково-графічної роботи.....	22
Список джерел.....	23
Додатки.....	24

ВСТУП

«Опір матеріалів» – одна з найважливіших дисциплін, що вивчаються студентами у вищих навчальних закладах.

Під час вивчення дисципліни «Опір матеріалів» розглядаються питання міцності, жорсткості та стійкості машин і споруд, при цьому використовуються закони теоретичної механіки й відповідний математичний апарат.

Ці методичні рекомендації призначені для самостійної роботи студентів, яка необхідна під час підготовки до практичних занять і виконання розрахунково-графічного завдання. Вони містять теоретичні положення і вихідні дані для завдань. Вихідні дані обирають за вказівкою викладача.

Перш ніж приступити до виконання завдання, необхідно ознайомитися з теоретичним матеріалом і списком літератури, поданими у цих методичних рекомендаціях.

ОДИНИЦІ ВИМІРУ

У роботі прийнята міжнародна система одиниць СІ. Потрібно використовувати довідники механічних характеристик із технічною системою одиниць і застосовувати такі залежності:

$$1 \text{ кгс} = 10 \text{ Н}; 1 \text{ тс} = 10 \text{ кН}, 1 \text{ кН} = 10^3 \text{ Н};$$

$$1 \text{ тс/м} = 10 \text{ кН/м};$$

$$1 \text{ кгс/см}^2 = 0,1 \text{ МПа}, 1 \text{ МПа} = 10^6 \text{ Па} = 0,1 \text{ кН/см}^2 = 10^3 \text{ кН/м}^2;$$

$$1 \text{ тс} \cdot \text{м} = 10 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

1 ОФОРМЛЕННЯ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ

1. Роботу виконують на аркушах паперу стандартного формату А4.
2. Обкладинку роблять зі щільного паперу для креслення. На титульному аркуші вказують назву й номер розрахунково-графічного завдання, найменування дисципліни, прізвище, ім'я та по батькові студента, його шифр, назву факультету, групу, прізвище та ініціали викладача.

3. Розв'язання кожної задачі потрібно починати із зазначення її номера, назви, переписати повністю умову задачі, числові дані й навести розрахункову схему.

4. Розв'язання задачі має супроводжуватися короткими поясненнями, рисунками та ескізами.

5. Креслення і графіки виконують на міліметровому аркуші, обов'язково в певному масштабі. На кресленнях треба вказати буквені позначення і числові значення усіх величин, використаних у розрахунках.

6. Розв'язуючи задачу, потрібно спочатку одержати алгебраїчний результат, а потім підставити відповідні числові значення. Одержаний в числовому вигляді результат підкреслити й обов'язково вказати одиниці виміру.

2 ВИХІДНІ ДАНІ І ЗАВДАННЯ ДО РОБОТИ

Завдання 1. Розрахунок статично визначених систем при розтягу-стиску.

Для заданої системи (рис. 1) визначити зусилля у стержнях; підібрати перерізи стержнів, якщо вони виготовлені зі сталі, $[\sigma] = 160$ МПа. Дані взяти з таблиці 1.





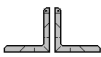




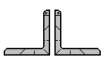




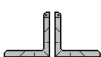

Порядок розв'язання задачі:

1. Накреслити розрахункову схему.




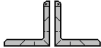



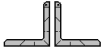




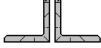

2. При визначенні поздовжніх зусиль у стержнях треба користуватися методом перерізів. Уявно перерізуємо стержень; відкидаємо одну частину, заміняємо дію відкинутої частини внутрішніми силами, складаємо рівняння рівноваги для залишеної частини, на яку діють зовнішні й внутрішні сили. Поздовжнє зусилля вважаємо додатним, коли воно розтягує стержень, і від'ємним, коли стискає його.

3. Розмір перерізу стержня підбирають з умов міцності при розтягу – стиску: $A > N/[\sigma]$.

Таблиця 1 – Вихідні дані до завдання 1

Номер варіанта	a, м	b, м	c, м	d, м	q, кН/м	F, кН	M, кН*м	Переріз
1	2	3	4	5	6	70	8	9
1	2	2	3	2	5	200	30	
2	1	2,5	2	2,5	10	300	40	
3	1,5	3	3	2	20	400	10	
4	2,5	2,5	2	3	30	100	20	
5	3	3	2,5	1	10	250	30	
6	1,5	2	1,5	2,5	20	350	40	
7	1	3	2,5	1	5	150	50	
8	2	2,5	1	1,5	10	200	30	
9	3	2	1,5	2	20	300	20	
10	2,5	3	1	3	5	100	40	
11	3	2	2	2	5	200	20	
12	2	2,5	1	2,5	10	300	30	
13	3	2	1,5	3	20	400	40	
14	2	3	2,5	2,5	30	100	10	
15	2,5	1	3	3	10	250	25	
16	1,5	2,5	1,5	2	20	350	35	

Продовження таблиці 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
17	2,5	1	1	3	5	150	15	
18	1	1,5	2	2,5	10	200	20	
19	1,5	2	3	2	20	300	30	
20	1	3	2,5	3	5	100	10	
21	3	1	3	2,5	5	200	30	
22	2	2	2	1,5	10	300	40	
23	2,5	1	3	2,5	20	400	10	
24	2	1,5	2	1	30	100	20	
25	3	2,5	2,5	1,5	10	250	30	
26	1	3	1,5	1	20	350	40	
27	2,5	1,5	2,5	2	5	150	50	
28	1	1	1	1	10	200	30	
29	1,5	2	1,5	1,5	20	300	20	
30	2	3	1	2,5	5	100	40	

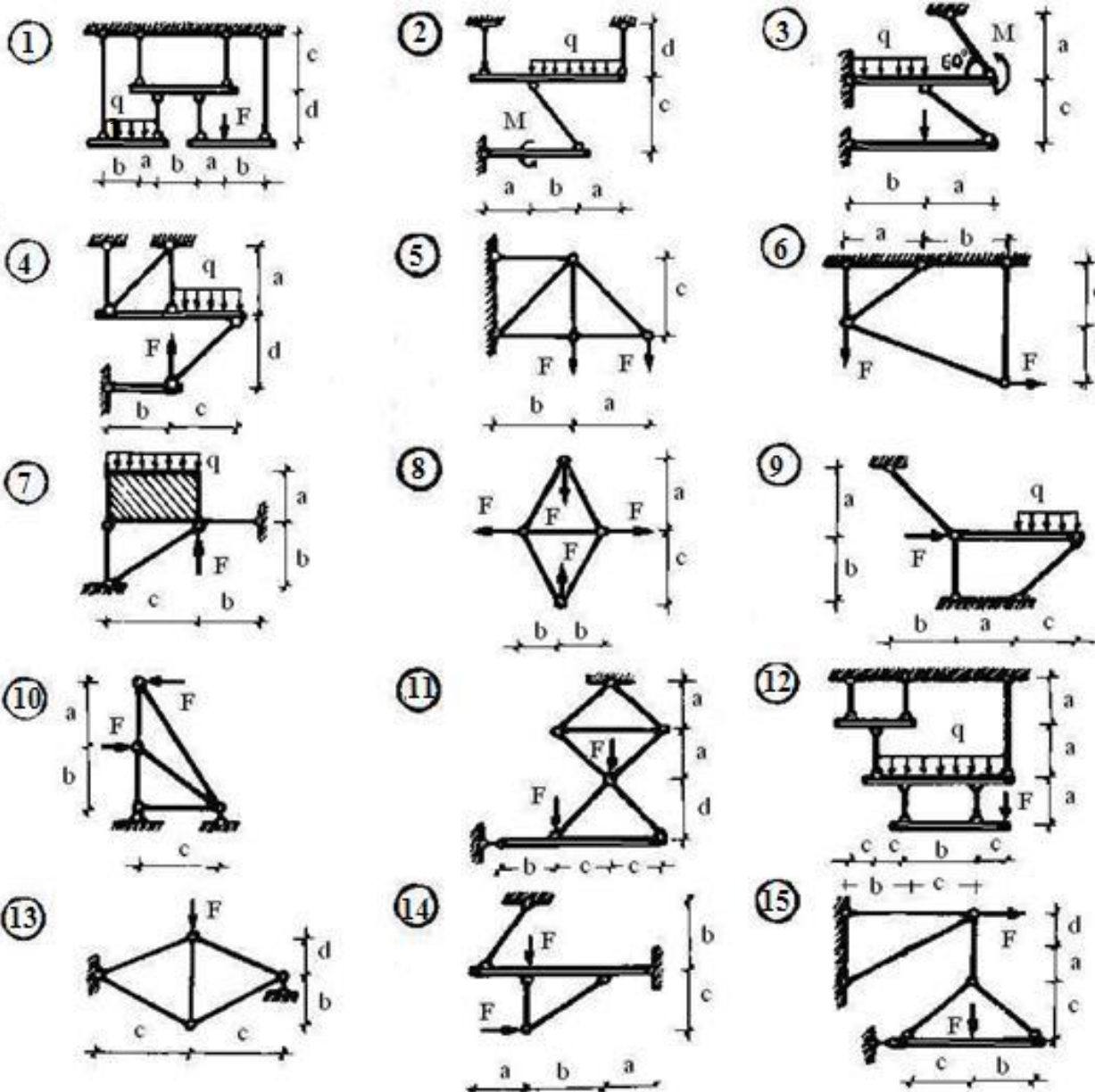
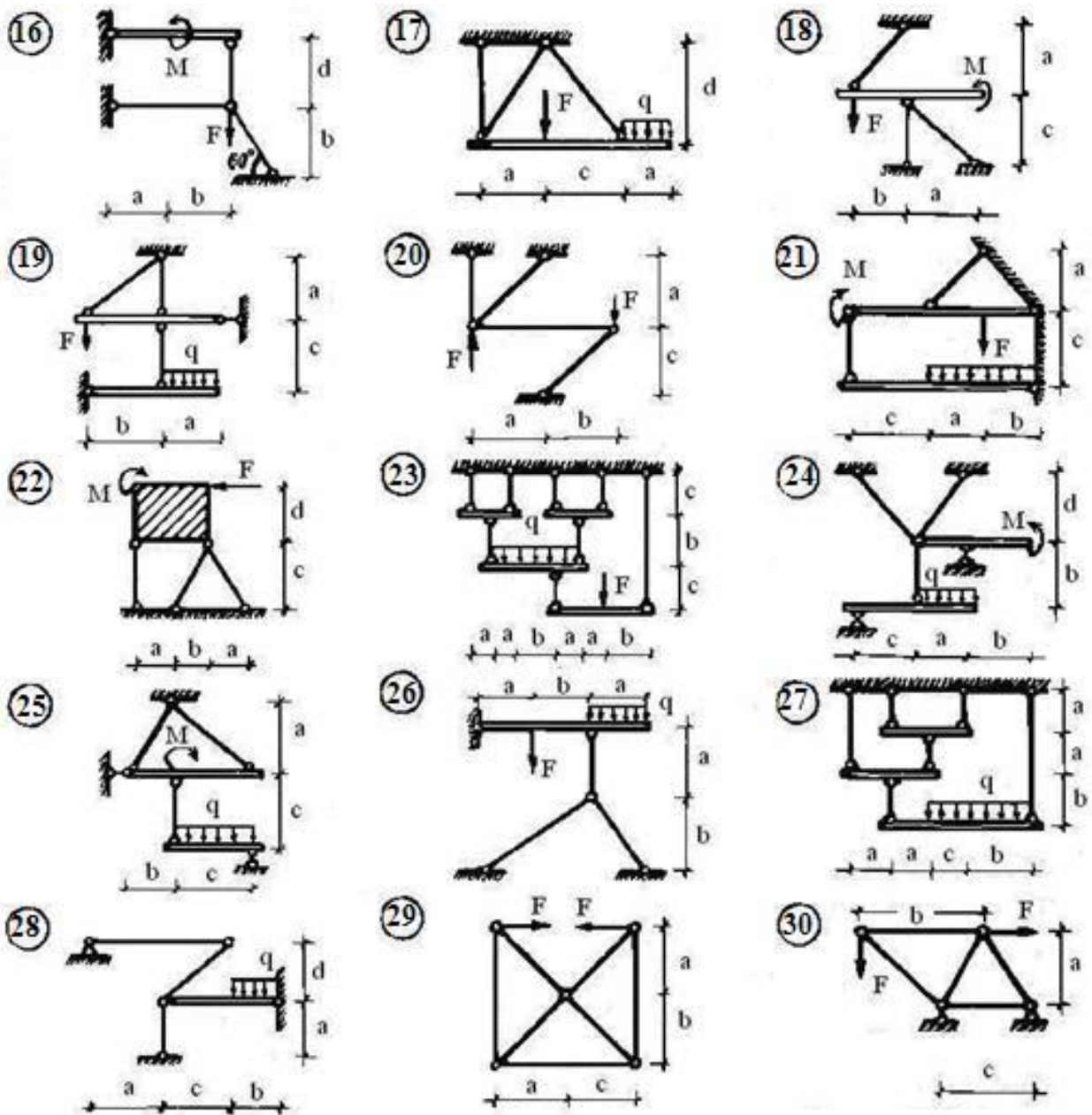


Рисунок 1 – Схеми до завдання 1



Продовження рисунка 1

Завдання 2. Розрахунок статично визначених систем, що мають деформації розтягу й стиску (дод. А –В).

Для заданого стержня (рис. 2) (враховуючи його власну вагу) визначити зусилля і напруження на кожній ділянці; побудувати епюру поздовжніх сил, нормальних напружень; знайти деформацію (переміщення) перерізу I–I. Потрібні дані взяти з таблиць 2, 3.

Порядок розв'язання задачі:

1. Накреслити розрахункові схему.

2. При визначенні поздовжніх зусиль у перерізах ступінчастого стержня необхідно скористатися методом перерізів. Уявно на кожній ділянці проводимо перерізи.

Відкидаючи одну з частин стержня і замінюючи її дію внутрішніми силами, складаємо рівняння рівноваги для залишеної частини, на яку діють зовнішні та внутрішні сили.

Поздовжнє зусилля є додатним, коли воно розтягує стержень, і від'ємним, коли його стискає.

3. Нормальні напруження в кожному перерізі визначаються відношенням поздовжнього зусилля до його площі:

$$\sigma_i = \frac{N_i}{A_i}.$$

4. Переміщення перерізу I–I визначають відносно нерухомого (закріпленого) перерізу, воно залежить від деформації частини стержня між перерізом I–I і місцем закріплення.

Подовження або скорочення цієї частини від зовнішньої сили знаходять

за формулою
$$\Delta L_F = \frac{F \cdot L}{E \cdot A}.$$

Подовження або скорочення цієї частини стержня від власної ваги

знаходять за формулою
$$\Delta L_G = \frac{G \cdot L}{2EA},$$

де G – власна вага ділянки;

L – довжина ділянки;

E – модуль пружності;

A – площа перерізу.

Вага частини стержня від перерізу I–I до вільного кінця розглядається, як зовнішнє навантаження, що діє в перерізі і спричиняє деформування стержня від перерізу до опори.

Таблиця 2 – Вихідні дані до завдання 2

Номер варіанта	$A_1,$ см ²	$A_2,$ см ²	$A_3,$ см ²	$L_1,$ м	$L_2,$ м	$L_3,$ м	$F_1,$ кН	$F_2,$ кН	$F_3,$ кН
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	8	12	12	3	3	2	4	7	8
2	10	15	8	2	2,5	3	3	5	6
3	15	16	10	4	2	3,5	5	3	5
4	20	10	12	5	4	2	7	4	6
5	25	18	20	3,5	3	4	6	4	5
6	30	20	10	2,5	4	3,5	5	3	4
7	10	12	8	4,5	2,5	3	9	2	7
8	15	16	15	3	2	4	10	8	6
9	20	15	10	5	3,5	2,5	9	10	8
10	25	10	20	4	3	2	10	7	9
11	8	8	12	3	3	3	4	4	7
12	10	10	15	2	2	2,5	3	3	5
13	15	15	16	4	4	2	5	5	3
14	20	20	10	5	5	4	7	7	4
15	25	25	18	3,5	3,5	3	6	6	4
16	30	30	20	2,5	2,5	4	5	5	4
17	10	10	12	4,5	4,5	2,5	9	9	3
18	15	15	16	3	3	2	10	10	5
19	20	20	15	5	4	3,5	4	9	7
20	25	25	10	4	2,5	3	3	10	6
21	10	8	12	3	2	3	5	4	5
22	18	10	15	3	3,5	2,5	7	3	9
23	20	15	16	4	3	2	6	5	10
24	12	20	10	2,5	5	4	5	7	9
25	16	25	18	2	3,5	3	9	6	10
26	15	30	20	3,5	2,5	4	10	5	5
27	10	10	12	3	4,5	2,5	9	9	9
28	16	15	16	3	3	2	10	10	10
29	15	20	15	5	5	3,5	9	9	9
30	10	25	10	4	4	3	10	10	10

Таблиця 3 – Механічні характеристики матеріалів

Матеріал	Сталь-3	Мідь	Латунь	Бронза	Бетон	Дуб
E , МПа	$2,1 \cdot 10^5$	$1,1 \cdot 10^5$	$0,9 \cdot 10^5$	$0,89 \cdot 10^5$	$0,18 \cdot 10^5$	$0,1 \cdot 10^5$
ρ , кН/м ³	78	89,4	85	85	24	5,3

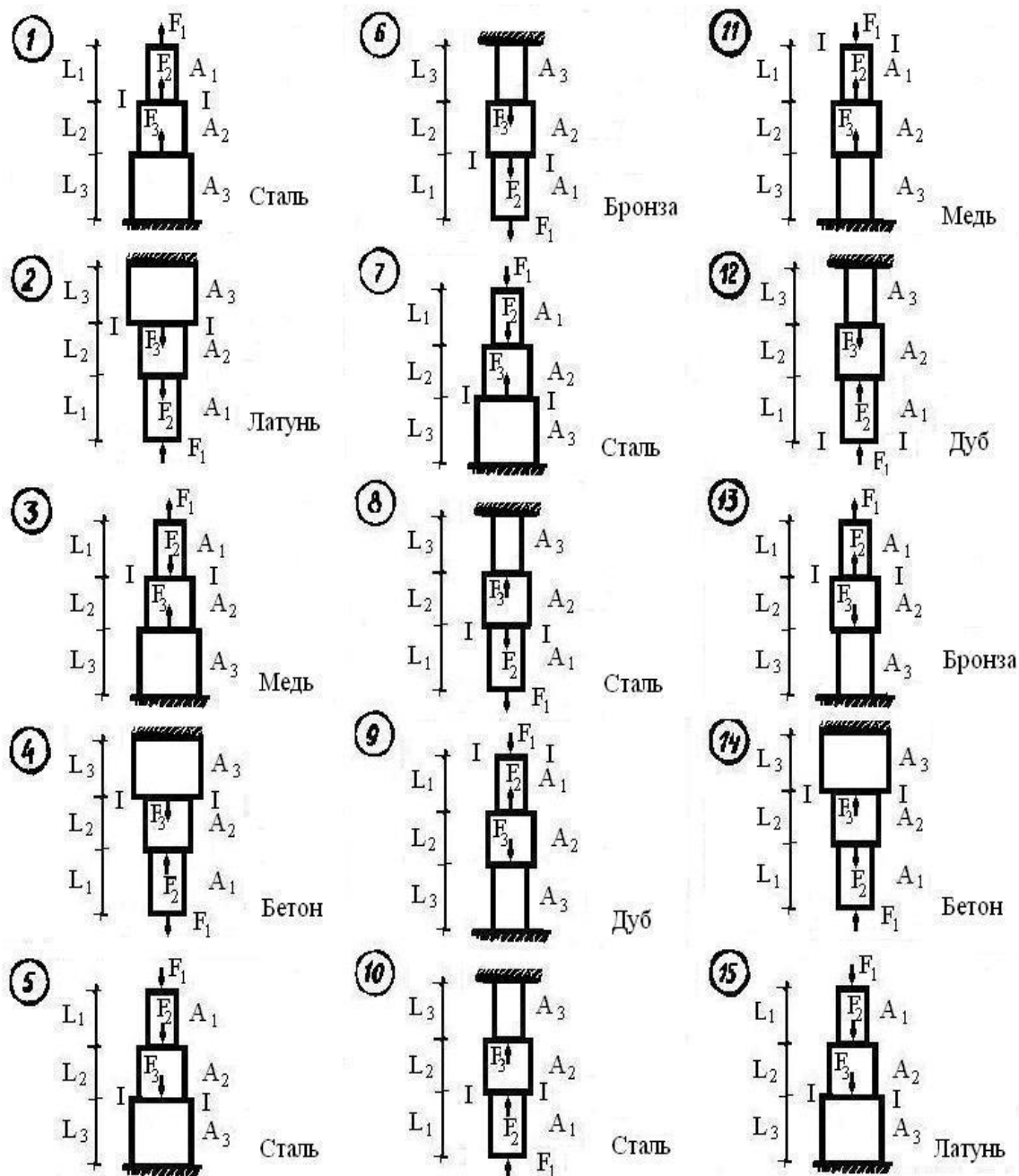
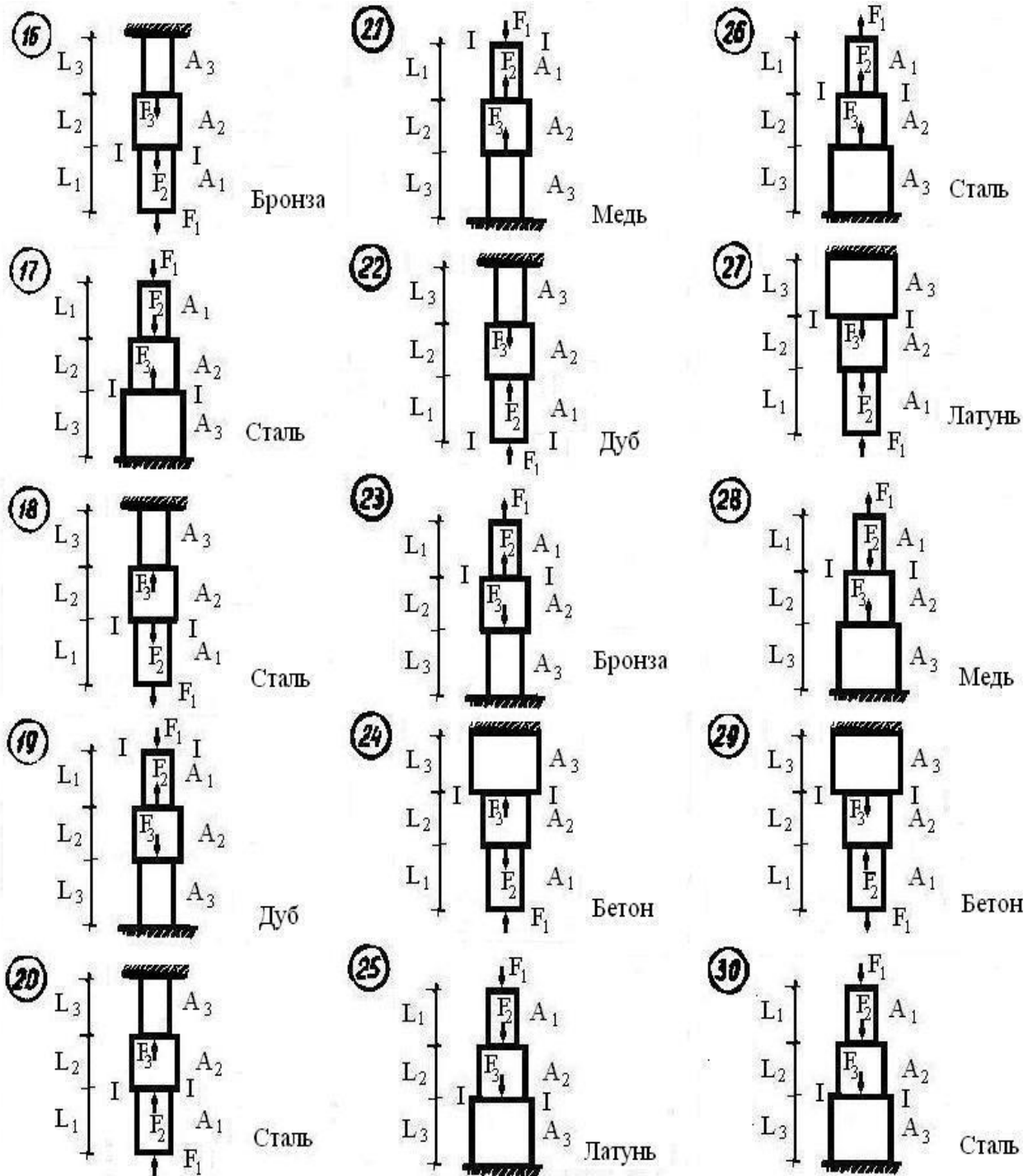


Рисунок 2 – Схеми до завдання 2



Продовження рисунка 2

Завдання 3. Розрахунок статично невизначених систем, що мають деформації розтягу й стиску.

Абсолютно жорсткий брус (рис. 3) опирається на нерухому опору і прикріплений шарнірно до двох стержнів. Треба знайти зусилля і напруження в сталевих стержнях (в частинах сили F); знайти допустиме навантаження $F_{дон}$, коли найбільше напруження дорівнює допустимому, $[\sigma] = 160$ МПа.

Потрібні дані взяти з таблиці 4.

Порядок розв'язання:

1. Накреслити розрахункову схему.

2. Записавши рівняння статичної рівноваги системи, знайти показник статичної невизначеності задачі, тобто кількість зайвих невідомих прирівняти до числа реальних рівнянь статички. Недостатньою умовою має бути рівняння сумісності деформацій (переміщень) стержня. Це рівняння та рівняння статички (після визначення переміщень через зусилля за законом Гука) визначають зусилля у стержнях в частках сили F .

3. За умовою міцності необхідно визначити напруження у стержнях в частках зовнішнього навантаження F і обмежити одержані напруження допустимими. Знайти допустимі навантаження для кожного стержня i , проаналізувавши їх, визначити допустиме навантаження для всієї системи.

Таблиця 4 – Вихідні дані до завдання 3

Номер	$A_1,$	$A_2,$	$a,$	$b,$	$c,$	$d,$
1	2	3	4	5	6	7
1	20	30	1	4	3	4
2	10	20	2	3	2	3
3	15	10	3	2	1	2
4	10	15	4	1	4	1

Продовження таблиці 4

1	2	3	4	5	6	7
5	20	5	5	3	2	1
6	15	10	4	2	1	2
7	20	15	3	4	3	3
8	10	20	2	1	2	4
9	10	10	1	4	2	1
10	15	20	3	3	3	3
11	5	20	5	3	1	3
12	10	10	4	5	3	2
13	15	15	3	4	3	4
14	20	10	2	3	2	1
15	10	20	1	2	4	4
16	20	10	3	1	1	4
17	20	15	3	3	4	3
18	10	10	2	3	4	2
19	20	10	4	2	3	1
20	20	10	1	1	2	3
21	10	15	4	3	1	2
22	15	5	4	3	3	1
23	10	10	3	2	2	3
24	10	15	2	4	1	3
25	15	20	1	1	3	2
26	5	10	3	4	3	4
27	10	20	2	4	2	1
28	15	15	4	3	4	4
29	20	5	1	2	1	4
30	15	10	4	1	4	3

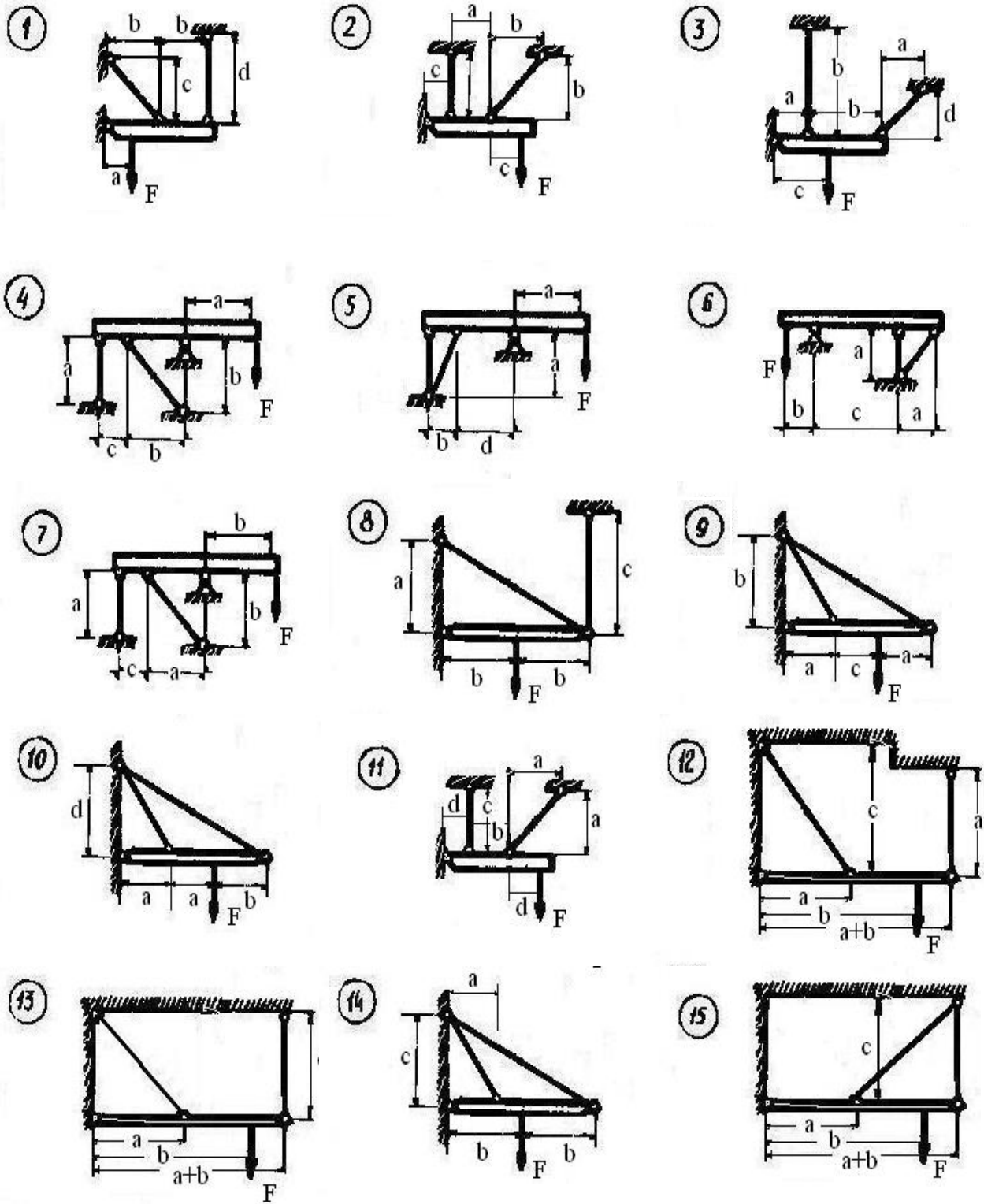
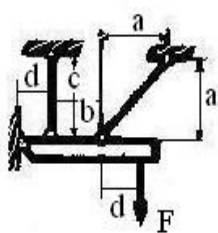
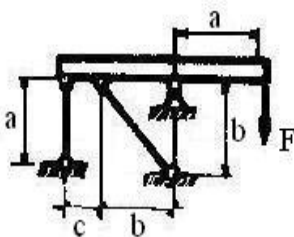


Рисунок 3 – Схеми до завдання 3

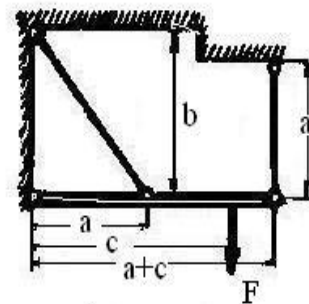
16



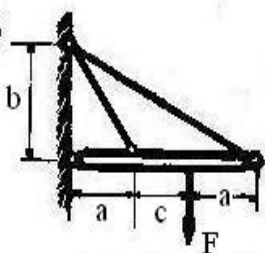
21



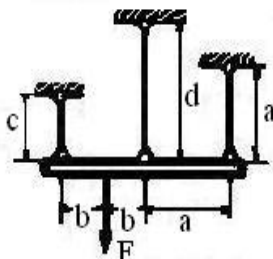
26



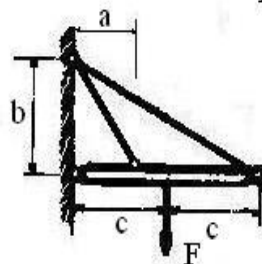
17



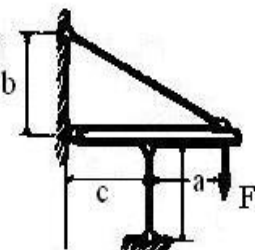
22



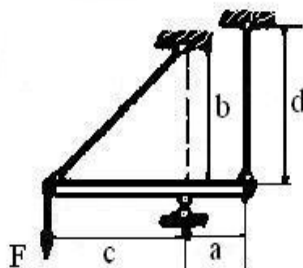
27



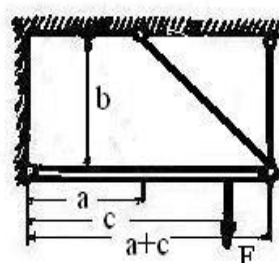
18



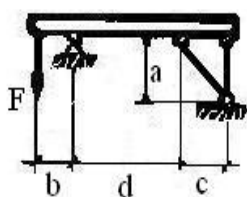
23



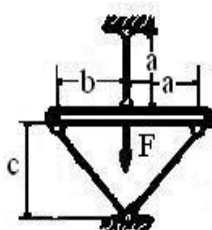
28



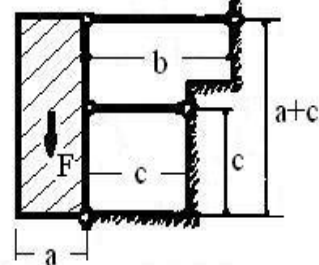
19



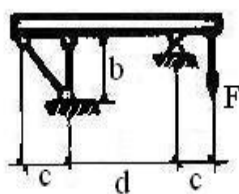
24



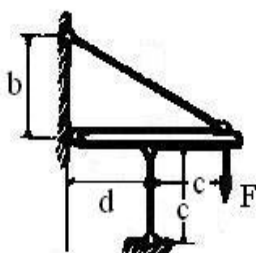
29



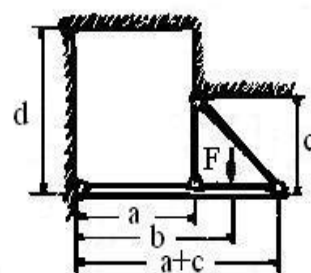
20



25



30





Продовження рисунка 3

3 ПРИКЛАДИ РОЗРАХУНКІВ

Задача № 1

Вихідні дані:

Переріз ①	Переріз ②	a , м	b , м	c , м	$[\sigma]$, кН/см ²	F , кН
		2	4	3	16	40

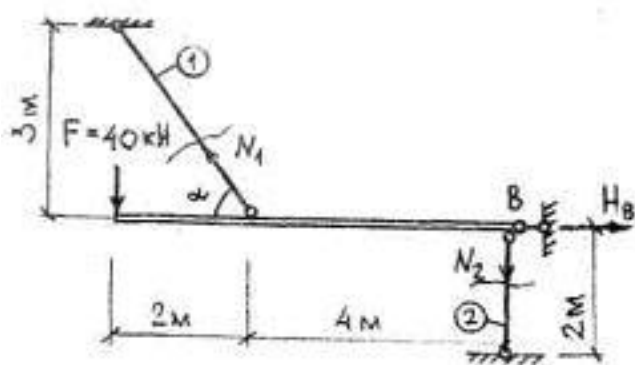


Рисунок 4

$$\sin \alpha = \frac{3}{\sqrt{3^2 + 2^2}} = \frac{3}{\sqrt{13}} = 0,775;$$

$$\cos \alpha = \frac{2}{\sqrt{13}} = 0,517.$$

I. Рівняння рівноваги:

$$\left. \begin{aligned} \sum x = 0, \quad -N_1 \cos \alpha + H_B &= 0 \\ \sum y = 0, \quad N_1 \sin \alpha - N_2 - F &= 0 \\ \sum M_B = 0, \quad N_1 \sin \alpha \cdot 4 + F \cdot 6 &= 0 \end{aligned} \right\} (1)$$

$$N_1 = \frac{F \cdot 6}{\sin \alpha \cdot 4} = \frac{40 \cdot 6}{0,775 \cdot 4} = 77,4 \text{ кН.}$$

$$N_2 = N_1 \cdot \sin \alpha - F = 77,4 \cdot 0,775 - 40 = 19,98 \text{ кН.}$$

II. Умова міцності при розтягу-стиску:

$$\sigma = \frac{N}{A} \leq [\sigma] \rightarrow A \geq \frac{N}{[\sigma]}. \quad (2)$$

$$A_1 \geq \frac{N_1}{[\sigma]} = \frac{77,4}{16} = 4,84 \text{ см}^2; \quad A'_1 = \frac{A_1}{2} = 2,42 \text{ см}^2;$$

$$A'_1 = 2,43 \text{ см}^2; \quad \text{L № 3,2.}$$

$$A_2 \geq \frac{N_2}{[\sigma]} = \frac{19,98}{16} = 1,25 \text{ см}^2; \quad a_2 = \sqrt{A_2} = \sqrt{1,25} = 1,118 \text{ см.}$$

Задача № 2

Абсолютно жорсткий брус BC спирається на шарнірну опору і шарнірно прикріплений до двох стержнів BD і CK (рис. 5, а). Визначити зусилля і напруження в стержнях (в частках від сили F), знайти допустиме навантаження F , користуючись умовами міцності при розтягу-стиску. Вихідні дані: $[\sigma] = 160$ МПа, $\alpha = 45^\circ$, $l_1 = 2$ м, $l_2 = 2,82$ м, $a = 2$ м, $b = 3$ м, $c = 1$ м, $A_1 = 10 \text{ см}^2 = 1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$, $A_2 = 20 \text{ см}^2 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$.

Розв'язання. Переріжемо, стержні KC і BD. Дію відкинутих частин системи замінимо зусиллями в стержнях N_1 і N_2 , спрямованими вздовж цих стержнів. Реакція опори A має горизонтальну складову H_A і вертикальну R_A , тому що ця опора обмежує вертикальні і горизонтальні переміщення точки A. Таким чином, маємо чотири невідомих, а рівнянь рівноваги для плоскої системи можна скласти тільки три. Отже, ця система один раз статично невизначена і для розв'язання задачі треба скласти одне додатне рівняння. За умовою задачі необхідно визначити зусилля N_1 і N_2 сталених стержнів BD і KC, а реакції H_A і R_A визначати непотрібно. Тому достатньо з трьох можливих рівнянь рівноваги використати одне, до якого б не входили реакції H_A і R_A . Таким рівнянням є сума моментів всіх сил відносно шарніра A:

$$\sum M_A = 0; \quad N_2 \sin \alpha (a + c) - Fb + N_1(b + c) = 0. \quad (3)$$

Для складання додатного рівняння розглянемо деформацію системи. На рисунку 5, б штриховою лінією позначена вісь бруса після деформації системи. Ця вісь залишається прямолінійною (брус абсолютно жорсткий), не деформується, а лише може обернутися навколо точки A. Шарніри B і C після деформації переходять в положення B_1 і C_1 відповідно, тобто переміщуються вершинами. Із подібності трикутників BB_1A і CC_1A знаходимо:

$$\frac{BB_1}{BA} = \frac{CC_1}{AC}. \quad (4)$$

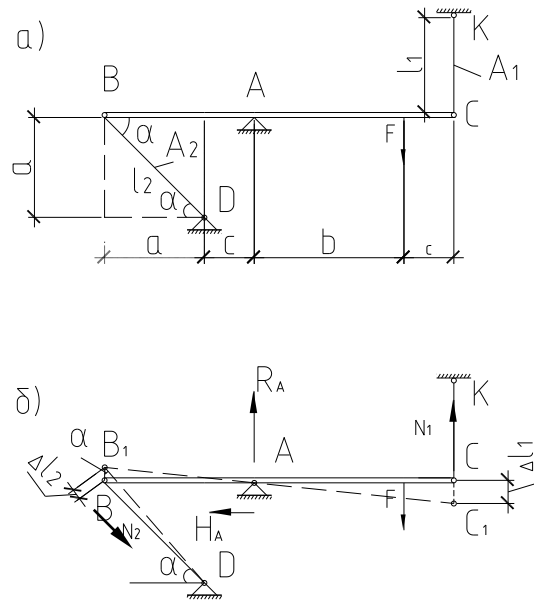


Рисунок 5

Подовження $\Delta L_1 = CC_1$, $\Delta L_2 = BB_1 \cdot \cos\alpha$, де $BB_1 = \frac{\Delta L_2}{\cos\alpha}$. (5)

Підставимо вираз (5) у (4): $\frac{\Delta L_2}{\cos\alpha(a+c)} = \frac{\Delta L_1}{b+c}$. (6)

За законом Гука, $\Delta L_1 = \frac{N_1 L_1}{EA_1}$; $\Delta L_2 = \frac{N_2 L_2}{EA_2}$; (7)

і на підставі рівності (6) маємо: $\frac{N_2 L_2}{EA_2 \cos\alpha(a+c)} = \frac{N_1 L_1}{EA_1(b+c)}$;

або $N_2 L_2 A_1 (b+c) - N_1 L_1 A_2 \cos\alpha(a+c) = 0$. (8)

Розв'язавши рівняння сумісності деформацій (8), за рівнянням рівноваги (3) знайдемо значення поздовжніх сил N_1 і N_2 , записаних через навантаження F :

$$N_2 = N_1 \frac{L_1 A_2 \cos\alpha(a+c)}{L_2 A_1 (b+c)}; \quad (9)$$

$$N_1 \left(\frac{L_1 A_2 \cos\alpha(a+c)}{L_2 A_1 (b+c)} \right) \sin\alpha(a+c) + N_1 (b+c) = F \cdot b; \quad (10)$$

$$N_1 = \frac{F \cdot b}{K \sin\alpha(a+c) + (b+c)};$$

де

$$K = \frac{L_1 A_2 \cos \alpha (a + c)}{L_2 A_1 (b + c)}; \quad K = \frac{2 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \frac{\sqrt{2}}{2} (2 + 1)}{2,82 \cdot 10^{-3} (3 + 1)} = 0,75; \quad (11)$$

Підставивши (10) в (9), одержимо вираз

$$N_2 = \frac{KFb}{K \sin \alpha (a + c) + (b + c)}. \quad (12)$$

Підставимо числові значення в одержані формули (10) і (12):

$$N_1 = \frac{F \cdot 3}{\left(0,75 \frac{\sqrt{2}}{2} (2 + 1) + (3 + 1)\right)} = F \cdot 0,418;$$
$$N_2 = \frac{0,75 \cdot F \cdot 3}{\left(0,75 \frac{\sqrt{2}}{2} (2 + 1) + (3 + 1)\right)} = F \cdot 0,313;$$

Запишемо напруження в частках сили F:

$$\sigma_1 = \frac{N_1}{A_1} = \frac{0,418}{10^{-3}} \cdot F = 0,418 \cdot 10^3 F \text{ [кН/м}^2\text{]},$$
$$\sigma_2 = \frac{N_2}{A_2} = \frac{0,313}{2 \cdot 10^{-3}} \cdot F = 0,156 \cdot 10^3 F \text{ [кН/м}^2\text{]}.$$

Оскільки перший стержень більш завантажений ($\sigma_1 > \sigma_2$), користуючись умовою міцності визначимо допустиме навантаження:

$$\sigma_1 = 0,418 \cdot 10^3 F \leq [\sigma];$$
$$F_{\text{дон}} = \frac{160 \cdot 10^3}{418} = 0,382 \cdot 10^3 \text{ кН.}$$

4 КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОГО ЗАВДАННЯ

За розрахунково-графічне завдання (РГЗ) студент отримує максимальну оцінку, якщо воно виконане у відведений термін (3 тижні з моменту видачі завдання), із використанням комп'ютерної техніки, акуратно оформлене, містить аналіз отриманих результатів.

У разі виконання РГЗ без використання комп'ютера або затримки виконання на 2 тижні (з використанням комп'ютера) студент отримує 90 % від максимальної оцінки. При виконанні РГЗ із затримкою більш ніж на 2 тижні студент отримує 80 % від максимальної оцінки, із затримкою понад місяць – 60 % від максимальної оцінки.

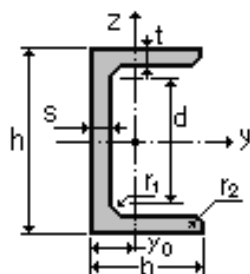
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Опір матеріалів. Частина 1. Опір матеріалів стержневих елементів конструкцій при базових навантаженнях [Електрон. ресурс] : конспект лекцій для студентів 1–2 курсів денної та заочної форм навчання за спеціальностями 192 – Будівництво та цивільна інженерія, 185 – Нафтогазова інженерія та технології / В. П. Шпачук, О. О. Чупринін, Н. В. Середа, В. О. Складаров ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Електрон. текст. дані. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 115 с. – Режим доступу: <http://eprints.kname.edu.ua/52665/>, вільний (дата звернення: 21.03.2024). – Назва з екрана.

2. Опір матеріалів. Частина 2. Опір матеріалів стержневих елементів конструкцій при складних навантаженнях [Електрон. ресурс] : конспект лекцій з дисциплін «Опір матеріалів», «Опір матеріалів та будівельна механіка», «Основи теорії споруд» для студентів денної і заочної форм навчання бакалаврів за напрямками 6.060101 «Будівництво», 6.060102 «Архітектура», 6.060103 «Гідротехніка (Водні ресурси)» / В. П. Шпачук, Л. С. Андрієвська, Н. В. Середа, О. О. Чупринін ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Електрон. текст. дані. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2014. – 93 с. – Режим доступу: <http://eprints.kname.edu.ua/36721/>, вільний (дата звернення: 21.03.2024). – Назва з екрана.

ДОДАТОК А

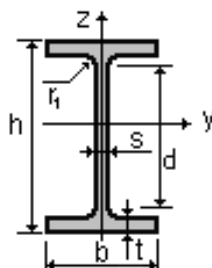
Швеллер за ДСТУ 8240-89



№ з/п	h см	b см	s см	t см	r_1 см	r_2 см	A см ²	P Т/М	I_y см ⁴	W_y см ³	i_y см	S_y см ³	y_0 см
8	8,00	4,0	0,45	0,74	0,65	0,25	8,98	0,007	89,4	22,4	3,160	23,300	1,310
10	10,0	4,6	0,45	0,76	0,70	0,30	10,9	0,009	174	34,8	3,990	20,400	1,440
12	12,0	5,2	0,48	0,78	0,75	0,30	13,3	0,010	304	50,6	4,780	29,600	1,540
14	14,0	5,8	0,49	0,81	0,80	0,30	15,6	0,012	491	70,2	5,600	40,800	1,670
16	16,0	6,4	0,50	0,84	0,85	0,35	18,1	0,014	747	93,4	6,420	54,100	1,800
18	18,0	7,0	0,51	0,87	0,90	0,35	20,7	0,016	1090	121,0	7,240	69,800	1,940
20	20,0	7,6	0,52	0,90	0,95	0,40	23,4	0,018	1520	152,0	8,070	87,800	2,070
22	22,0	8,2	0,54	0,95	1,00	0,40	26,7	0,021	2110	192,0	8,890	110,000	2,210
24	24,0	9,0	0,56	1,00	1,05	0,40	30,6	0,024	2900	242,0	9,730	139,000	2,420
27	27,0	9,5	0,60	1,05	1,10	0,45	35,2	0,028	4160	308,0	10,900	178,000	2,470
30	30,0	10,0	0,65	1,10	1,20	0,50	40,5	0,032	5810	387,0	12,000	224,000	2,520
40	40,0	11,5	0,80	1,35	1,50	0,60	61,5	0,048	15220	761,0	15,700	444,000	2,750

ДОДАТОК Б

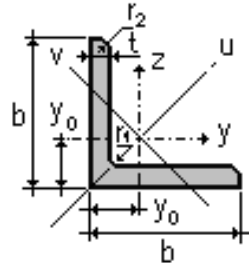
Двогавр за ДСТУ 8239-89



№ з/п	h	b	s	t	r_1	r_2	A	P	I_y	W_y	i_y	S_y
	см	см	см	см	см	см	см ²	Т/м	см ⁴	см ³	см	см ³
10	10,0	5,5	0,450	0,720	0,700	0,250	12,0	0,009	198,0	39,700	4,060	23,000
12	12,0	6,4	0,480	0,730	0,750	0,300	14,7	0,012	350,0	58,400	4,880	33,700
14	14,0	7,3	0,490	0,750	0,800	0,300	17,4	0,014	572,0	81,700	5,730	46,800
16	16,0	8,1	0,500	0,780	0,850	0,350	20,2	0,016	873,0	109,000	6,570	62,300
18	18,0	9,0	0,510	0,810	0,900	0,350	23,4	0,018	1290,0	143,000	7,420	81,400
20	20,0	10,0	0,520	0,840	0,950	0,400	26,8	0,021	1840,0	184,000	8,280	104,000
22	22,0	11,0	0,540	0,870	1,000	0,400	30,6	0,024	2550,0	232,000	9,130	131,000
24	24,0	11,5	0,560	0,950	1,050	0,400	34,8	0,027	3460,0	289,000	9,970	163,000
27	27,0	12,5	0,600	0,980	1,100	0,450	40,2	0,032	5010,0	371,000	11,200	210,000
30	30,0	13,5	0,650	1,020	1,200	0,500	46,5	0,037	7080,0	472,000	12,300	268,000
33	33,0	14,0	0,700	1,120	1,300	0,500	53,8	0,042	9840,0	597,000	13,500	339,000
36	36,0	14,5	0,750	1,230	1,400	0,600	61,9	0,049	13380	743,000	14,700	423,000
40	40,0	15,5	0,830	1,300	1,500	0,600	72,600	0,057	19062	953,000	16,200	545,000
45	45,0	16,0	0,900	1,420	1,600	0,700	84,700	0,067	27696	1231,00	18,100	708,000
50	50,0	17,0	1,000	1,520	1,700	0,700	100,00	0,078	39727	1589,00	19,900	919,000
55	55,0	18,0	1,100	1,650	1,800	0,700	118,00	0,093	55962	2035,00	21,800	1181,00
60	60,0	19,0	1,200	1,780	2,000	0,800	138,00	0,108	76806	2560,00	23,600	1491,00

ДОДАТОК В

Кутик рівнобічний за ДСТУ 8509-93



Номер	b	t	r_1	r_2	A	$I_y=I_z$	W_y	i_y	I_u	i_u	I_v	W_v	i_v	I_{yz}	y_0	P
	см	см	см	см	см ²	см ⁴	см ³	см	см ⁴	см	см ⁴	см ³	см	см ⁴	см	Т/м
L50 × 5	5,000	0,500	0,550	0,180	4,800	11,20	3,130	1,530	17,77	1,920	4,630	2,300	0,980	6,570	1,420	0,004
L63 × 5	6,300	0,500	0,700	0,230	6,130	23,10	5,050	1,940	36,80	2,440	9,520	3,870	1,250	13,70	1,740	0,005
L70 × 5	7,000	0,500	0,800	0,270	6,860	31,94	6,270	2,160	50,67	2,720	13,22	4,920	1,390	18,70	1,900	0,005
L75 × 6	7,500	0,600	0,900	0,300	8,780	46,57	8,570	2,300	73,87	2,900	19,28	6,620	1,480	27,30	2,060	0,007
L80 × 6	8,000	0,600	0,900	0,300	9,380	56,97	9,800	2,470	90,40	3,110	23,54	7,600	1,580	33,40	2,190	0,007
L90 × 6	9,000	0,600	1,000	0,330	10,61	82,10	12,49	2,780	130,0	3,500	33,97	9,880	1,790	48,10	2,430	0,008
L90 × 7	9,000	0,700	1,000	0,330	12,28	94,30	14,45	2,770	149,7	3,490	38,94	11,15	1,780	55,40	2,470	0,010
L100 × 7	10,00	0,700	1,200	0,400	13,75	130,6	17,90	3,080	207,0	3,880	54,16	14,13	1,980	76,40	2,710	0,011
L100 × 8	10,00	0,800	1,200	0,400	15,60	147,2	20,30	3,070	233,5	3,870	60,92	15,66	1,980	86,30	2,750	0,012
L110 × 8	11,00	0,800	1,200	0,400	17,20	198,2	24,77	3,390	314,5	4,280	81,83	19,29	2,180	116,0	3,000	0,013
L125 × 8	12,50	0,800	1,400	0,460	19,69	294,4	32,20	3,870	466,8	4,870	122,0	25,67	2,490	172,0	3,360	0,015
L125 × 9	12,50	0,900	1,400	0,460	22,00	327,5	36,00	3,860	520,0	4,860	135,9	28,26	2,480	192,0	3,400	0,017
L140 × 9	14,00	0,900	1,400	0,460	24,72	465,7	45,55	4,340	739,4	5,470	192,0	35,92	2,790	274,0	3,780	0,019
L140 × 10	14,00	1,000	1,400	0,460	27,33	512,3	50,32	4,330	813,6	5,460	211,0	39,05	2,780	301,0	3,820	0,021
L160 × 10	16,00	1,000	1,600	0,530	31,43	774,2	66,19	4,960	1229	6,250	319,4	52,52	3,190	455,0	4,300	0,025
L160 × 11	16,00	1,100	1,600	0,530	34,42	844,2	72,44	4,950	1340	6,240	347,8	56,53	3,180	496,0	4,350	0,027
L160 × 16	16,00	1,600	1,600	0,530	49,07	1175	102,6	4,890	1865	6,170	484,6	75,92	3,140	690,0	4,550	0,039
L180 × 11	18,00	1,100	1,600	0,530	38,80	1216	92,47	5,600	1933	7,060	499,8	72,86	3,590	716,0	4,850	0,030
L180 × 12	18,00	1,200	1,600	0,530	42,19	1316	100,4	5,590	2092	7,040	540,4	78,15	3,580	776,0	4,890	0,033
L200 × 12	20,00	1,200	1,800	0,600	47,10	1822	124,6	6,220	2896	7,840	749,4	98,68	3,990	1073	5,370	0,037
L200 × 14	20,00	1,400	1,800	0,600	54,60	2097	144,2	6,200	3333	7,810	861,0	111,5	3,970	1236	5,460	0,043
L200 × 25	20,00	2,500	1,800	0,600	94,29	3466	245,6	6,060	5494	7,630	1438	172,7	3,910	2028	5,890	0,074
L200 × 30	20,00	3,000	1,800	0,600	111,5	4019	288,5	6,000	6351	7,550	1698	193,0	3,890	2332	6,070	0,088
L220 × 16	22,00	1,600	2,100	0,700	68,58	3175	198,7	6,800	5045	8,580	1305	153,3	4,360	1869	6,020	0,054
L250 × 16	25,00	1,600	2,400	0,800	78,40	4717	258,4	7,760	7492	9,780	1942	203,4	4,980	2775	6,750	0,062
L250 × 20	25,00	2,000	2,400	0,800	96,96	5764	318,6	7,710	9159	9,720	2370	242,5	4,940	3395	6,910	0,076

Електронне навчальне видання

Методичні рекомендації і завдання
для практичних занять, виконання контрольних
і розрахунково-графічних завдань, самостійної роботи
«РОЗТЯГ-СТИСК»
з курсу «ОПР МАТЕРІАЛІВ»

*(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та заочної
форм навчання зі спеціальностей 185 – Нафтогазова інженерія та технології,
192 – Будівництво та цивільна інженерія,
194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології)*

Укладачі: **ШПАЧУК** Володимир Петрович,
ЧУПРИНІН Олександр Олексійович,
ГАРБУЗ Алла Олегівна,
СКЛЯРОВ В'ячеслав Олександрович,
СУПРУН Тетяна Олександрівна

Відповідальний за випуск *В. П. Шпачук*
Редактор *О. А. Норик*
Комп'ютерне верстання *О. О. Чупринін*

План 2023, поз. 102М

Підп. до друку 24.04.2024. Формат 60 × 84/16.
Ум. друк. арк. 1,6.

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