

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства та
природокористування

Навчально-науковий інститут будівництва та архітектури
Кафедра мостів і тунелів, опору матеріалів
і будівельної механіки

03-05-119М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять та виконання самостійних завдань з
навчальної дисципліни
«Опір матеріалів та будівельна механіка»
для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня
за освітньо-професійною програмою «Гідротехнічне
будівництво, водна інженерія та водні технології» спеціальності
194 «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні
технології» всіх форм навчання

Рекомендовано науково-
методичною радою з якості
ННІ енергетики, автоматики та
водного господарства
Протокол № 9 від 21.05.2024 р.

Рівне – 2024

Методичні вказівки до практичних занять та виконання самостійних завдань з навчальної дисципліни «Опір матеріалів та будівельна механіка» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології» спеціальності 194 «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології» всіх форм навчання. [Електронне видання] / Гуртовий О. Г., Тинчук С. О. – Рівне : НУВГП, 2024. – 32 с.

Укладачі: Гуртовий О. Г., кандидат технічних наук, доцент кафедри мостів і тунелів, опору матеріалів і будівельної механіки; Тинчук С. О., кандидат технічних наук, доцент кафедри мостів і тунелів, опору матеріалів і будівельної механіки.

Відповідальний за випуск: Трач В. М., доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри мостів і тунелів, опору матеріалів і будівельної механіки.

Керівник (гарант) ОП

Хлапук М. М., д.т.н., професор

Попередня версія методичних вказівок – 03-05-55.

© О. Г. Гуртовий,
С. О. Тинчук, 2024
© НУВГП, 2024

З М І С Т

	стор.
<i>Передмова</i>	4
1. Центральний розтяг (стиск) бруса. <i>Задача 1. Розрахунок на міцність при центральному розтязі (стиску) стержнів греблі</i>	5
<i>Задача 2. Розрахунок східчастого бруса (стрижня) при центральному розтязі чи стиску</i>	7
2. Зсув. Зріз. <i>Задача 3. Розрахунок на міцність вузлового з'єднання стрижня заклепками та електрозварюванням</i>	9
3. Прямий згин балок. <i>Задача 4. Побудова епюр поперечних сил та згинних моментів для статично визначних балок і розрахунок їх на міцність</i>	13
4. Складний опір бруса. <i>Задача 5. Розрахунок бруса на міцність при позацентровому стиску</i>	16
5. Стійкість центрально стиснутих стержнів. <i>Задача 6. Розрахунок центрально стиснутого стержня на стійкість</i>	19
6. Розрахунок статично визначних стержневих систем. <i>Задача 7. Розрахунок плоскої статично визначної ферми</i>	22
<i>Задача 8. Розрахунок статично визначної рами</i>	27
7. Розрахунок статично невизначних стержневих систем. <i>Задача 9. Розрахунок статично невизначної рами методом сил</i>	30
<i>Література</i>	32

ПЕРЕДМОВА

Практична діяльність бакалавра-гідротехніка потребує знань про роботу елементів конструкцій під силовим впливом, вміння раціонально обрати матеріал для конструкцій та засоби підвищення їх надійності, довговічності та економічності.

Для набуття навичок розв'язання професійних задач при проектуванні елементів водогосподарських мереж та споруд студенти окрім проведення практичних занять навчальної дисципліни «Опір матеріалів та будівельна механіка» потребують виконання самостійної роботи у вигляді індивідуального завдання, передбаченого робочою програмою.

Кожний студент самостійно виконує завдання, варіант та вихідні дані до якого вибирає за індивідуальним шифром із трьох цифр, який йому видає викладач, та першими трьома літерами алфавіту, розташованими під шифром, наприклад:

3	1	2
<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>

Числові значення вихідних даних до кожного варіанта потрібно вибирати із вказаної в тексті задачі таблиці на перетині відповідних цифр і літер шифру. Якщо, наприклад, шифр студента 312, то дані до задачі 1 з таблиці 1.1 будуть такі: $b = 2,2\text{м}$; $l = 1,2\text{м}$; $h_1 = 3,3\text{м}$; $h_2 = 1,8\text{м}$; $a = 1\text{м}$; форма перерізу – квадрат.

Виконання завдання рекомендується розпочати із ретельного вивчення відповідного теоретичного матеріалу, умови задачі, послідовності її розв'язку та методичних вказівок до неї.

Розв'язок потрібно обов'язково супроводжувати відповідними поясненнями та малюнками.

Оформлення виконаної самостійної роботи здійснюється на аркушах паперу формату А4 або в зошитах.

При розв'язанні задач всі арифметичні обчислення вести, зберігаючи не більш трьох значущих цифр.

Необхідно вказувати розмірність одержаних величин.

На кресленнях, схемах чи графіках потрібно вказувати в числах основні величини, які зустрічаються в розрахунках.

1. ЦЕНТРАЛЬНИЙ РОЗТЯГ (СТИСК) БРУСА

Задача 1. Розрахунок на міцність при центральному розтязі (стиску) стержнів греблі

Умова задачі. Прямокутний щит греблі BC (рис.1.1а,б) шириною b з'єднано шарнірно з дном споруди, а зверху підтримується двома однаковими дерев'яними стержнями 1 і 2 довжиною l . Глибина води попереду щита – h_1 , а позаду – h_2 .

Необхідно: 1). З умови міцності стержнів 1 і 2 підібрати розміри заданих поперечних перерізів, якщо: $\sigma_{adm}^t = 7 \text{ МПа}$, $\sigma_{adm}^c = 10 \text{ МПа}$;

2). Визначити горизонтальне переміщення верхньої грані щита греблі.

Дані до задачі взяті з табл.1.1.

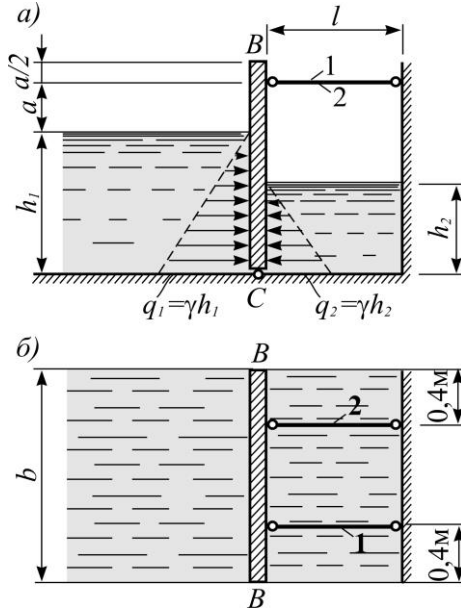


Рис.1.1. Схема греблі

Послідовність розв'язання задачі.

1. Визначити компоненти навантаження, що діють на щит греблі, а саме рівнодійні гідростатичних тисків води. Питома вага води $\gamma = 10 \text{ кН/м}^3$.

2. З умови рівноваги споруди греблі визначити внутрішні сили в стержнях 1 і 2.

3. З умови міцності стержнів 1 і 2 на розтяг (стиск) підібрати розміри поперечних перерізів заданої форми.

4. Користуючись законом Гука, визначити абсолютне видовження (скорочення) стержнів 1 і 2. Модуль пружності прийняти рівним: $E = 1 \cdot 10^4$ МПа.

5. Розглянути zdeформований стан конструкції греблі і, використовуючи знання геометрії, визначити горизонтальне переміщення верхньої грані щита BC .

Примітка: деформацію щита греблі до уваги не приймати.

Література: [1] стор.36-42,82-87, 113-123; [2] стор.4-21; [3] стор.8-13, 16-25.

Таблиця 1.1.

Дані до задачі №1

№ рядка	b	l	h_1	h_2	a	Форма перерізу стержнів 1 і 2
	м					
1	2,0	1,0	3,0	1,5	1,0	круг
2	2,2	1,1	3,3	1,8	0,8	квадрат
3	2,4	1,2	3,6	2,1	0,6	круг
4	2,6	1,3	2,7	3,0	1,4	квадрат
5	2,8	1,4	2,4	2,7	1,2	круг
6	3,0	1,5	2,1	2,4	1,0	квадрат
7	2,8	1,4	2,4	3,0	1,4	круг
8	2,6	1,3	1,8	2,1	1,6	квадрат
9	2,4	1,2	3,0	1,8	1,2	круг
0	2,2	1,1	3,3	2,4	1,0	квадрат
	b	a	b		b	b

Задача 2. Розрахунок східчастого бруса (стрижня) при центральному розтязі чи стиску

Умова задачі. Для заданого стрижня (рис.1.2, 1.3, табл.1.2) побудувати епюру поздовжніх сил та визначити, виходячи із умови міцності, розміри поперечних перерізів на всіх трьох ділянках за умови, що відомими є матеріал та форма перерізу. Визначити подовження або зменшення довжини кожної ділянки та побудувати епюру переміщень поперечних перерізів стрижня.

Таблиця 1.2 (дані до задачі 2)

№ рядка	Схема (рис. 1.1)	Матеріал	Форма перерізу (рис.1.2)	F_1 , кН	F_2 , кН	F_3 , кН	a	b	c
							м		
1	0	сталь Ст.3	1	55	10	30	1	2	1,5
2	1	чавун	2	45	20	40	2	1	2
3	2	мідь	3	35	30	10	1,5	2,5	1,5
4	3	бронза	4	25	40	50	3	2	1
5	4	дуралюмін	1	15	50	40	2,5	3	2
6	5	мідь	2	25	40	20	2	1,5	2
7	6	сталь Ст.3	3	35	10	10	2	2	3
8	7	чавун	4	45	30	30	1	1,5	2
9	8	сталь Ст.3	3	15	50	40	3	1	2
0	9	бронза	4	55	20	50	1	2,5	3
	\bar{a}	\bar{a}	\bar{b}	\bar{a}	\bar{b}	\bar{a}	\bar{a}		

Послідовність розв'язання задачі.

1. Побудувати епюру поздовжніх сил (без врахування власної ваги бруса).
2. Визначити із умови міцності розміри перерізу бруса (стрижня) на кожній ділянці.
3. Побудувати епюру переміщень поперечних перерізів бруса (стрижня), не враховуючи його власної ваги.

Література: [1] стор.36-42,82-87, 113-123; [2] стор.4-21; [3] стор.8-13, 16-25.

В таблиці 1.3 наведено значення модуля пружності E , а також допустимої напруги при стиску σ_{adm}^c та при розтязі σ_{adm}^t для використаних матеріалів.

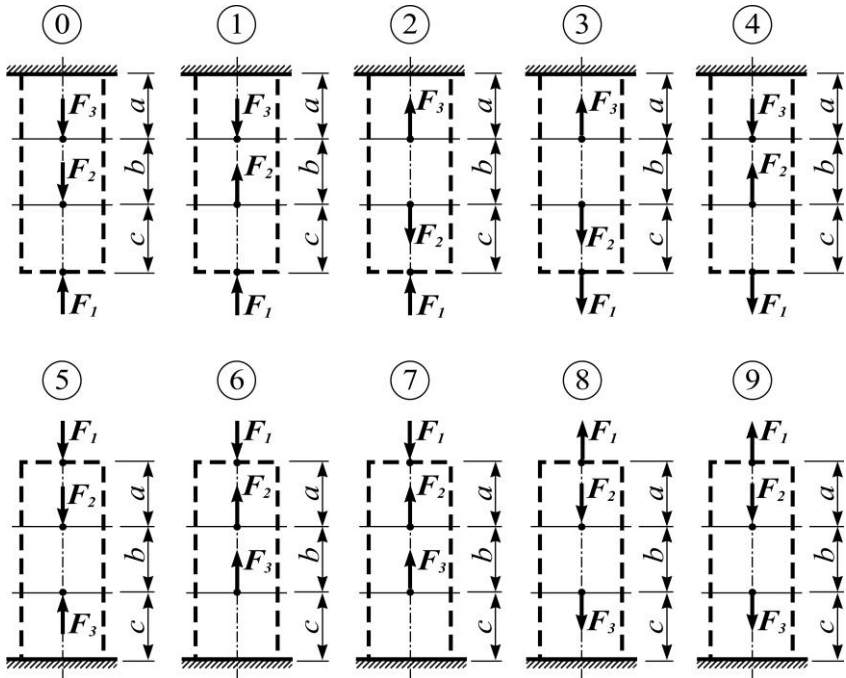


Рис. 1.2. Розрахункова схема бруса (стрижня)

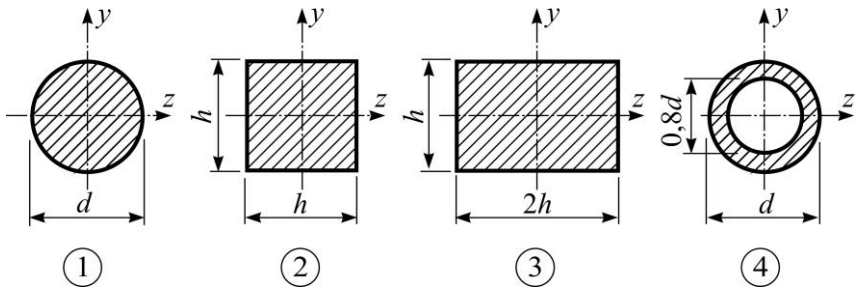


Рис. 1.3. Форма перерізу бруса (стрижня)

Таблиця 1.3 (дані до задачі 2)

Матеріал	E , МПа	σ_{adm}^t , МПа	σ_{adm}^c , МПа
Сталь Ст.3	$2,1 \cdot 10^5$	160	160
Чавун	$1,6 \cdot 10^5$	30	120
Мідь	$1,1 \cdot 10^5$	60	60
Бронза	$1,0 \cdot 10^5$	70	70
Дуралюмін	$0,71 \cdot 10^5$	80	80

2. ЗСУВ. ЗРІЗ.

Задача 3. Розрахунок на міцність вузлового з'єднання стрижня заклепками та електрозварюванням

Умова задачі. Виконати розрахунок на міцність з'єднання стрижня ферми підйомного мостового крана із двох кутиків з вузловою пластинкою. Стрижень складається із двох однакових кутиків. Розрахунок виконати для двох варіантів з'єднання: клепаного та зварного. Дані для розрахунків вибрати із таблиці 2.1.

Послідовність розв'язання задачі з рахунку клепаного з'єднання (рис.2.1).

1. Із умови міцності при розтязі визначити площу нетто стрижня A_{nt} .

2. У зв'язку з наявністю отворів під заклепки, які послаблюють стрижень, визначити розрахункову площу його поперечного перерізу за формулою

$$A = (1,1 \div 1,2)A_{nt}.$$

3. Із таблиць сортаменту добрати два рівнобоких чи нерівнобоких кутика із загальною площею поперечного перерізу найбільш близькою до розрахункової площі A .

Зауважимо, що з конструктивних міркувань необхідно добирати кутики з шириною полиці $B \geq 45$ мм.

Література: [3] стор.64-69, 70-80.

Таблиця 2.1 (дані до задачі 3)

№ рядка	Зусилля N , що розтягує стрижень, кН	Допустима напруга, МПа			
		розтягу, σ_{adm}	зминання, σ_{adm}^{con}	зрізу заклепок, τ_{adm}	зрізу шва, τ_{adm}^w
1	200	120	240	80	90
2	240	125	250	85	92
3	280	130	260	90	94
4	320	135	270	95	96
5	360	140	280	100	100
6	400	145	290	105	102
7	440	150	300	110	104
8	480	155	320	115	105
9	520	160	330	120	108
0	560	165	340	125	110
	ϵ	δ	ϵ	a	ϵ

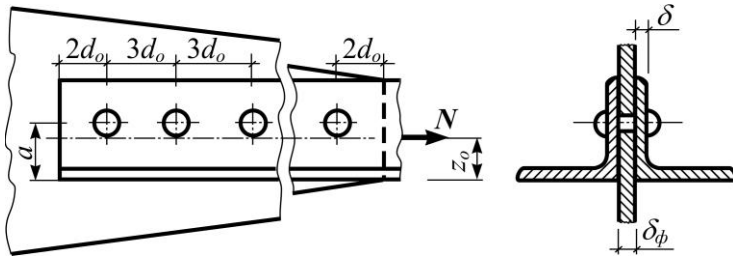
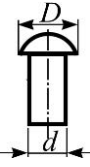
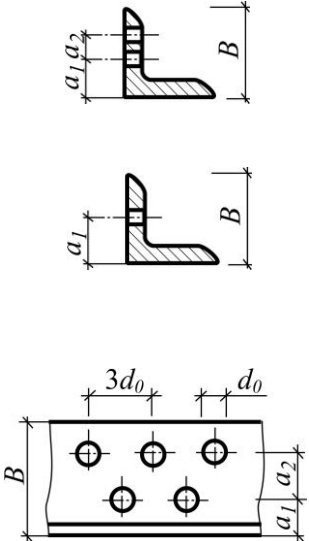


Рис.2.1. З'єднання за допомогою заклепок

Таблиця 2.2 (розміри заклепки)

	Діаметр стрижня заклепки d , мм	8	10	13	16	19	22	25	28	31	34	37
	Діаметр отвору під заклепку d_o , мм	9	11	14	17	20	23	26	29	32	35	38
	Діаметр шляпки заклепки D , мм	14	16	21	25	30	35	40	45	50	55	60

Таблиця 2.3 (розміщення заклепок)

	Одна риска			Дві риски			
	B ,	a_1 ,	d_o ,	B ,	a_1 ,	a_2 ,	d_o ,
	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм
	45	25	11	В шаховому порядку			
	50	30	11	125	55	35	23
	56	30	14	140	60	40	26
	63	35	17	160	65	80	26
	70	40	17	У два ряди			
	75	45	20	140	55	60	20
	80	45	20	160	60	70	23
	90	50	23	В шаховому порядку в два ряди			
	100	55	23				
	120	60	26	180	65	75	26
	125	70	26	200	80	80	26
	140	75	26	220	90	90	29
	-	-	-	250	100	90	29

4. Із умов міцності на зріз та зминання визначити необхідну кількість заклепок n . Розрахунок потрібно виконувати за діаметром отвору d_o , вважаючи, що після заклепування заклепка повністю заповнює отвір (таблиця 2.2).

Товщину вузлової пластинки δ_ϕ (фасонки) призначити наступним чином:

$$\delta_\phi = (0,8 \div 1,2)\delta.$$

Із двох одержаних за розрахунками на зріз та на зминання значень n потрібно прийняти більше число. При цьому кількість заклепок може бути $n \geq 2$.

5. Перевірити міцність стрижня, враховуючи послаблення перерізу кутиків заклепочними отворами.

6. Накреслити розраховане заклепочне з'єднання, вибравши rischi розміщення заклепок a_1 і a_2 із таблиці 2.3 в залежності від ширини полиці кутика B , але не більше шести в одному ряду.

Послідовність розв'язання задачі з розрахунку зварного з'єднання (рис.2.2).

1. Із умови міцності при розтязі визначити площу поперечного перерізу стрижня A .

2. Користуючись таблицями сортаменту, добрати два кутики з загальною площею найближчою до A , але не меншою за A .

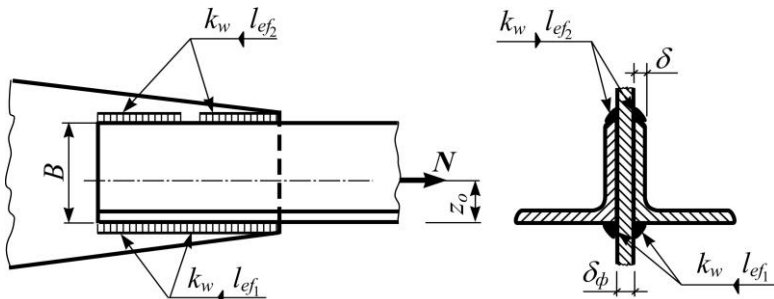


Рис.2.2. Зварне з'єднання

3. Визначити розрахункову довжину зварного шва l_w із умови міцності на зріз шва. При цьому катет шва k_w вважати рівним товщині полиці δ добраних кутиків.

4. Визначити розрахункові довжини швів з боку „обушка” l_{w1} і з боку „пера” l_{w2} (рис.2.2), враховуючи, що:

$$l_w = 2(l_{w1} + l_{w2}), \quad \frac{l_{w1}}{l_{w2}} = \frac{B - z_o}{z_o}.$$

5. Визначити проектні довжини швів l_{ef1} та l_{ef2} , додавши до розрахункових довжин величину технологічного непровару, що дорівнює 10 мм. Одержані значення заокруглюються до 10 мм. Мінімальна проектна довжина окремого шва – 40 мм.

6. Накреслити зварне з’єднання за ескізом, поданим на рис. 2.2.

3. ПРЯМИЙ ЗГИН БАЛОК

Задача 4. Побудова епюр поперечних сил та згинних моментів для статично визначних балок і розрахунок їх на міцність

Умова задачі. Для заданих статично визначних балок (рис.3.1) побудувати епюри поперечних сил та згинних моментів і виконати розрахунок балки на міцність.

Дані до задачі взяти із таблиці 3.1.

Таблиця 3.1.

Дані до задачі №4

№ рядка	Схема балки (рис. 2.1)	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>F</i> (кН)	<i>M</i> (кНм)	<i>q</i> (кН/м)	<i>h/b</i>
		м						
1	1	1,0	0,8	1,2	40	15	20	3
2	2	1,4	2,0	1,6	25	50	21	4
3	3	1,5	2,4	0,8	50	25	22	2
4	4	1,2	1,6	1,4	30	35	23	1,5
5	5	1,6	2,6	2,4	10	55	24	1,8
6	6	1,8	3,0	1,8	15	20	25	2,2
7	7	2,0	1,4	0,7	20	15	26	3,5
8	8	2,4	1,0	2,0	35	10	27	3,3
9	9	1,7	1,0	0,6	45	30	28	1,2
0	10	1,5	1,2	1,0	20	28	29	1,0
	<i>в</i>	<i>в</i>			<i>б</i>	<i>а</i>	<i>б</i>	<i>в</i>

Послідовність розв'язання задачі.

1. Визначити значення опорних реакцій.
2. Побудувати епюри поперечних сил та згинних моментів.
3. Для сталюї балки (рис.2.1,*б*) з умови міцності за нормальними напругами ($\sigma_{adm} = 160\text{МПа}$) добрати поперечні перерізи: двотавровий, прямокутний (із заданим співвідношенням сторін h/b), круглий.
4. Вибрати з підібраних перерізів найраціональніший, порівнявши їхні площі.
5. Перевірити міцність балки за дотичними напругами ($\tau_{adm} = 100\text{МПа}$).

Література: [1] стор.44-53, 236-258; [2] стор.76-82, 85-96, 38-47; [3] стор.152-158, 162-173, 98-113.

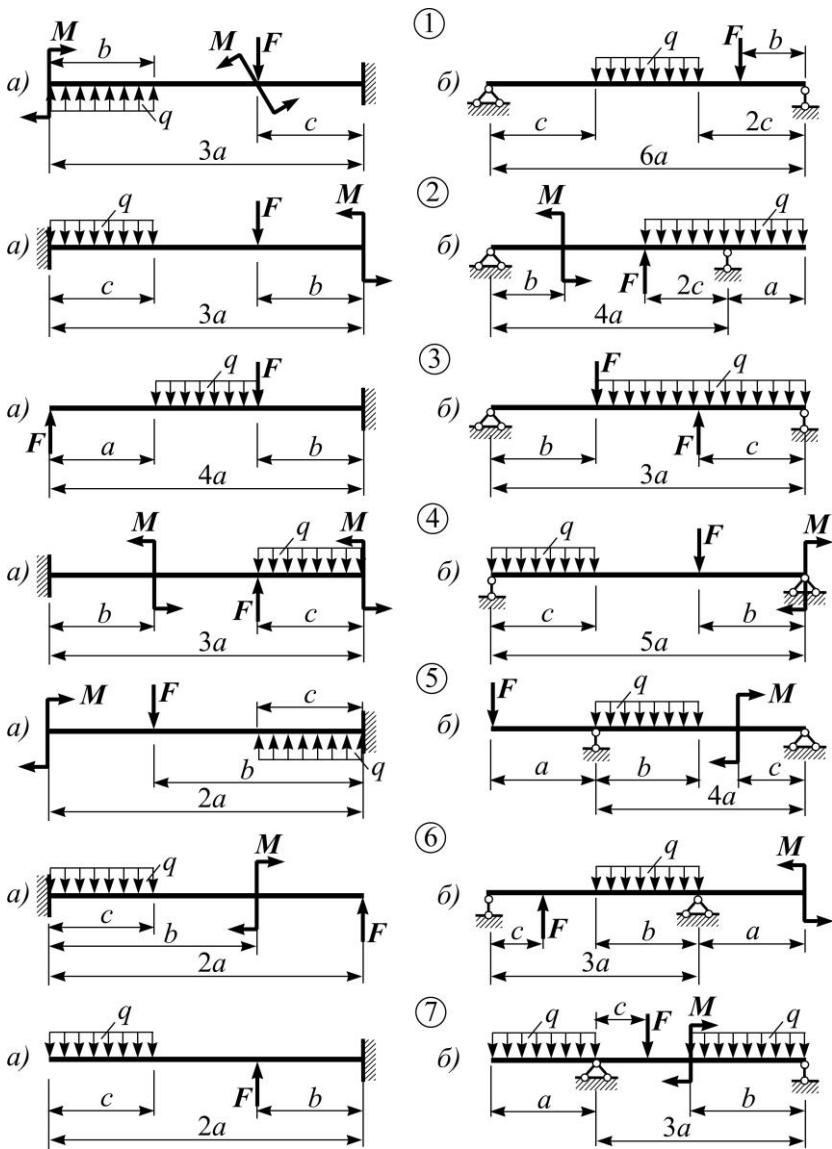


Рис. 3.1. Схемы балок

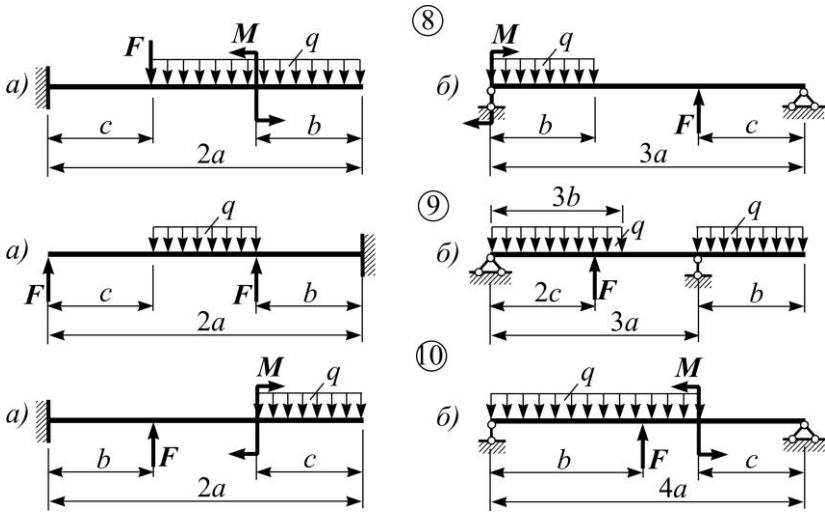


Рис.3.1. Схеми балок (продовження)

4. СКЛАДНИЙ ОПІР БРУСА

Задача 5. Розрахунок бруса на міцність при позацентровому стиску

Умова задачі. Короткий сталевий брус, поперечний переріз якого показано на рис.3.1, стискається силою F , що прикладена в точці K і діє паралельно осі бруса. Необхідно побудувати епюру розподілу нормальних напруг в перерізі, а також побудувати ядро перерізу.

Дані до задачі взяти з табл.3.1.

Послідовність розв'язання задачі.

1. Визначити положення центра ваги та головних центральних осей перерізу бруса, а також координати полюса (точки прикладання сили відносно цих осей).

2. Обчислити площу, головні моменти інерції, квадрати головних радіусів інерції поперечного перерізу бруса.

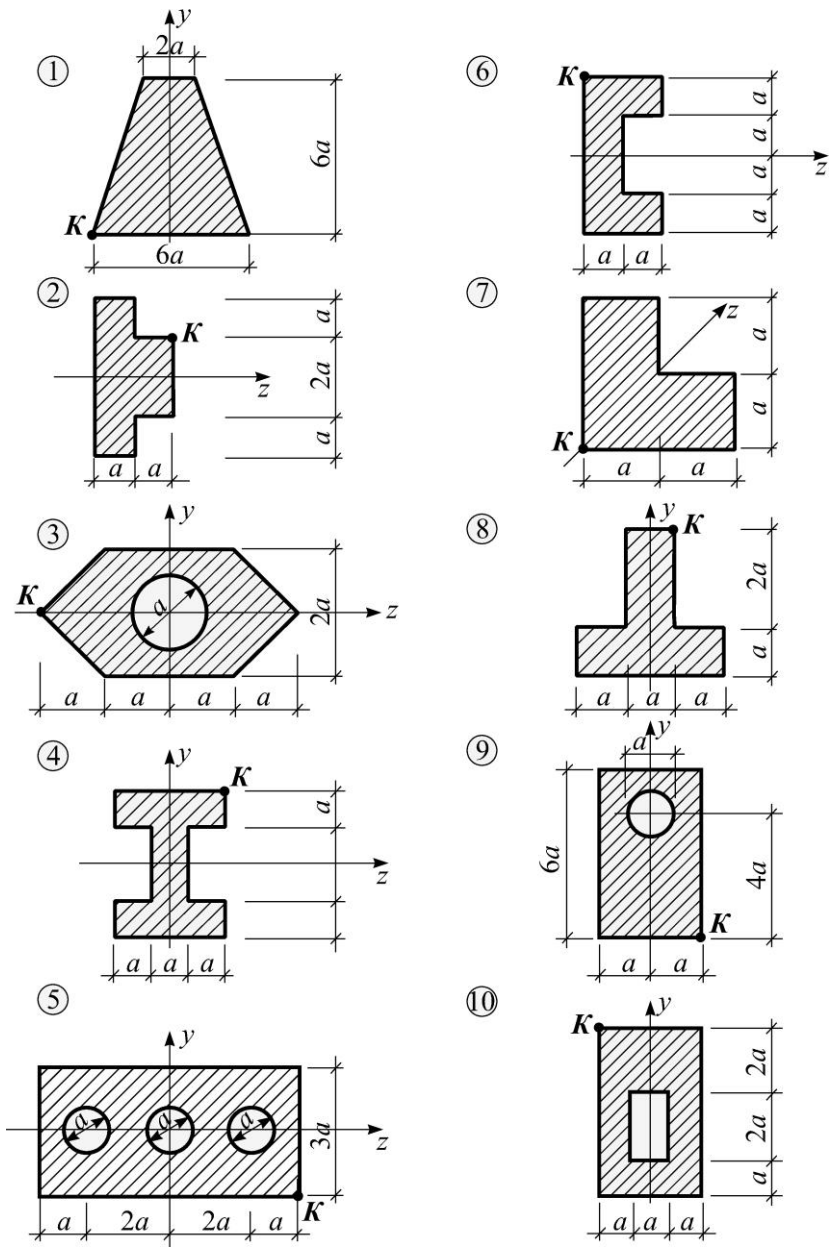


Рис.3.1. Поперечний переріз бруса

3. Визначити відрізки, які відсікає нейтральна лінія на головних осях, і вказати її положення.

4. Визначити координати небезпечних точок в розтягнутій і стиснутій областях перерізу.

5. Обчислити величини нормальних напруг в небезпечних точках і побудувати епюру розподілу нормальних напруг для поперечного перерізу бруса.

6. Визначити координати контурних точок ядра перерізу. Побудувати ядро перерізу, вказавши на кресленні положення головних центральних осей і відстані до контурних точок ядра.

Література: [1] стор.334-338; [2] стор.127-132; [3] стор.219-223, 234-239.

Таблиця 4.1.

Дані до задачі №5

№ рядка	Схема перерізу бруса (рис.3.1)	F	a	№ рядка	Схема перерізу бруса (рис.3.1)	F	a
		кН	м			кН	м
1	1	100	0,4	6	6	250	0,5
2	2	200	0,6	7	7	120	0,6
3	3	300	0,8	8	8	140	1,2
4	4	400	1,0	9	9	160	0,4
5	5	150	1,2	0	10	180	0,8
	<i>в</i>	<i>б</i>	<i>в</i>		<i>в</i>	<i>б</i>	<i>в</i>

5. СТІЙКІСТЬ ЦЕНТРАЛЬНО СТИСНУТИХ СТЕРЖНІВ

Задача 6. Розрахунок центрально стиснутого стержня на стійкість

Умова задачі. Для центрально стиснутого сталюого стержня (рис.5.1) добрати поперечний переріз заданої форми (рис.5.2) та визначити для нього величину критичної сили та коефіцієнт запасу стійкості.

Дані до задачі взяти з табл.4.1.

Таблиця 5.1.

Дані до задачі №6

№ рядка	Схема перерізу (рис. 4.2)	Схема закріплення стержня (рис. 4.1)	F (кН)	l (м)	δ (мм)
1	1	4	150	3,8	8
2	2	2	160	3,2	10
3	3	3	170	3,4	12
4	4	1	180	2,6	8
5	5	2	190	3,6	10
6	6	1	200	3,5	12
7	7	3	210	2,4	8
8	8	4	220	4,0	10
9	9	3	230	2,7	12
0	10	1	240	3,0	8
	в	б	а	б	а

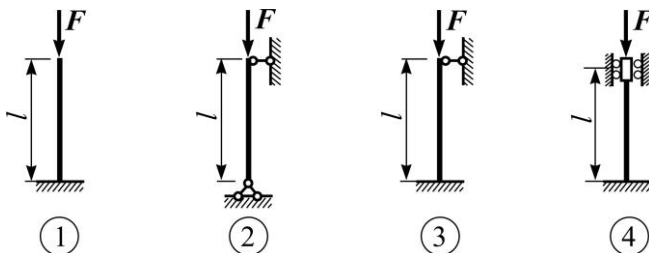


Рис. 5.1. Схеми закріплення центрально стиснутих стержнів

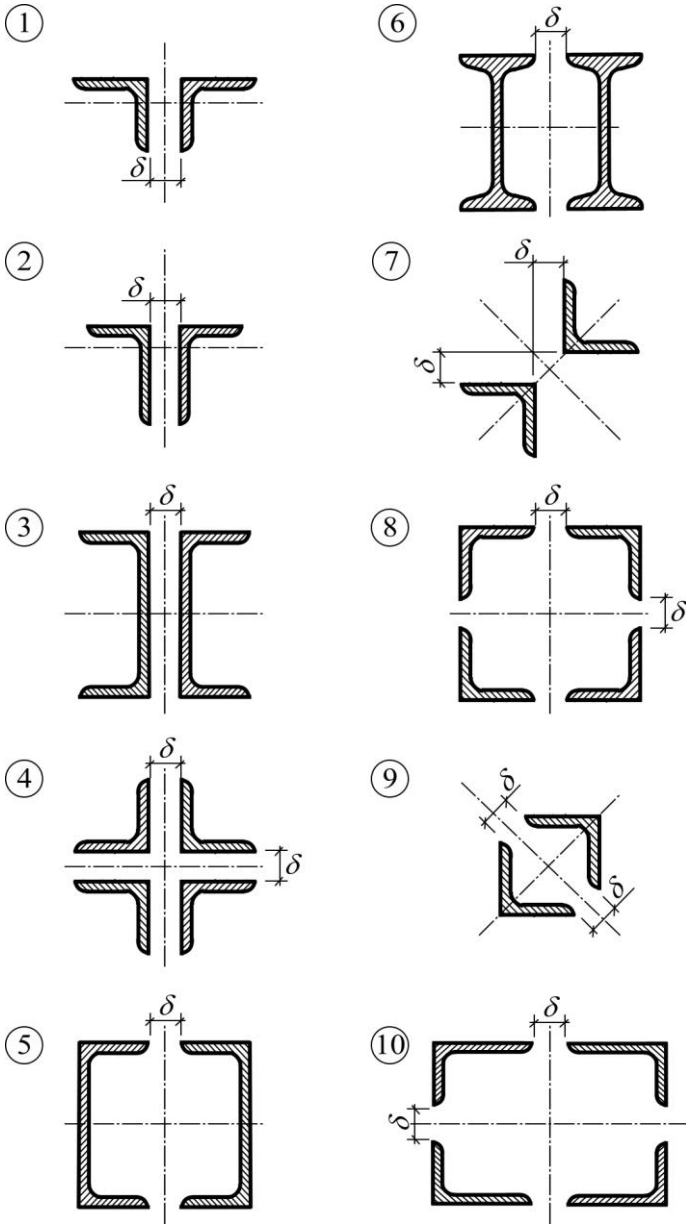


Рис. 5.2. Схеми поперечних перерізів стиснутих стержнів

Примітка: в схемах 2 та 10 кутики – нерівнобокі. Для визначення коефіцієнтів поздовжнього згину скористатись даними табл.5.2.

Послідовність розв'язання задачі.

1. З умови стійкості центрально стиснутого стержня шляхом послідовних наближень добрати його поперечний переріз. Стержень виготовлений із сталюого прокату ($\sigma_{adm} = 160 \text{ МПа}$).

2. Визначити значення критичної сили та коефіцієнту запасу стійкості.

Література: [1] стор.491-506; [2] стор.137-150; [3] стор.292-303.

Таблиця 5.2

Коефіцієнт φ поздовжнього згину
центрально стиснутих сталевих стержнів
($R_y = 240 \text{ МПа}$)

Гнучкість λ	Коефіцієнт φ	Гнучкість λ	Коефіцієнт φ
10	0,987	120	0,419
20	0,962	130	0,364
30	0,931	140	0,315
40	0,894	150	0,276
50	0,852	160	0,244
60	0,805	170	0,218
70	0,754	180	0,196
80	0,686	190	0,177
90	0,612	200	0,161
100	0,542	210	0,147
110	0,478	220	0,135

6. РОЗРАХУНОК СТАТИЧНО ВИЗНАЧНИХ СТЕРЖНЕВИХ СИСТЕМ

Задача 7. Розрахунок плоскої статично визначної ферми

Умова задачі. Для ферми (рис.6.1) необхідно визначити:

- 1) аналітично внутрішні сили в п'яти стержнях заданої панелі;
- 2) графічно внутрішні сили в усіх стержнях ферми (побудувати для цього діаграму зусиль Максвелла-Кремони);
- 3) порівняти отримані двома методами значення внутрішніх сил в стержнях заданої панелі, склавши відповідну таблицю;
- 4) добрати розміри поперечних перерізів розтягнутих стержнів заданої панелі у вигляді двох рівнобоких кутників ($\sigma_{adm} = 160 \text{ МПа}$).

Дані до задачі взяти із таблиці 6.1.

Література: [4] стор.85-91, 94-98; [5] стор.6-33, 34-44, 54-56.

Примітка:

1. Вантажний пояс позначений на схемах ферм (рис.5.1) штриховою лінією. Сили F_1 прикладені в непарних, F_2 – у парних вузлах вантажного поясу.

2. Для визначення плеч зусиль зручно користуватись формулою:

$$r = \left| \frac{x_1 y_2 - x_2 y_1}{\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}} \right|,$$

де x_1, y_1 та x_2, y_2 – координати точок кінців стержня, зусилля в якому необхідно знайти (початок координат знаходиться в моментній точці).

Таблиця 6.1.

Дані до задачі №7

№ рядка	Схема ферми (рис.5.1)	Вузлове навантаження		Довжин а панелі d , м	№ панелі, рахуючи зліва
		F_1 , кН	F_2 , кН		
1	1	10	30	2,0	3
2	2	40	20	2,2	4
3	3	20	60	2,4	5
4	4	30	40	2,6	2
5	5	50	10	2,8	3
6	6	60	50	3,0	4
7	7	10	30	3,2	5
8	8	40	20	2,4	2
9	9	30	10	2,0	3
0	10	20	40	2,2	4
	<i>в</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>а</i>	<i>в</i>

Послідовність визначення внутрішніх сил (зусиль) в стержнях ферми графічним методом

Визначення зусиль в стержнях ферми за допомогою діаграми Максвелла-Кремони покажемо на прикладі ферми (рис.6.2,а).

Побудова діаграми починається із зображення в масштабі розрахункової схеми ферми.

З рівнянь рівноваги визначаємо значення опорних реакцій V_A і V_B . Стержні ферми і лінії дії всіх зовнішніх сил і реакцій ділять площину рисунка на окремі ділянки (поля). Зовнішні поля позначимо буквами від „а” до „m”, а внутрішні – цифрами від „1” до „12” (рис.6.2,а).

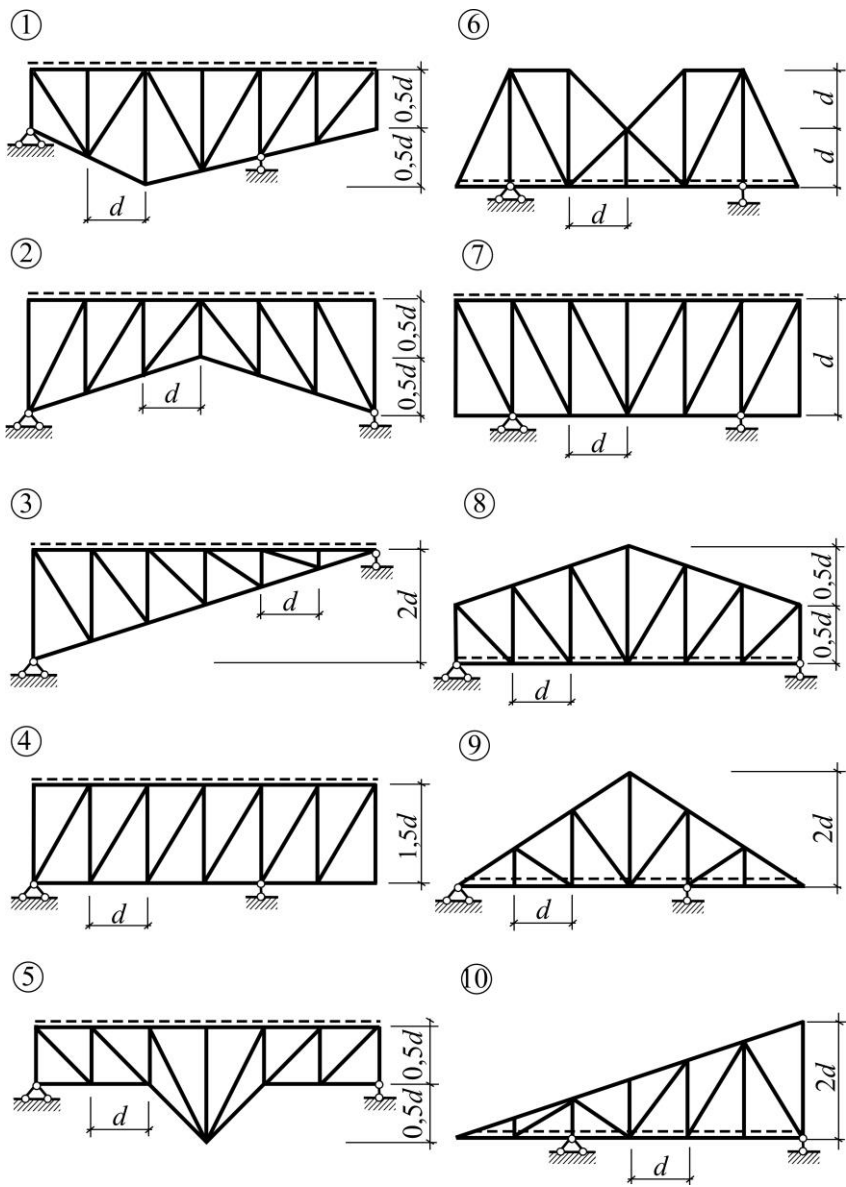


Рис.6.1. Схеми ферм

Вибираємо масштаб сил: в 1 см – 40 кН. Починаючи з будь-якої сили, будемо силовий багатокутник зовнішніх сил, причому зовнішні сили послідовно відкладаємо у тому напрямку, в якому вони зустрічаються при обході ферми за годинниковою стрілкою. Якщо почати його побудову із сили 60 кН, що біля опори B , то силовий багатокутник буде таким: $a-b-c-d-e-k-l-m-a$ (рис.6.2,б).

При правильному визначенні опорних реакцій силовий багатокутник буде замкнутим.

Визначення точок, які відповідають внутрішнім полям ферми, потрібно починати з розгляду рівноваги вузла, де невідомі зусилля не більш як у двох стержнях (на рис.6.2,а це, наприклад, буде вузол A). „Сусідами” поля „1” є поля „ l ” і „ k ”. Тому, з точки K на діаграмі (рис.5.2,б) проводимо горизонтальну лінію, а з точки l похилу під тим самим кутом, під яким розташовано стержень ферми, який є межею між полями „1” і „ l ”. На перетині цих ліній буде точка 1. Так само отримаємо решту точок, які будуть відповідати всім внутрішнім полям ферми (рис.6.2,б).

Позначення кожного зусилля в стержнях ферми матиме два індекси. Перший з них (початок вектора зусилля) – це позначення поля, з якого виходять, другий (кінець вектора) – поле, у яке приходять при обході вузла ферми за годинниковою стрілкою. Так зусилля в стержні ферми, який є межею між полями „ l ” і „1” при обході вузла A за годинниковою стрілкою буде мати позначення N_{l-1} . Величина цього зусилля визначиться в масштабі довжиною відрізка $l-1$ (рис.6.2,б), а його знак напрямком руху з точки l в точку 1 на діаграмі (рис.6.2,б). Цей напрямком вказує на напрямком вектора зусилля N_{l-1} (до вузла A), а отже, стержень $l-1$ стиснутий і зусилля в ньому від’ємне.

Результати графічного розрахунку наведено в таблиці 6.2 у порівнянні з результатами, отриманими аналітичним методом.

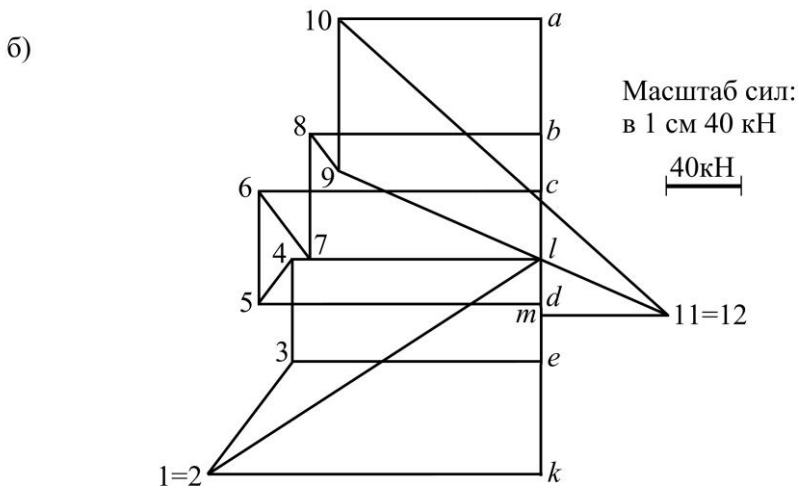
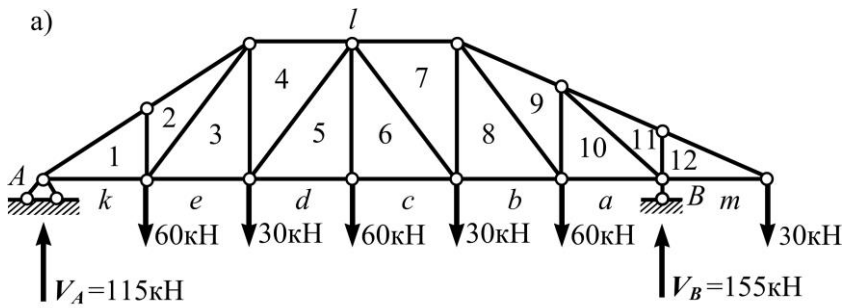


Рис.6.2. Схема ферми і діаграма Максвелла-Кремони

Таблиця 6.2

Результати аналітичного та графічного розрахунків ферми

Стержень	Зусилля, кН		Відносна похибка, %
	аналітично	графічно	
$5 - d$	195	190	-2,6
$l - 4$	-170	-166	-2,4
$4 - 5$	-35,36	-34	-3,8
$9 - 8$	-24,26	-25	1,0
$l - 9$	-150,4	-146	-2,9
$l - 1$	-257,15	-252	-2,0
$1 - k$	230	226	-1,7
$5 - 6$	60	60	0
$6 - c$	195	190	-2,6
$l - 12$	94,94	92	-3,1
$12 - m$	-90,98	-94	4,2
$1 - 2$	0	0	0
$11 - 12$	0	0	0

Задача 8. Розрахунок статично визначної рами

Умова задачі. Для рами (рис.6.3) необхідно:

1). визначити значення опорних реакцій та побудувати епюри поздовжніх та поперечних сил і згинних моментів;

2). в залежності від виду переміщення, яке потрібно визначити, утворити одиничний стан і побудувати одиничну епюру згинних моментів;

3). з використанням чисельних розв'язків інтеграла Мора знайти переміщення перерізу K .

Дані до задачі взяті з табл.6.3.

Література: [4] стор. 31-43, 121-135, 138-142; [5] стор.57-67, 67-90, 90-106.

Таблиця 6.3.

Дані до задачі № 8

№ рябка	Схема (рис.5.3)		l	h	M	Навантаження								Вид переміщ.	
						EI_p									
						EI_c	F_1	F_2	F_3	F_4	q_1	q_2	q_3		q_4
					кН				кН/м						
1	1	10	8	2	20	-	-	-	-	-	-	-	4	гор.	
2	2	8	6	3	-	30	-	-	-	-	-	5	-	верт.	
3	3	6	4	4	-	-	40	-	-	3	-	-	-	кут пов.	
4	4	4	3	3	-	-	-	60	2	-	-	-	-	гор.	
5	5	6	5	2	-	-	20	-	-	6	-	-	-	верт.	
6	6	8	4	3	-	40	-	-	-	-	4	-	-	кут пов.	
7	7	4	6	4	30	-	-	-	-	-	-	-	5	гор.	
8	8	6	3	3	-	60	-	-	-	-	6	-	-	верт.	
9	9	12	8	2	-	-	30	-	-	2	-	-	-	кут пов.	
0	10	10	5	3	-	-	-	20	4	-	-	-	-	гор.	
	v	b	v	a	b				v						

Примітка: EI_p і EI_c – жорсткості при згині горизонтальних елементів рами (ригелів) та вертикальних елементів (стояків) відповідно.

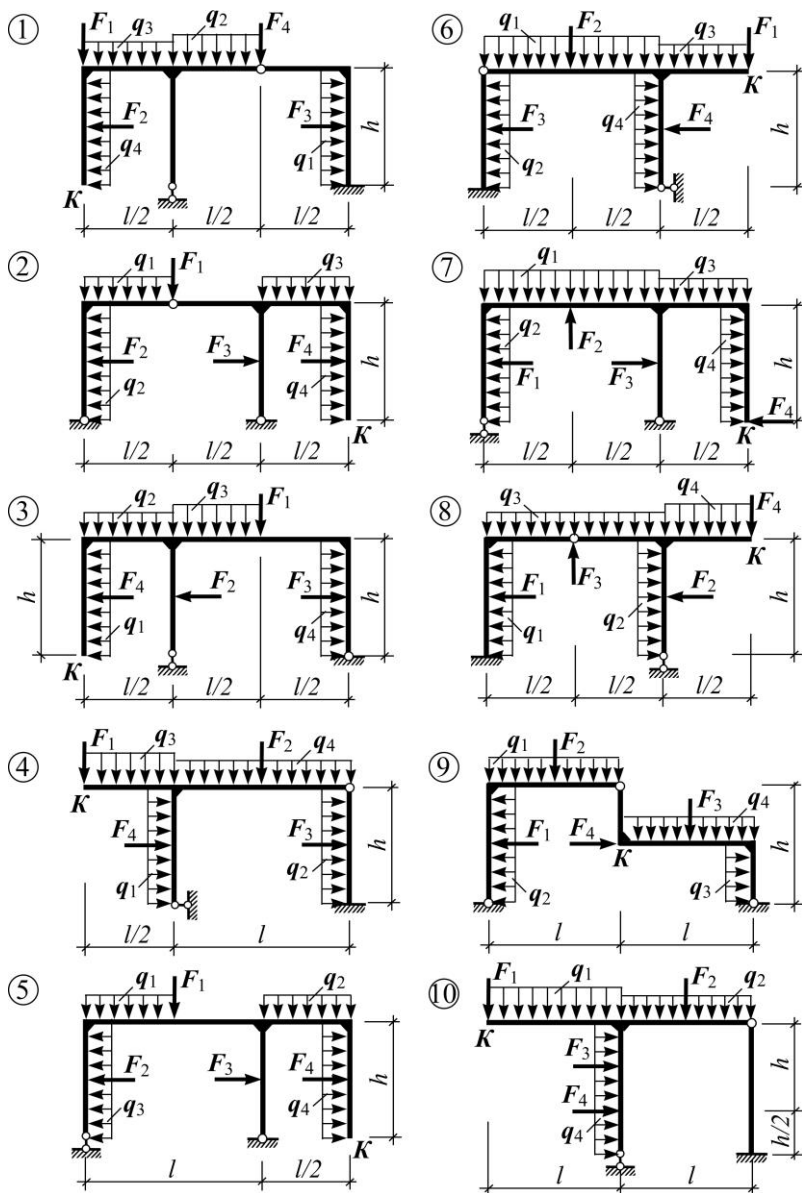


Рис. 6.3. Схеми рам

7. РОЗРАХУНОК СТАТИЧНО НЕВИЗНАЧНИХ СТЕРЖНЕВИХ СИСТЕМ

Задача 9. *Розрахунок статично невизначної рами методом сил*

Умова задачі. Для рами (рис.7.1) побудувати епюри поздовжніх та поперечних сил і згинних моментів, виконавши при цьому всі необхідні перевірки.

Дані до задачі взяти з табл.7.1.

Таблиця 7.1.

Дані до задачі 7

№ рядка	Схема рами	l	h	EI_p	Н а в а н т а ж е н н я					
					м	EI_c	F_1	F_2	F_3	q_1
		кН					кН/м			
1	1	8	5	4	-	-	20	5	-	-
2	2	10	6	3	-	30	-	-	10	-
3	3	6	4	2	40	-	-	-	-	20
4	4	12	8	4	-	50	-	-	8	-
5	5	8	5	3	-	-	60	4	-	-
6	6	10	6	2	-	80	-	-	15	-
7	7	12	8	4	20	-	-	-	-	8
8	8	6	4	3	-	40	-	-	20	-
9	9	8	6	2	-	-	80	10	-	-
0	10	6	8	4	-	60	-	-	5	-
	<i>в</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>а</i>	<i>в</i>			<i>б</i>		

Примітка:

1). зосереджені сили F_1 , F_2 і F_3 знаходяться посередині стержнів, до яких вони прикладені;

2). EI_p і EI_c – жорсткості при згині горизонтальних елементів (ригелів) та вертикальних елементів (стояків) рами.

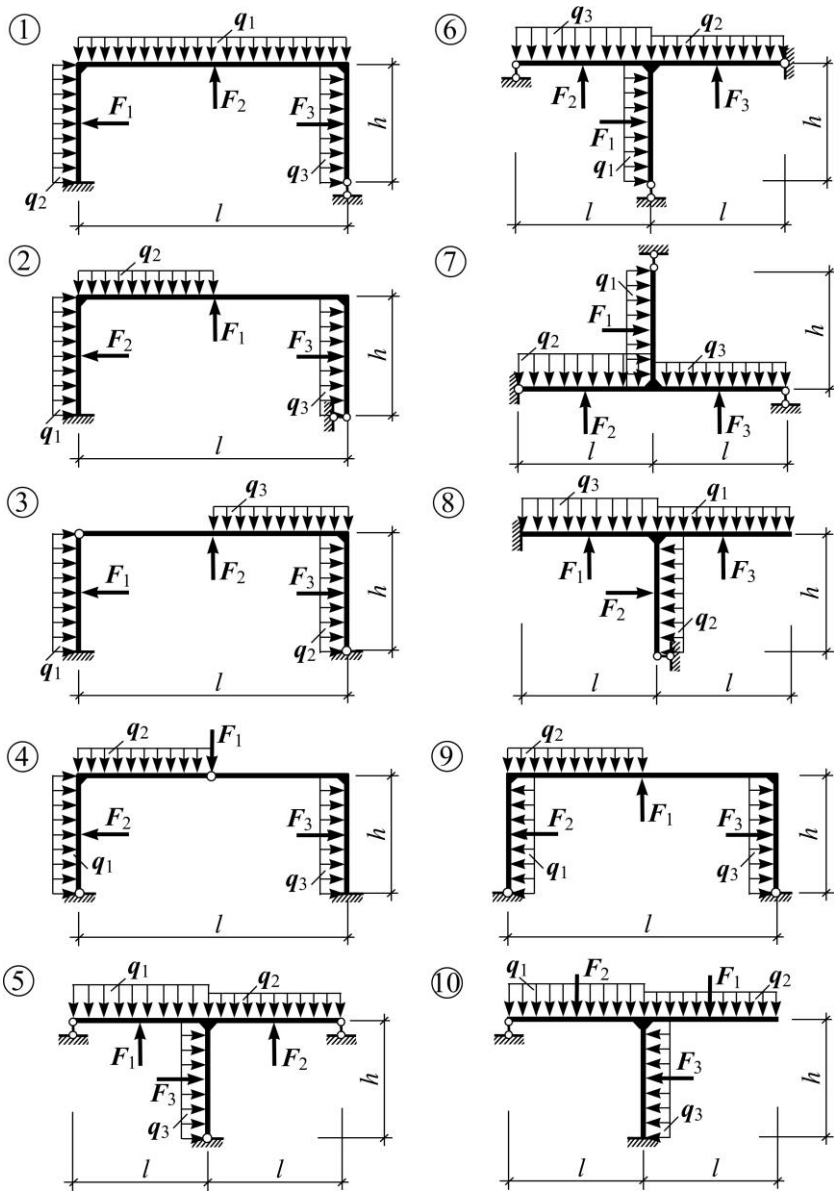


Рис.7.1. Схемы рам

Послідовність розв'язання задачі.

1. Визначити ступінь статичної невизначеності рами.
 2. Вибрати основну систему методу сил.
 3. Записати канонічні рівняння методу сил.
 4. Побудувати одиничну та вантажну епюри згинних моментів.
 5. Визначити коефіцієнти та вільні члени канонічних рівнянь.
 6. Визначити „зайві” невідомі.
 7. Розглядаючи основну систему під дією заданого навантаження і „зайвих” невідомих, визначити внутрішні сили і побудувати відповідні епюри.
 8. Перевірити рівновагу вузлів рами, або окремих її частин.
- Література: [4] стор. 242-245; [5] стор. 108, 136-154.

ЛІТЕРАТУРА

1. Опір матеріалів : підручник / Писаренко Г.С. та ін.; 2-ге вид., допов. і переробл.; К. : Вища школа., 2004. 655 с.
2. Мошинський С. І. Опір матеріалів : посібник. Рівне : Видавництво РДГУ, 2001. 214с.
3. Мошинський С. І., Примаков О. П., Гуртовий О. Г. Задачі і приклади з опору матеріалів : навчальний посібник. К. : «Освіта України», 2009. 400 с.
4. Дорошук Г. П., Трач В. М. Будівельна механіка : навчальний посібник. К. : ІЗМН, 1996. 520 с.
5. Дорошук Г. П., Трач В. М. Будівельна механіка. Приклади, задачі та комп'ютерні розрахунки : навчальний посібник. Рівне : НУВГП, 2008. 472 с.
6. Конспект лекцій з курсу Будівельна механіка: для студентів 3 курсу денної форми навчання галузі знань 19 – Архітектура а будівництво / В. П. Шпачук, М. А. Засядько, О. І. Рубаненко, О. О. Чупринін ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2020. 177 с.