

Министерство образования Российской Федерации
Владимирский государственный университет
Кафедра сопротивления материалов

СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

Методические указания и задания к курсовым работам
для студентов строительных специальностей
заочной формы обучения

Составители:
И.А. Черноусова
А.М. Бурлакова
А.В. Тимохин

Владимир 2003

УДК 539.3/.6(075)

Рецензент
Кандидат технических наук, доцент
кафедры «Строительные конструкции и архитектура»
Владимирского государственного университета
И.И. Шишов

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Владимирского государственного университета

Сопротивление материалов: Метод. указания и задания к курсовым работам для студентов строительных специальностей заочной формы обучения/ Сост.: И.А. Черноусова и др.; Владим. гос. ун-т. Владимир, 2003. 40 с.

Составлены в соответствии с программой курса сопротивления материалов. Включают варианты заданий и методические указания к их выполнению.

Предназначены для студентов строительных специальностей заочной формы обучения.

Табл. 13. Ил. 14. Библиогр.: 3 назв.

УДК 539.3/.6(075)

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВЫХ РАБОТ

Программа курса "Сопротивление материалов" для студентов заочной формы обучения строительных специальностей предусматривает выполнение курсовой работы в каждом из трех семестров обучения. Курсовая работа № 1 включает задания 1 ÷ 3, курсовая работа № 2 – задания 4, 5; курсовая работа № 3 – задания 6, 7. Каждый студент выполняет курсовые работы в соответствии с индивидуальным шифром, состоящим из четырех цифр. Шифр выдается преподавателем в период установочной сессии.

Курсовая работа выполняется на одной стороне листа белой нелинованной бумаги формата А 4; для выполнения чертежей допускается формат А 3, складываемый до формата А 4.

Текстовая часть курсовой работы состоит из титульного листа (см. приложение) и пояснительной записки, включающей подробное описание выполнения каждого задания соответствующей курсовой работы. Обязательным является эскиз условия и исходные данные, выбранные в соответствии с индивидуальным шифром. Текстовая часть работы может выполняться как рукописно, пастой темного цвета, так и набором текста на ПЭВМ.

Все схемы и рисунки выполняются только карандашом с помощью чертежных инструментов и с соблюдением выбранных масштабов изображения. Нумерация листов курсовой работы сквозная.

Во время защиты курсовой работы студент должен показать понимание соответствующей темы и уметь отвечать на вопросы, перечень которых представлен после каждого задания.

Задание 1

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛОСКИХ ПОПЕРЕЧНЫХ СЕЧЕНИЙ СТЕРЖНЯ

Задача № 1. Для сложного симметричного поперечного сечения стержня (рис. 1) требуется:

1. Определить положение центра тяжести и показать систему центральных осей (z_c - горизонтальная ось, y_c - вертикальная ось).

2. Вычислить величины осевых моментов инерции относительно найденных центральных осей J_{z_c} и J_{y_c} .

3. Определить положение главных центральных осей (v – ось максимума, u – ось минимума).

4. Вычислить величины осевых моментов инерции относительно главных центральных осей J_v и J_u .

Данные для расчета и номер схемы взять из табл. 1 по шифру, выданному преподавателем.

Задача № 2. Для сложного несимметричного поперечного сечения (рис. 2) требуется:

1. Определить положение центра тяжести и показать систему центральных осей (z_c - горизонтальная ось, y_c - вертикальная ось).

2. Вычислить величины осевых моментов инерции относительно найденных центральных осей J_{z_c} , J_{y_c} и центробежный момент инерции $J_{z_c y_c}$.

3. Определить положение главных центральных осей (v – ось максимума, u – ось минимума).

4. Вычислить величины осевых моментов инерции относительно главных центральных осей J_v и J_u .

Данные для расчета и номер схемы взять из табл. 2 по шифру, выданному преподавателем.

Таблица 1

Шифр варианта	I	II	III	IV
	Номер схемы	a , мм	b , мм	c , мм
1	5	60	46	80
2	3	45	52	70
3	7	50		100
4	9	40	56	85
5	6	35	54	50
6	2	55	45	90
7	4	48	50	65
8	10	54	35	95
9	1	42	60	75
0	8	58	40	60

Таблица 2

Шифр варианта	I	II	III	IV	
	Номер схемы	Номер двутавра	Номер швеллера	Уголок равнополочный (мм)	Уголок неравнополочный (мм)
1	10	20	18	50×50×5	75×50×5
2	9	22	16	70×70×6	90×56×6
3	8	24	14	75×75×5	100×63×6
4	7	27	12	80×80×6	110×70×8
5	6	18	10	90×90×8	125×80×7
6	1	16	20	100×100×8	140×90×10
7	2	14	22	63×63×6	160×100×12
8	3	12	24	56×56×4	100×63×8
9	4	33	27	80×80×7	180×110×10
0	5	36	30	75×75×6	125×80×10

Примечание. Размеры двутавров даны по сортаменту ГОСТ 8239-89; швеллеров – по ГОСТ 8240-89; уголков равнополочных – по ГОСТ 8509-86; уголков неравнополочных – по ГОСТ 8510-86.

Указания к выполнению задания 1

Определение геометрических характеристик плоских сечений стержня рекомендуется выполнять в следующем порядке:

1. Вычертить поперечное сечение в масштабе.
2. Разбить сложную фигуру поперечного сечения на ряд простых фигур, для которых известно положение центра тяжести и геометрические характеристики.

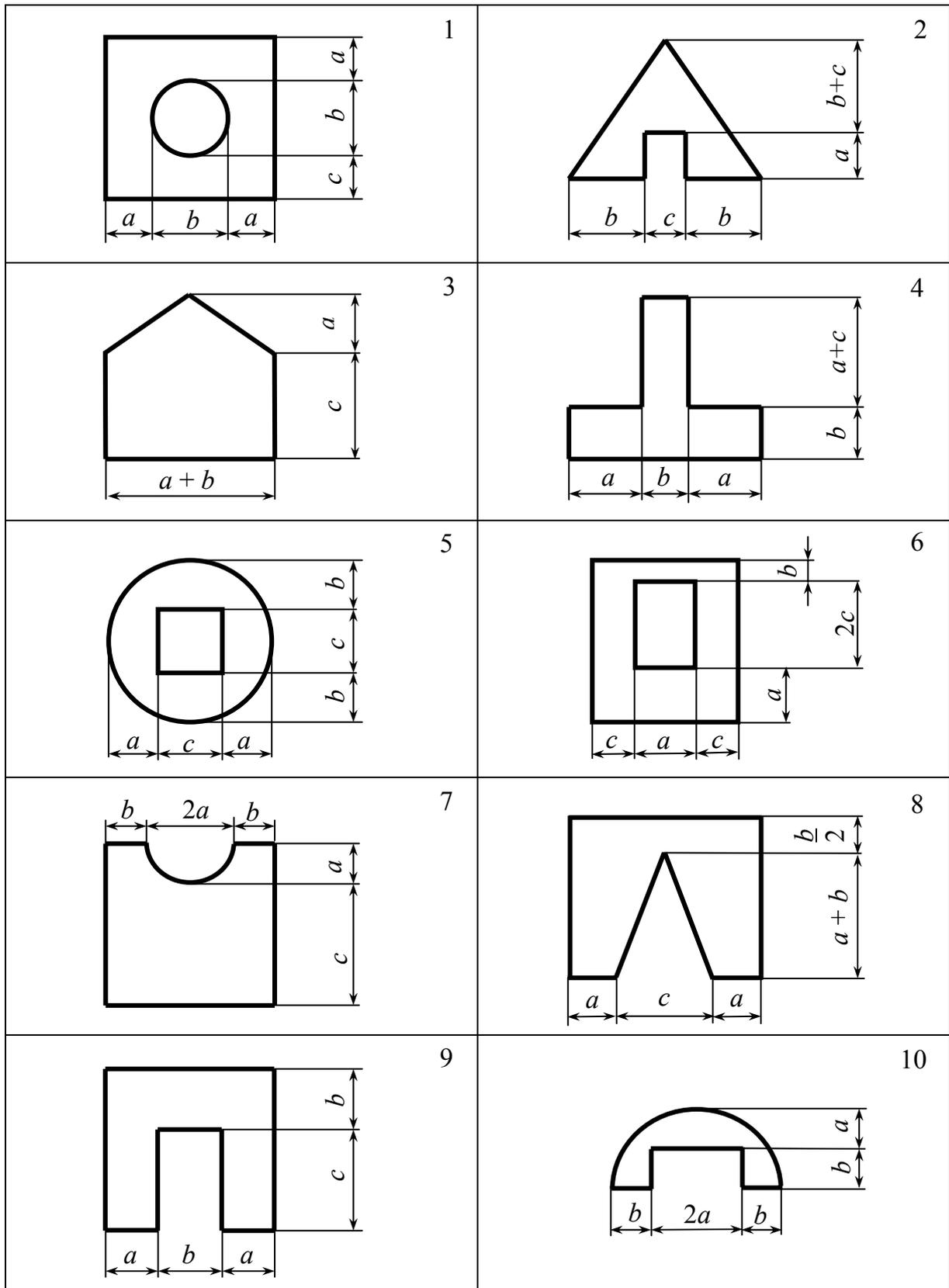


Рис. 1

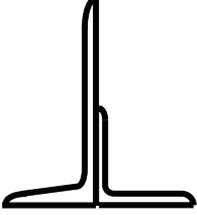
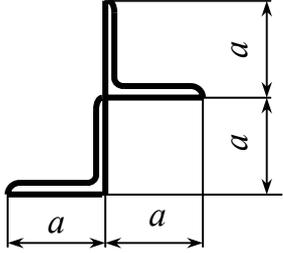
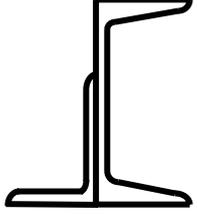
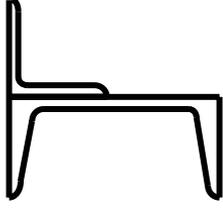
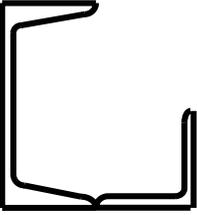
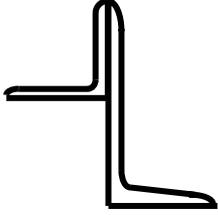
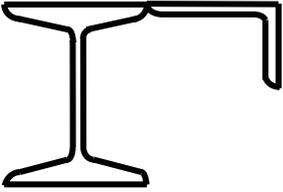
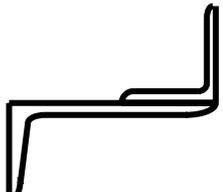
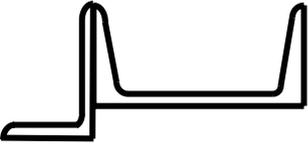
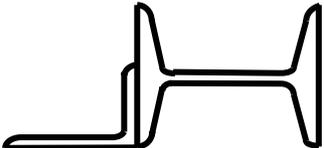
<p style="text-align: right;">1</p> 	<p style="text-align: right;">2</p> 
<p style="text-align: right;">3</p> 	<p style="text-align: right;">4</p> 
<p style="text-align: right;">5</p> 	<p style="text-align: right;">6</p> 
<p style="text-align: right;">7</p> 	<p style="text-align: right;">8</p> 
<p style="text-align: right;">9</p> 	<p style="text-align: right;">10</p> 

Рис. 2

3. Показать локальные центры тяжести простых фигур и провести случайные локальные центральные оси (z_i - горизонтальные оси, y_i - вертикальные оси).

4. Найти координаты центра тяжести заданной фигуры, используя статические моменты сечения относительно произвольно выбранной системы координат ($y_0 \ 0 \ z_0$):

$$z_c = \frac{\sum A_i z_{c_i}}{\sum A_i} = \frac{A_1 z_{c_1} + A_2 z_{c_2} + \dots + A_n z_{c_n}}{A_1 + A_2 + \dots + A_n},$$

$$y_c = \frac{\sum A_i y_{c_i}}{\sum A_i} = \frac{A_1 y_{c_1} + A_2 y_{c_2} + \dots + A_n y_{c_n}}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}.$$

Здесь A_i - площадь i -й простой фигуры; z_{c_i} и y_{c_i} - координаты центра тяжести i -й фигуры в произвольно выбранной системе координат ($y_0 \ 0 \ z_0$). Суммирование производится по количеству фигур разбиения ($i=1, n$). При этом необходимо помнить, что суммирование алгебраическое, то есть для фигур, изображающих отверстия, локальные площади учитываются отрицательными.

5. Провести через найденный центр тяжести всего сечения оси z_c и y_c , параллельные первоначально проведенным случайным локальным центральным осям.

6. По теореме о параллельном переносе осей вычислить осевые и центробежный моменты инерции сечения относительно центральных осей z_c и y_c , а именно:

$$J_{z_c} = \sum_{i=1}^n \left(J_{z_i}^i + a_i^2 A_i \right), \quad J_{y_c} = \sum_{i=1}^n \left(J_{y_i}^i + b_i^2 A_i \right),$$

$$J_{y_c z_c} = \sum_{i=1}^n \left(J_{y_i z_i}^i + a_i b_i A_i \right),$$

где $J_{z_i}^i$ и $J_{y_i}^i$ - осевые моменты инерции простой i -й фигуры относительно осевых локальных центральных осей инерции; $J_{y_i z_i}^i$ - центробежный

момент инерции простой i -й фигуры относительно своих локальных центральных осей инерции. (Важно, что для симметричной фигуры значение центробежного момента инерции относительно осей, из которых хотя бы одна является осью симметрии, равняется нулю); a_i и b_i - координаты центра тяжести простой i -й фигуры в новой системе координат (z_c, y_c) , из них a_i - вертикальная координата, b_i - горизонтальная.

7. Найти положение главных центральных осей v и u по формуле $\operatorname{tg} 2\alpha_0 = \frac{2J_{y_c z_c}}{J_{y_c} - J_{z_c}}$, где α_0 - угол, на который надо повернуть центральные оси z_c и y_c , чтобы получить главные центральные оси. Фактически α_0 - угол между главной центральной осью максимума v и одной из центральных осей. (Если $J_{z_c} > J_{y_c}$, то центральной осью максимума является ось z_c). Положительный угол α_0 откладывается против часовой стрелки.

8. Найти величины главных центральных моментов инерции J_v и J_u по формуле $J_{v,u} = \frac{J_{z_c} + J_{y_c}}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{(J_{z_c} - J_{y_c})^2 + 4J_{y_c z_c}^2}$. Знак "+" относится к вычислению максимального момента инерции J_v , знак минус - к вычислению минимального момента инерции J_u .

9. Выполнить проверку правильности вычислений по формулам:

$$J_{z_c} + J_{y_c} = J_v + J_u, \quad J_{uv} = \frac{J_{z_c} - J_{y_c}}{2} \sin 2\alpha_0 + J_{y_c z_c} \cos 2\alpha_0 = 0.$$

Замечание. Если сечение состоит из прокатных профилей (см. задачу № 2), то необходимо пользоваться данными таблиц сортамента. При определении центробежного момента инерции уголка (равнополочного или неравнополочного) относительно осей, параллельных сторонам уголка (если сортамент не содержит этих величин), можно пользоваться формулами:

для равнополочного уголка $J_{zy} = \pm \frac{J_{x0 \max} - J_{y0 \min}}{2},$

для неравнополочного уголка $J_{zy} = \pm \frac{J_y - J_{u \min}}{\operatorname{tg} \alpha}.$

Здесь знак "+" или "-" окончательно определяется по знаку большей площади, занимаемой данной фигурой в локальной декартовой системе координат.

Вопросы для самоконтроля

1. Что называется статическим моментом сечения относительно оси? Какова его размерность?
2. Что называется осевым, полярным и центробежным моментом инерции сечения? Какова размерность моментов инерции?
3. Как определяются координаты центра тяжести простого и сложного сечения?
4. Какие моменты инерции всегда положительны?
5. Для каких фигур и относительно каких осей центробежный момент инерции равен нулю?
6. Какие оси называются главными, главными центральными?
7. Как определяется положение главных осей?
8. В каких случаях без вычисления можно установить положение главных осей?
9. Запишите зависимости для осевых и центробежного моментов инерции при параллельном переносе осей?
10. В какой последовательности определяются значения главных центральных моментов инерции сложного сечения?

Задание 2

ПОСТРОЕНИЕ ЭПЮР ВНУТРЕННИХ СИЛОВЫХ ФАКТОРОВ И РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ-СЖАТИИ ПРЯМОГО СТЕРЖНЯ

Задача № 1. Для заданного стержня (рис. 3) требуется:

1. Изобразить расчетную схему стержня.
2. Построить эпюры продольной силы N_x и нормального напряжения σ_x .
3. Из условия прочности подобрать площадь поперечного сечения стержня A .

Исходные данные и схему стержня взять из табл. 3 по шифру, выданному преподавателем.

Таблица 3

Шифр варианта	I	II			III
	Номер схемы	F_1 , кН	F_2 , кН	q , кН/м	a , м
1	5	10	42	10	0,5
2	6	15	46	12	0,6
3	7	20	50	14	0,7
4	8	45	34	16	0,8
5	9	35	20	8	0,9
6	10	30	14	6	1,0
7	1	16	30	4	1,2
8	2	24	40	18	1,1
9	3	32	25	5	0,4
0	4	26	60	15	0,3

Примечание. Материал стержня – сталь $R = 210$ МПа.

Задача № 2. Для заданного стержня (рис. 4) требуется:

1. Изобразить расчетную схему стержня.
2. Построить эпюры продольной силы N_x и нормального напряжения σ_x .
3. Проверить прочность стержня.
4. Найти удлинения (укорочения) участков стержня a , b , c и полное изменение длины стержня Δl .

Данные для расчета и номер схемы стержня взять из табл. 4 по шифру, выданному преподавателем.

Таблица 4

Шифр варианта	I	II			III		IV	
	Номер схемы	a , м	b , м	c , м	F_1 , кН	F_2 , кН	F_3 , кН	$A/10^{-4}$, м ²
1	1	0,24	0,35	0,50	12	8	9	2,0
2	3	0,23	0,34	0,60	14	10	7	2,2
3	5	0,22	0,33	0,70	16	12	9	2,4
4	7	0,21	0,32	0,80	8	14	11	2,6
5	9	0,20	0,31	0,90	10	15	13	2,8
6	2	0,18	0,29	1,10	15	16	17	3,0
7	4	0,17	0,28	1,20	18	18	19	2,8
8	6	0,16	0,27	1,30	20	22	21	2,6
9	8	0,15	0,26	1,40	10	24	23	2,4
0	10	0,13	0,20	0,60	22	20	25	2,2

Примечание. Материал стержня – сталь $R = 210$ МПа, $E = 2 \cdot 10^5$ МПа.

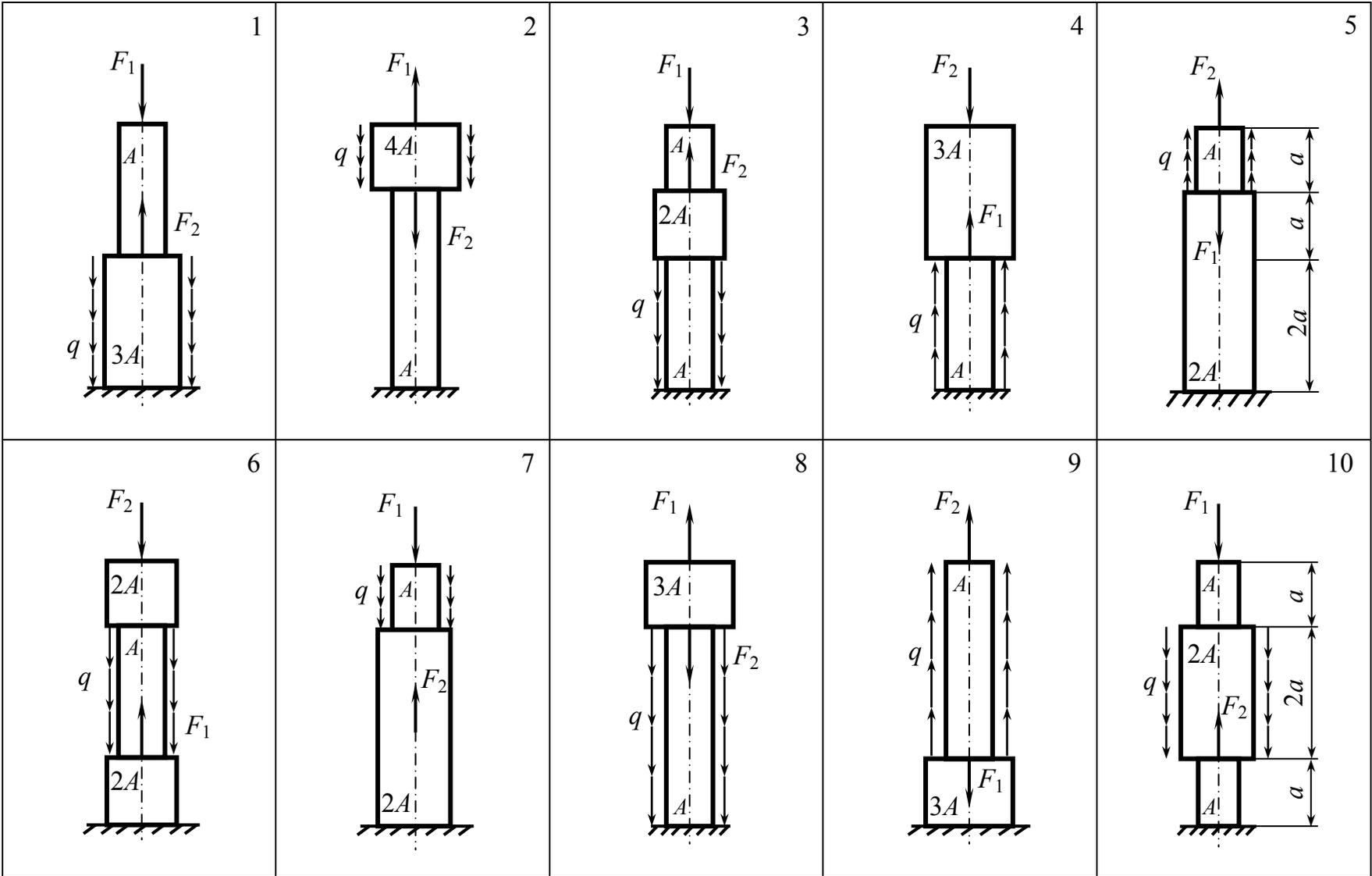


Рис. 3

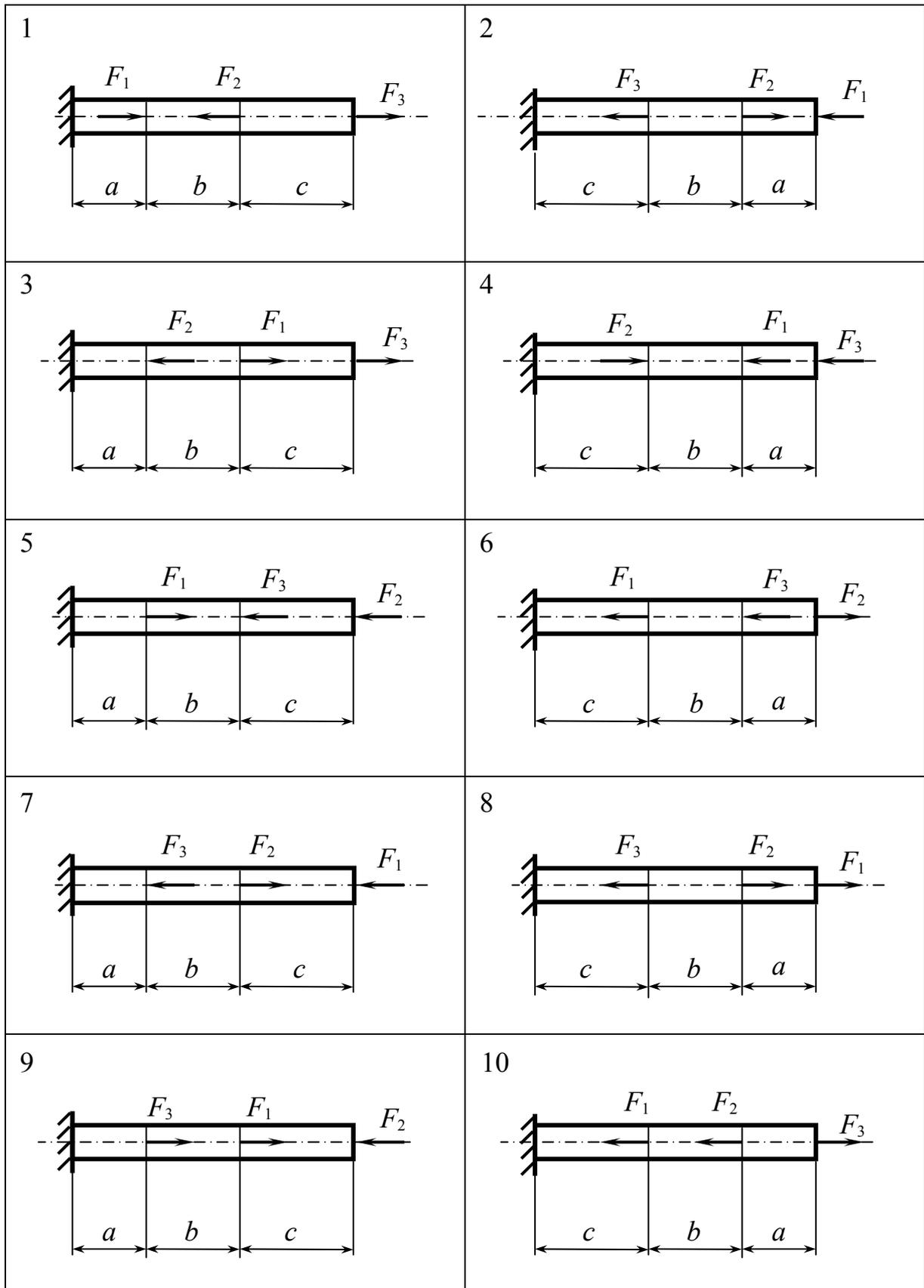


Рис. 4

Указания к выполнению задания 2

Внутренним силовым фактором при растяжении-сжатии является продольная сила N_x .

Эпюры внутренних силовых факторов строим методом сечений.

Рекомендуется следующий порядок выполнения каждой задачи:

1. Определить реакции опор $\sum X = 0$ (ось x направлена вдоль стержня).

2. Разбить схему на участки так, чтобы в пределах каждого участка разбиения характер внешней нагрузки и площадь поперечного сечения не менялись.

3. Для каждого участка разбиения стержня составить выражения $N_x = \sum F_{ix}$ и $\sigma_{x_i} = \frac{N_{x_i}}{A_i}$ и построить соответствующие эпюры.

Правило знаков для продольной силы: продольная сила N_x считается положительной, если она направлена в сторону внешней нормали сечения (то есть если она растягивает отсеченную часть).

Эпюры строятся на базисных линиях, параллельных заданным расчетным схемам. Располагают эпюры непосредственно под расчетной схемой.

4. Для задачи № 1 определить площадь поперечного сечения стержня из условия прочности $\sigma_{\max} = \frac{N_{x \max}}{A_i} \leq R$. Здесь R – расчетное сопротивление материала стержня.

Для задачи № 2 проверить выполнение этого условия.

5. Для задачи № 2 по формуле $\Delta l_i = \frac{N_{x_i} l_i}{EA_i}$, где E – модуль упругости материала (модуль Юнга), определить деформации (удлинение или укорочение) участков стержня.

6. Найти полную деформацию стержня $\Delta l = \sum \Delta l_i$.

Вопросы для самоконтроля

1. При каком нагружении прямой стержень испытывает деформацию растяжения или сжатия?

2. Как вычисляется значение продольной силы в произвольном сечении стержня? Какова ее размерность?

3. Как вычисляются нормальные напряжения в поперечном сечении

стержня? Какова размерность нормальных напряжений?

4. Записать условие прочности при растяжении-сжатии прямого стержня.

5. Как вычисляются деформации при растяжении-сжатии?

6. Какова связь между напряжениями и деформациями? Записать закон Гука.

Задание 3

ПОСТРОЕНИЕ ЭПЮР ВНУТРЕННИХ СИЛОВЫХ ФАКТОРОВ И РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ ПРИ ИЗГИБЕ

Задача № 1. Для заданной шарнирно-консольной балки (рис. 5) требуется:

1. Изобразить расчетную схему.

2. Построить эпюры изгибающего момента M_z и поперечной силы Q_y .

3. Из условия прочности подобрать стальную балку двутаврового сечения при $R = 160$ МПа.

Данные для расчета и номер схемы балки взять из табл. 5.

Таблица 5

Шифр варианта	I	II			III		IV
	Номер схемы	a , м	b , м	c , м	F , кН	M , кН·м	q , кН/м
1	10	1,0	0,8	2,0	15	10	30
2	9	1,2	0,9	1,8	17	12	28
3	8	1,4	1,0	1,6	19	14	26
4	7	1,3	1,1	1,4	10	16	24
5	6	1,1	1,4	1,7	12	18	22
6	1	1,6	1,3	1,9	14	20	20
7	2	1,5	1,2	1,5	16	12	32
8	3	2,0	0,7	1,1	13	16	20
9	4	1,9	0,6	1,2	18	14	34
0	5	1,8	1,5	1,0	20	18	36

Задача № 2. Для заданной консольной балки (рис. 6) требуется:

1. Изобразить расчетную схему.

2. Построить эпюры поперечных сил Q_y и изгибающих моментов M_z .

3. Из условия прочности подобрать размеры поперечного сечения, если балка выполнена из дерева с $R = 10$ МПа.

Поперечное сечение балки – прямоугольник шириной b и высотой h . Данные для расчета и номер схемы взять из табл. 6.

Таблица 6

Шифр варианта	I		II		III	IV
	Номер схемы	h/b	a , м	c , м	F , кН	q , кН/м
1	1	1,6	1,2	2,0	12	30
2	2	1,8	1,4	2,2	14	34
3	3	2,0	1,6	2,4	16	32
4	4	2,2	1,8	2,6	18	30
5	5	2,4	2,0	2,8	10	28
6	6	2,5	2,2	3,0	8	26
7	7	2,6	2,4	1,8	20	24
8	8	2,0	2,6	1,6	22	22
9	9	1,8	2,8	1,4	24	20
0	0	1,6	3,0	1,2	26	18

Указания к выполнению задания 3

Внутренними силовыми факторами при изгибе являются поперечная (или перерезывающая) сила Q_y и изгибающий момент M_z .

Внутренние силовые факторы определяются методом сечений.

Рекомендуется следующий порядок для выполнения каждой задачи:

1. Определить реакции опор. Для этого используются уравнения статики

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

2. Разбить рассматриваемую схему на участки, так же как в задании 2.

3. Для каждого участка разбиения составить выражения Q_y и M_z в зависимости от нагрузок и координаты x сечения, проведенного на участке. Выражения Q_y и M_z составляются для левой или правой части стержня.

$$Q_y = \sum F_i y,$$

$$M_z = \sum M_{\text{сечения}}.$$

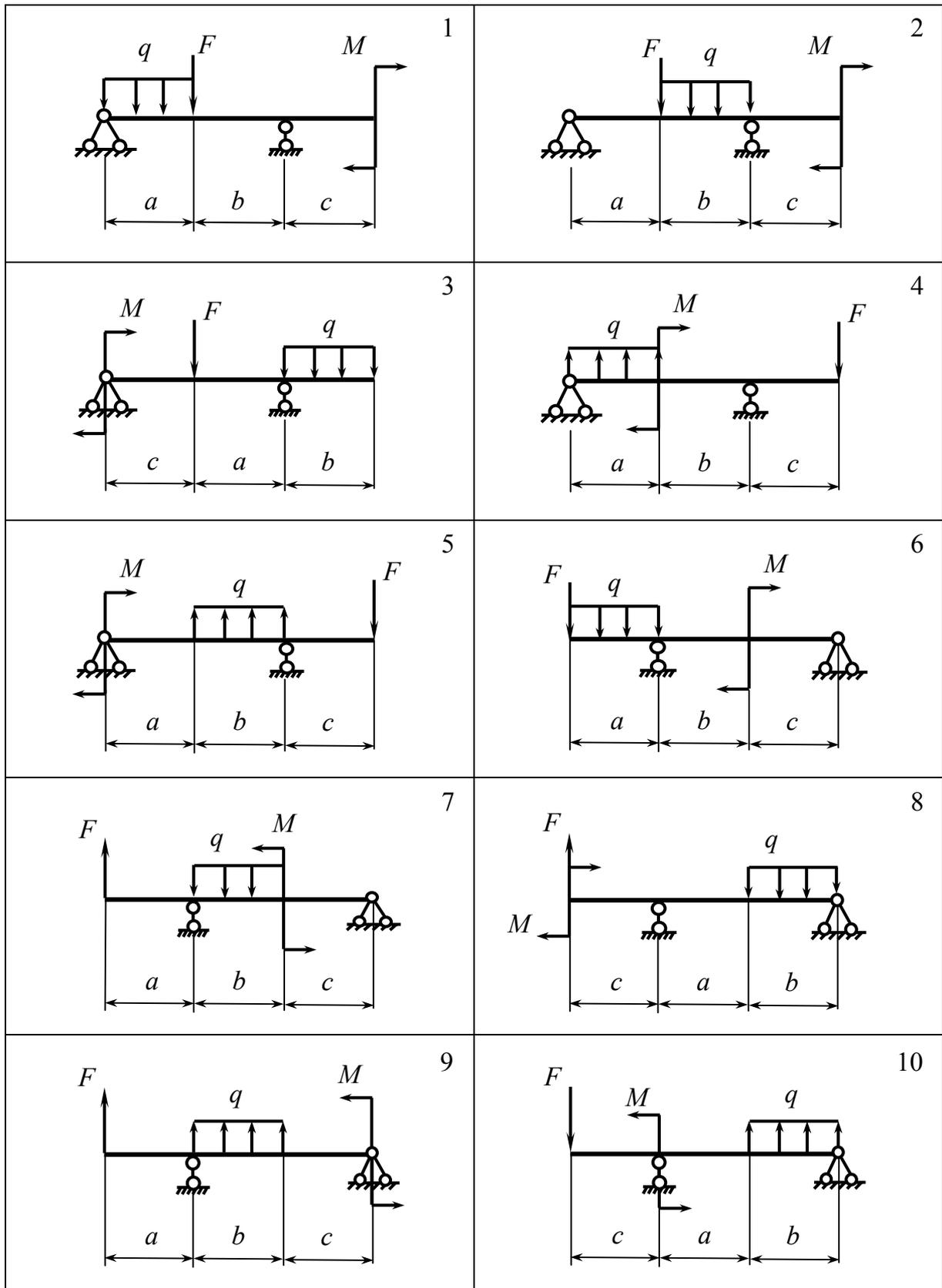


Рис. 5

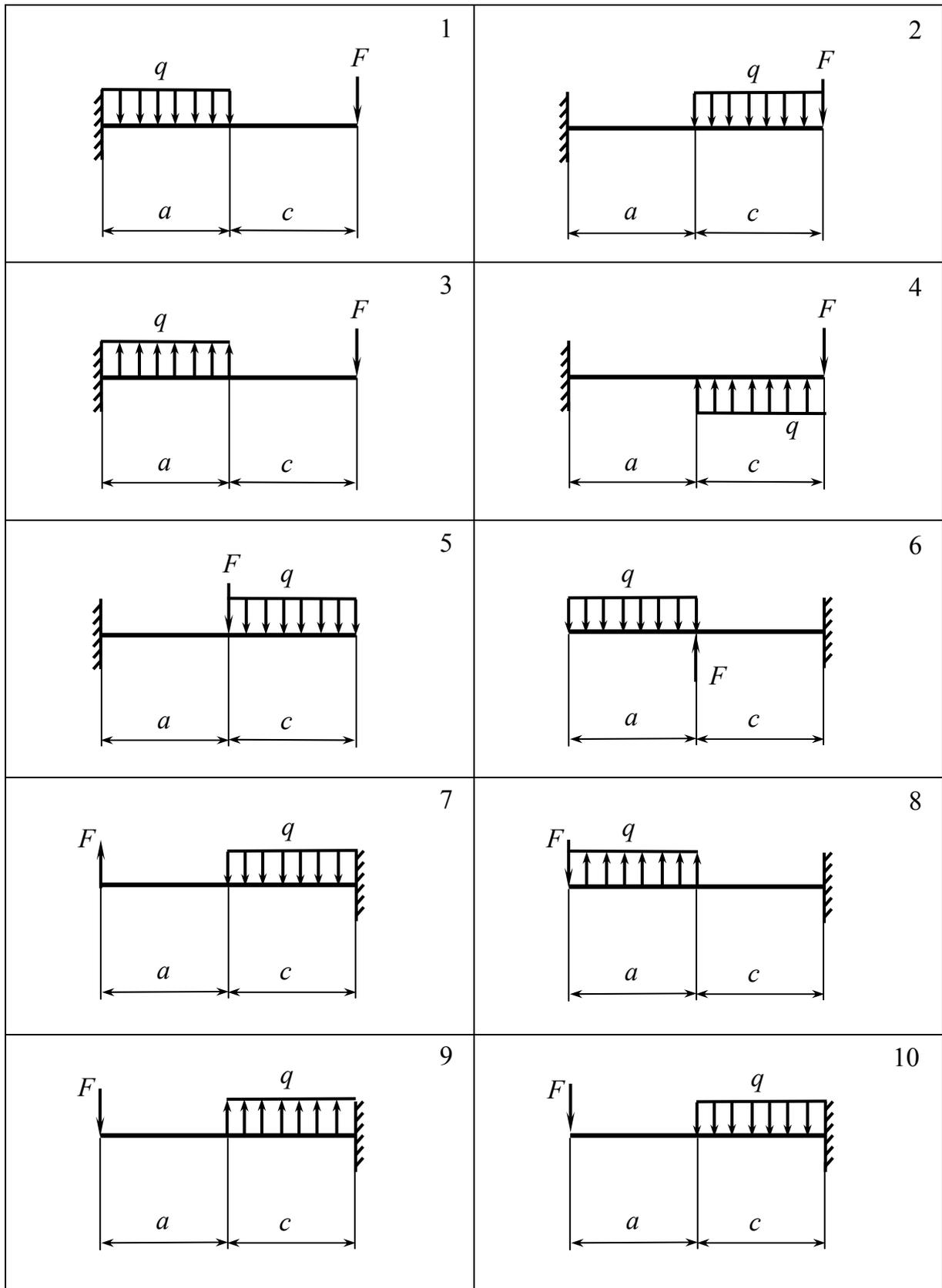


Рис. 6

При составлении этих уравнений следует помнить правила знаков для внутренних силовых факторов:

- поперечная сила Q_y считается положительной, если она стремится повернуть рассматриваемую отсеченную часть по часовой стрелке;

- внутренний изгибающий момент M_z считается положительным, если он растягивает нижние волокна у рассматриваемой отсеченной части.

Далее необходимо построить эпюры Q_y и M_z , расположив их под расчетной схемой балки.

При построении эпюры M_z нужно помнить, что положительный момент необходимо откладывать вниз от оси x . Таким образом, получается, что эпюра M_z строится на растянутых волокнах.

4. Из условия прочности при изгибе $\sigma_{\max} = \frac{M_z^{\max}}{W_z} \leq R$ определить осевой момент сопротивления сечения W_z .

5. Для задачи № 1 по таблицам сортамента подобрать номер двутавровой балки, которая удовлетворяла бы условию прочности.

6. Для задачи № 2 выразить осевой момент сопротивления сечения W_z через один из параметров размера сечения и найти этот размер.

$$\text{Для прямоугольного сечения } W_z = \frac{bh^2}{6}.$$

Вопросы для самоконтроля

1. Что называется прямым поперечным изгибом?
2. Какие внутренние силовые факторы возникают в сечении стержня при прямом поперечном изгибе и каковы их размерности?
3. Какие правила знаков приняты для каждого из этих силовых факторов?
4. Какие типы опор применяются для закрепления балок и какие связи в них возникают?
5. Перечислить основные правила зависимости эпюр внутренних силовых факторов от внешней нагрузки.
6. Как определить нормальные напряжения при изгибе в произвольной точке сечения и как они распределяются по высоте стержня?
7. Что называется осевым моментом сопротивления сечения и как он определяется?
8. Записать условие прочности при изгибе.

Задание 4

СЛОЖНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ. КОСОЙ ИЗГИБ И ВНЕЦЕНТРЕННОЕ РАСТЯЖЕНИЕ-СЖАТИЕ

Задача № 1. Для балки с размерами, нагрузками и поперечным сечением, изображенной на рис. 7, требуется:

1. Изобразить расчетную схему и вычертить в масштабе поперечное сечение.

2. Построить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов в двух плоскостях и определить опасные сечения.

3. Для каждого из опасных сечений найти положение нулевой линии и определить опасные точки.

4. Из условия прочности по нормальным напряжениям определить параметр c поперечного сечения, приняв расчетное сопротивление

$$R_{\text{раст}} = R_{\text{сж}} = R = 10 \text{ МПа} .$$

Данные для расчета взять из табл. 7 по шифру варианта, выданного преподавателем.

Таблица 7

Шифр варианта	I	II			III			IV	
	Номер схемы	$a, \text{ м}$	$b, \text{ м}$	$\frac{d}{c} = k$	$q, \text{ кН/м}$	$F, \text{ кН}$	$\frac{D}{kc}$	$M, \text{ кН}\cdot\text{м}$	$\frac{c_1}{c}$
1	10	2,0	1,8	1,6	8	20	1,2	24	4,6
2	1	2,2	3,0	1,8	6	24	1,4	30	2,0
3	2	2,4	2,8	2,0	10	30	1,5	25	2,4
4	3	2,6	2,2	2,4	12	34	1,6	26	2,8
5	4	2,8	2,4	2,6	14	38	1,8	40	3,6
6	5	3,0	2,0	3,0	16	40	2,0	42	5,4
7	6	3,2	2,5	0,8	15	36	1,8	35	5,0
8	7	3,4	2,6	0,6	13	35	1,6	38	3,0
9	8	3,6	2,4	0,4	9	25	1,4	28	4,4
0	9	2,5	2,0	2,2	7	28	1,2	32	4,0

Задача № 2. Для бетонной колонны (рис. 8), испытывающей внецентренное сжатие силой F , требуется:

1. Из расчета на прочность определить величину сжимающей силы F , приняв расчетное сопротивление бетона на сжатие $R_{\text{сж}} = 8 \text{ МПа}$, а на растяжение $R_{\text{раст}} = 0,5 \text{ МПа}$.

Поперечное сечение балки

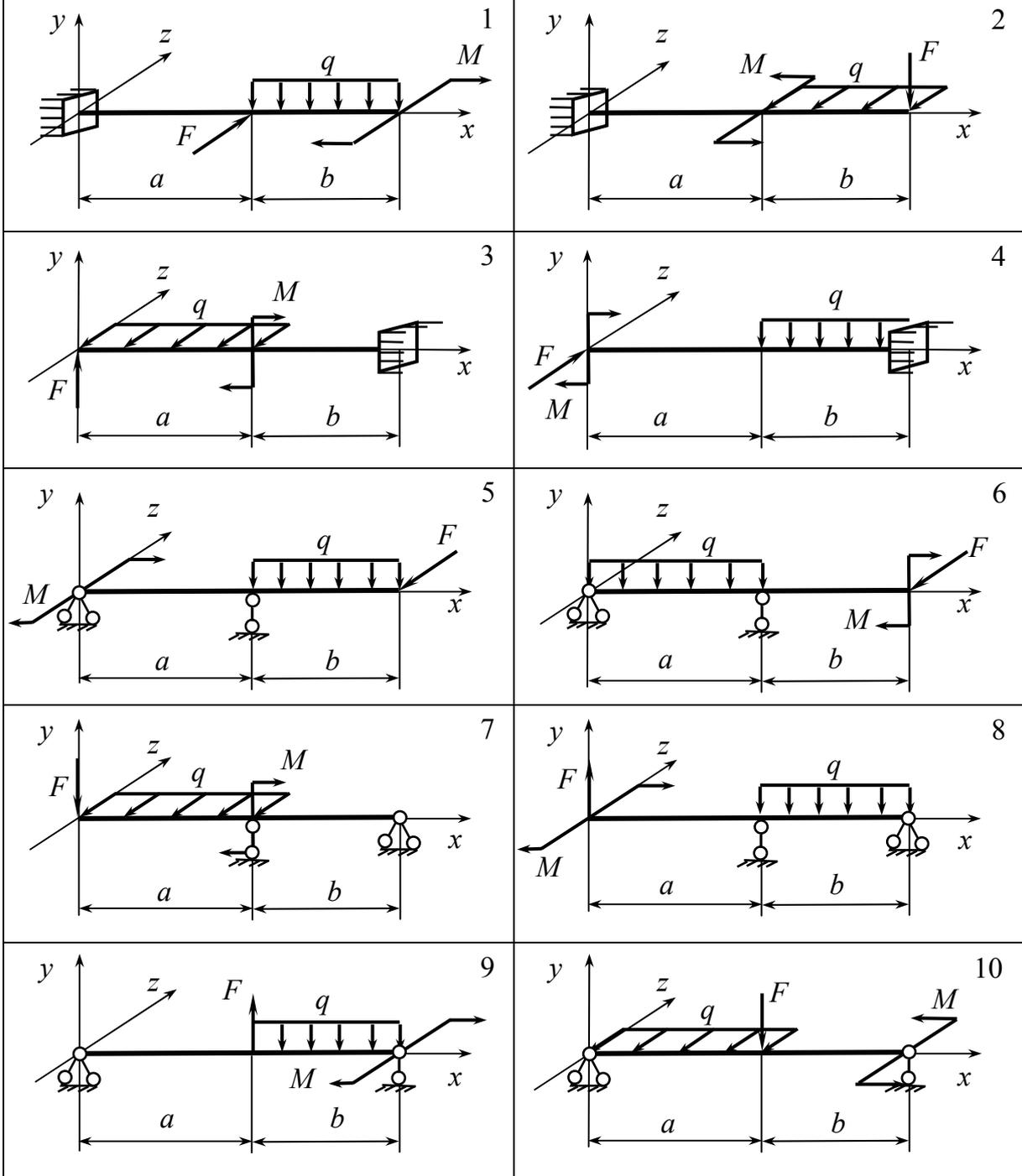
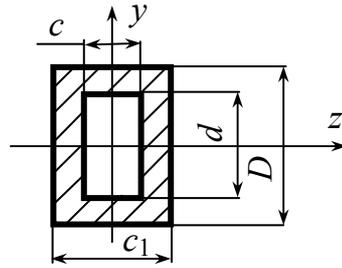


Рис. 7

2. Построить эпюры внутренних силовых факторов: продольной силы N_x и изгибающих моментов M_z и M_y .

3. Построить ядро сечения.

Размеры поперечного сечения колонны и точку приложения силы F взять из табл. 8. Формы поперечного сечения колонны показаны на рис. 9.

Таблица 8

Шифр варианта	I	II	III	IV
	№ сечения	a , м	b , м	F приложена в точке
1	1	0,55	0,70	A
2	2	0,60	0,80	B
3	3	0,65	0,90	C
4	4	0,75	1,00	D
5	5	0,70	1,20	A
6	6	0,80	0,75	B
7	7	0,85	0,60	C
8	8	0,90	0,85	D
9	9	0,95	0,95	A
0	10	1,00	1,10	B

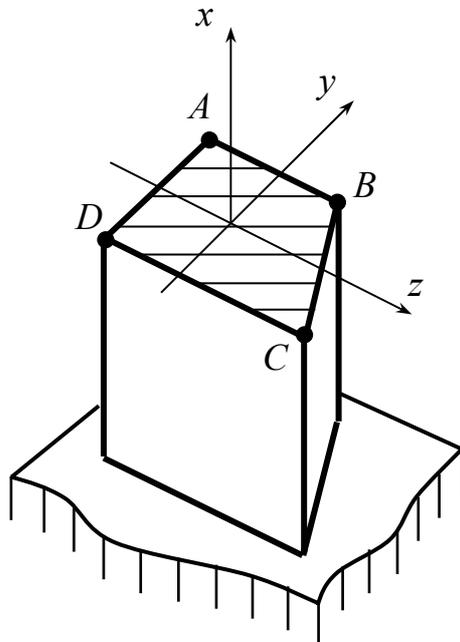


Рис. 8

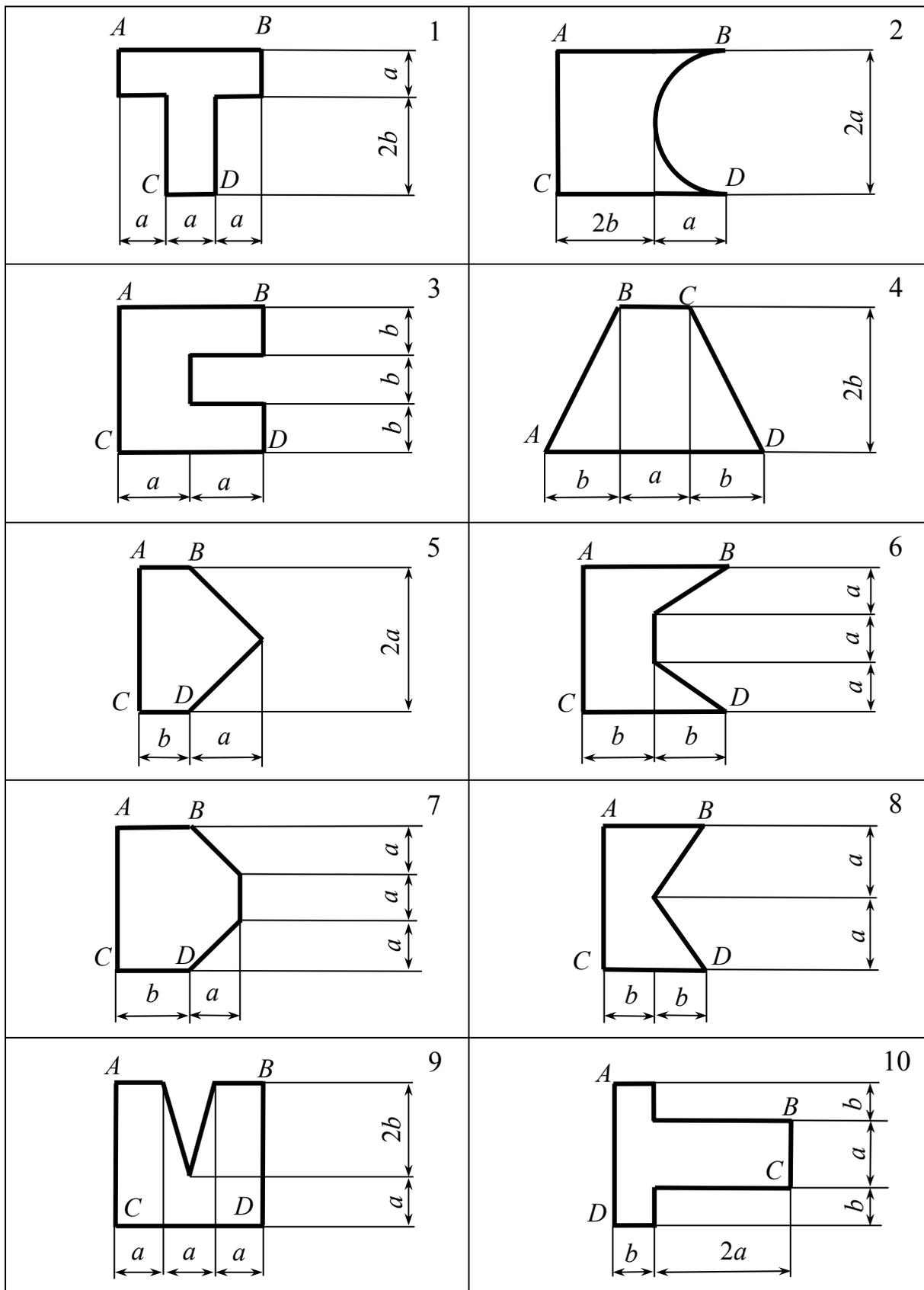


Рис. 9

Указания к выполнению задания 4

Задача № 1. В данной задаче рассматривается косой изгиб балки. Задачу рекомендуется выполнять в следующем порядке:

1. Вычертить расчетную схему балки с указанием размеров и нагрузки согласно своему варианту.

2. Рассмотреть отдельно вертикальную ($xу$) и горизонтальную (xz) плоскости и построить в каждой из них эпюры внутренних силовых факторов:

а) в плоскости $xу$ – эпюру Q_y и эпюру M_z ;

б) в плоскости xz – эпюру Q_z и эпюру M_y .

Выбрать опасные сечения: сечение с максимальным моментом в вертикальной плоскости и соответствующим ему моментом в горизонтальной плоскости, а также сечение с максимальным моментом в горизонтальной плоскости и соответствующим ему моментом в вертикальной плоскости.

3. Вычертить крупно в масштабе с указанием всех необходимых размеров поперечное сечение балки. Все размеры выразить через параметр c и вычислить для сечения осевые моменты инерции относительно главных центральных осей J_y и J_z .

4. Найти положение нулевой линии в каждом из опасных сечений по формуле

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{M_y J_z}{M_z J_y},$$

где α – угол между осью z и нулевой линией, проходящей через центр тяжести сечения.

Следует знать, что нулевая линия проходит через те четверти системы координат yz , где напряжения, вызванные моментами M_z и M_y , имеют разные знаки. Как известно, эпюры изгибающих моментов строятся на растянутых волокнах, а растягивающее нормальное напряжение положительно, следовательно, если эпюра M_z отложена книзу от оси x стержня, то положительное напряжение σ_x от M_z будет в нижней части сечения, и наоборот. А также если эпюра M_y отложена слева при взгляде навстречу оси x , то положительное напряжение σ_x от M_y будет в левой части сечения. Опасными точками в поперечном сечении будут точки, наиболее удаленные от нулевой линии.

5. Из расчета на прочность найти параметр c для каждого из предполагаемых опасных сечений. Из этих двух размеров выбрать наибольший.

Условие прочности при косом изгибе имеет вид:

$$\sigma_{\text{о.т.}} = \left| \frac{M_z}{J_z} y_{\text{о.т.}} \right| + \left| \frac{M_y}{J_y} z_{\text{о.т.}} \right| \leq R.$$

Здесь под сокращением о.т. мы понимаем опасную точку.

Задача № 2. В данной задаче рассматривается внецентренное сжатие бетонной колонны. Рекомендуется следующий порядок расчета:

1. Вычертить поперечное сечение колонны в масштабе крупно, с указанием всех необходимых размеров и точки приложения сжимающей силы F .

2. Вычислить геометрические характеристики сечения, а именно: найти положение центра тяжести и провести в сечении главные центральные оси инерции; найти площадь всего сечения A и главные центральные моменты инерции J_y и J_z .

3. Определить положение нулевой линии в сечении, которая в отличие от косоугольного изгиба не пройдет через центр тяжести сечения.

Положение нулевой линии определяется в отрезках, отсекаемых нулевой линией от осей y и z :

$$a_z = -\frac{i_y^2}{z_F} - \text{отрезок, отсекаемый нулевой линией от оси } z,$$

$$a_y = -\frac{i_z^2}{y_F} - \text{отрезок, отсекаемый нулевой линией от оси } y.$$

Здесь $i_y = \sqrt{\frac{J_y}{A}}$ и $i_z = \sqrt{\frac{J_z}{A}}$ – радиусы инерции сечения относительно соответствующих осей; y_F и z_F – соответствующие координаты точки приложения силы F .

Отрезки a_z и a_y следует откладывать с учетом знака от центра тяжести сечения на осях z и y .

4. Определить опасную точку в растянутой зоне сечения и опасную точку в сжатой зоне сечения, записать условие прочности для этих точек:

$$\sigma_{\text{о.т.}}^{\text{раст}} = -\left| \frac{N}{A} \right| + \left| \frac{M_z}{J_z} y_{\text{о.т.}} \right| + \left| \frac{M_y}{J_y} z_{\text{о.т.}} \right| \leq R_{\text{раст}},$$

$$\sigma_{\text{о.т.}}^{\text{сж}} = -\left| \frac{N}{A} \right| - \left| \frac{M_z}{J_z} y_{\text{о.т.}} \right| - \left| \frac{M_y}{J_y} z_{\text{о.т.}} \right| \leq R_{\text{сж}}.$$

5. Вычертить расчетную схему колонны с указанием действующих

на ее ось силы F и изгибающих моментов M_z и M_y . Вправо от расчетной схемы вычертить эпюры внутренних силовых факторов N_x , M_z и M_y .

6. Вычислить параметры ядра сечения. Для этого вычертить сечение в масштабе и последовательно проводить нулевые линии по касательным к сечению, так чтобы они не пересекали его.

Координаты характерных точек ядра сечения вычисляются по формулам $y_F = -\frac{i_z^2}{a_y}$ и $z_F = -\frac{i_y^2}{a_z}$.

Вопросы для самоконтроля

1. Какой вид деформации называется косым изгибом?
2. Как определяется опасное сечение при косом изгибе?
3. Что такое нулевая линия?
4. Как проходит нулевая линия в сечении при косом изгибе? По какой формуле определяется ее положение?
5. Что такое опасная точка?
6. Записать условие прочности при косом изгибе.
7. Какой вид деформации называется внецентренным растяжением-сжатием?
8. Какие внутренние силовые факторы возникают при косом изгибе и какие при внецентренном растяжении-сжатии?
9. Как проходит по сечению и как определяется положение нулевой линии при внецентренном растяжении-сжатии?
10. Записать условие прочности при внецентренном растяжении-сжатии.
11. Что такое ядро сечения?
12. Опишите порядок построения ядра сечения.

Задание 5

РАСЧЕТ ЦЕНТРАЛЬНО-СЖАТЫХ СТЕРЖНЕЙ НА УСТОЙЧИВОСТЬ

Задача № 1. Гибкий тонкий стержень длиной l нагружен сжимающей силой F . Условия закрепления стержня взять в соответствии с коэффициентом приведения длины μ . Значения l , F , μ , а также форму поперечного сечения принять по номеру варианта (табл. 9).

Требуется определить размеры поперечного сечения стержня. При расчете пользоваться коэффициентом снижения расчетного сопротивления на сжатие φ .

Таблица 9

Шифр варианта	I	II	III	IV		
	l , м	μ	F , кН	Форма поперечного сечения	Материал	Расчетное сопротивление R , МПа
1	4,0	0,7	650	Швеллер	Сталь	160
2	3,9	0,5	600	Двутавр	Сталь	160
3	3,8	2,0	550	Равнобокий уголок	Сталь	160
4	3,7	1,0	500	Неравнобокий уголок	Сталь	160
5	3,6	0,7	450	Квадрат	Сосна	10
6	3,5	0,5	400	Круг	Сосна	10
7	3,4	2,0	350	Равнобокий уголок	Сталь	160
8	3,3	1,0	300	Неравнобокий уголок	Сталь	160
9	3,2	0,7	250	Швеллер	Сталь	160
0	3,1	0,5	200	Двутавр	Сталь	160

Задача № 2. Для длинного, гибкого центрально-сжатого стержня, условия закрепления которого показаны на рис. 10, требуется найти значение критической сжимающей силы.

Данные для расчета взять из табл. 10 по шифру варианта, выданного преподавателем. Поперечное сечение стержня изображено на рис. 11.

Указания к выполнению задания 5

Задача № 1. В данной задаче рассматривается проектировочный расчет центрально-сжатых гибких стержней на устойчивость. Рекомендуется следующий порядок расчета:

1. Вычертить схему стержня, соответствующую своему варианту (см. рис. 10) согласно коэффициенту приведения длины μ , взятому из табл. 9 по своему шифру.

2. Из условия устойчивости центрально-сжатых стержней

$$\sigma = \frac{N}{A} \leq \varphi R$$

выразим площадь поперечного сечения $A \geq \frac{N}{\varphi R}$.

Таблица 10

Шифр варианта	I	II	III	IV								
	Схема стержня (рис. 10)	l , м	Форма сечения (рис. 11)	c , мм	c_1 , мм	d , мм	d_1 , мм	Материал	Характеристики материала			
									E , МПа	$\lambda_{\text{пред}}$	a , МПа	b , МПа
1	2	2,8	2	80	50	80	30	Дерево	$0,12 \cdot 10^5$	110	29,3	0,194
2	3	2,2	3	100	60	90	50	Дерево	$0,12 \cdot 10^5$	110	29,3	0,194
3	4	2,4	4	120	65	100	40	Дерево	$0,12 \cdot 10^5$	110	29,3	0,194
4	1	3,4	5	50	40	60	30	Ст. 5	$2,1 \cdot 10^5$	100	464	3,62
5	2	2,6	6	70	35	60	30	Ст. 3	$2 \cdot 10^5$	100	310	1,14
6	3	3,0	1	90	60	100	40	Дерево	$0,12 \cdot 10^5$	110	29,3	0,194
7	4	3,6	2	140	60	110	50	Дерево	$0,12 \cdot 10^5$	110	29,3	0,194
8	1	3,8	3	150	70	120	60	Дерево	$0,12 \cdot 10^5$	110	29,3	0,194
9	2	4,0	4	60	40	70	30	Дерево	$0,12 \cdot 10^5$	110	29,3	0,194
0	1	3,2	1	60	45	70	50	Ст. 3	$2 \cdot 10^5$	100	310	1,14

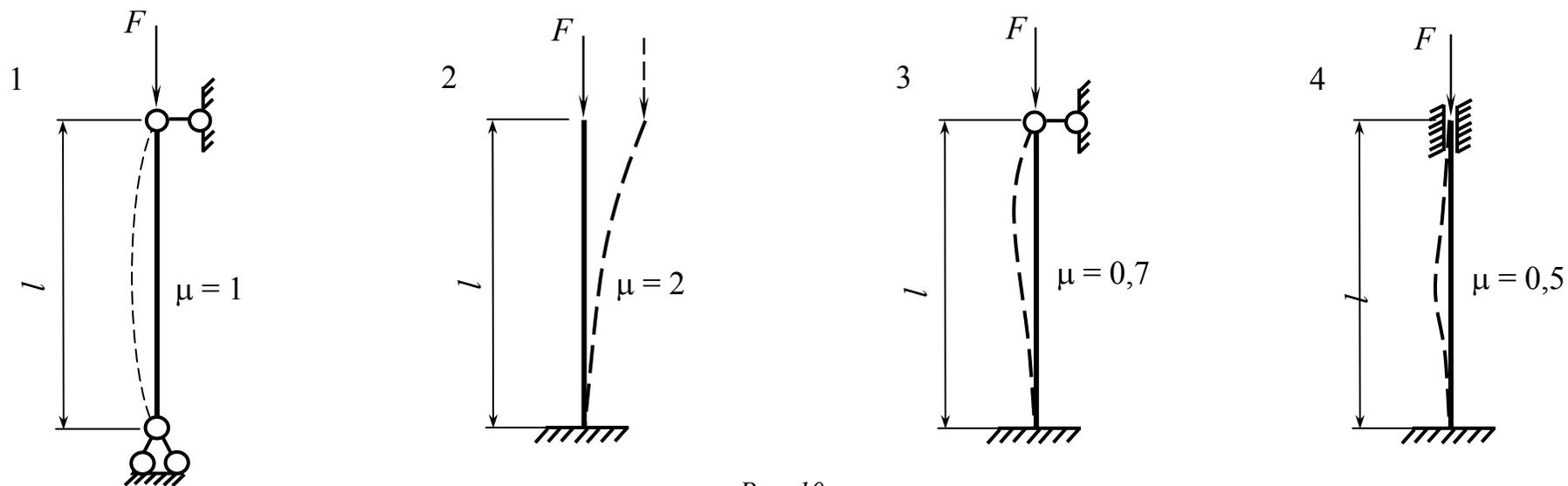


Рис. 10

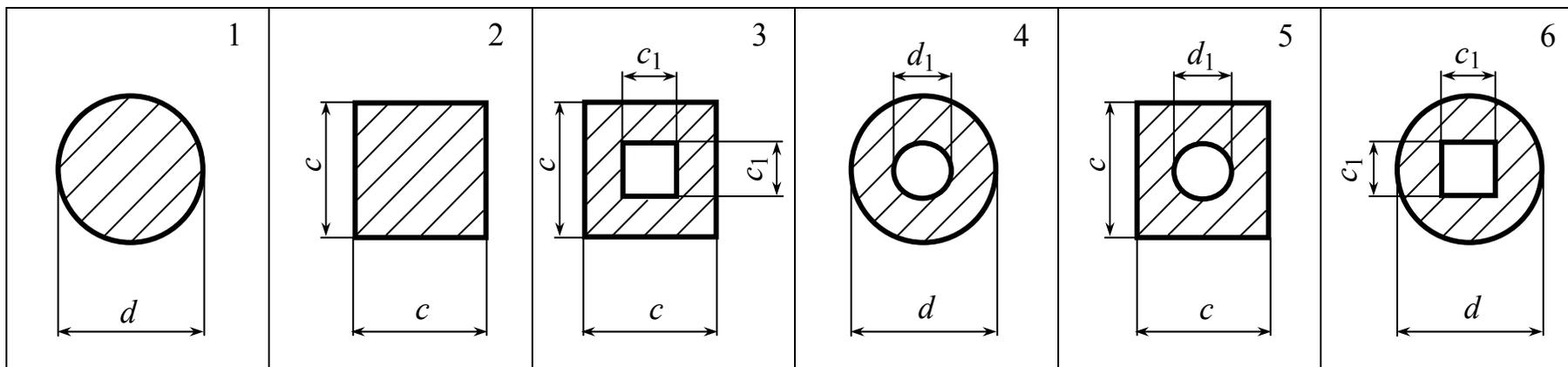


Рис. 11

Здесь $N = F$ - продольная сила; A – площадь поперечного сечения стержня; φ - коэффициент снижения расчетного сопротивления стержня, изменяется в пределах от нуля до единицы и зависит от гибкости стержня λ , которая, в свою очередь, зависит от радиуса инерции сечения i .

Таким образом, условие устойчивости имеет два неизвестных A и φ . Такие уравнения решаются методом последовательных приближений.

В первом приближении принимаем $\varphi_1 = 0,5$ и по найденной площади подбираем номер прокатного профиля из сортамента или вычисляем параметры круглого (квадратного) сечения.

3. Находим гибкость получившегося стержня:

$$\lambda_{\max} = \frac{\mu l}{i_{\min}},$$

где i_{\min} – радиус инерции, взятый из сортамента согласно полученному номеру прокатного профиля стержня. Для круглого сечения $l = 0,5 d$, для квадратного $i = 0,289 a$.

4. По табл. 11 подбираем действительный коэффициент φ_d методом линейной интерполяции.

Таблица 11

λ	φ для материала		λ	φ для материала		λ	φ для материала	
	Ст. 3	Дерево		Ст. 3	Дерево		Ст. 3	Дерево
0	1,00	1,00	70	0,81	0,60	140	0,36	0,16
10	0,99	0,99	80	0,75	0,48	150	0,32	0,14
20	0,96	0,97	90	0,69	0,38	160	0,29	0,12
30	0,94	0,93	100	0,60	0,31	170	0,26	0,11
40	0,92	0,87	110	0,52	0,25	180	0,23	0,10
50	0,89	0,80	120	0,45	0,22	190	0,21	0,09
60	0,86	0,71	130	0,40	0,18	200	0,19	0,08

5. Сравнить принятое в начале приближения значение φ_i с действительным коэффициентом снижения расчетного сопротивления φ_{di} . Если разница между ними велика (более 5 %), то необходимо сделать следующее приближение, принимая

$$\varphi_{i+1} = \frac{\varphi_i + \varphi_{di}}{2}.$$

И повторять расчет надо то тех пор, пока расхождение между φ и φ_d не будет менее 5 %.

6. Вычислить по формуле $\sigma = \frac{F}{\varphi_d A}$ напряжение в стержне. Сравнить

это напряжение с расчетным сопротивлением R :

а) если $\sigma < R$, имеет место недонапряжение,

б) если $\sigma > R$, имеет место перенапряжение.

7. Подсчитать разницу между σ и R в процентах по формуле

$$\Delta = \frac{\sigma - R}{R} 100\%.$$

Недонапряжение не должно превышать 10 %, а перенапряжение – 5 %.

Задача № 2. В этой задаче необходимо определить значение критической силы центрально-сжатого гибкого стержня. Рекомендуется следующий порядок расчета:

1. Вычертить схему стержня и поперечное сечение.

2. Вычислить осевой момент инерции сечения.

3. Вычислить радиус инерции сечения $i = \sqrt{\frac{J}{A}}$.

4. Вычислить гибкость стержня $\lambda = \frac{\mu l}{i}$.

5. Вычислить критическую силу.

Если $\lambda > \lambda_{\text{пред}}$ (предельная гибкость), то критическую силу вычислим по формуле Эйлера

$$F_{\text{кр}} = \frac{\pi^2 EJ}{(\mu l)^2},$$

где E – модуль упругости материала.

Если $\lambda < \lambda_{\text{пред}}$, то критическую силу надо определять по формуле Ясинского $\sigma_{\text{кр}} = a - b\lambda$, где a и b – константы, зависящие от материала.

$$F_{\text{кр}} = \sigma_{\text{кр}} A.$$

Вопросы для самоконтроля

1. Что называется потерей устойчивости центрально-сжатого стержня?
2. Записать формулу для определения гибкости стержня.
3. Записать условие устойчивости.
4. Рассказать порядок расчета стержней на устойчивость по коэффициенту снижения расчетного сопротивления.
5. Что такое критическая сила?
6. Записать формулу Эйлера.
7. Рассказать о пределах применимости формулы Эйлера.
8. Записать формулу Ясинского. В каких случаях она применяется?

Задание 6

ПЛОСКАЯ ЗАДАЧА ТЕОРИИ УПРУГОСТИ

Задача. Дана прямоугольная полоса-балка (рис. 12), длиной l , высотой h и толщиной, равной единице. За начало координат (точку "о") принять середину левого торцевого сечения. Главными осями поперечного сечения являются оси oy и oz , продольная ось ox проходит по середине полосы-балки. Выражение для функций напряжений φ , а также числовые значения к задаче выбрать из табл. 12 по своему шифру варианта, выданному преподавателем. Объемными силами следует пренебречь. Требуется:

1. Проверить, может ли предложенная функция $\varphi(x, y)$ быть принята для решения плоской задачи теории упругости, то есть является ли эта функция бигармонической.
2. Найти выражения для напряжений σ_x , σ_y и τ_{xy} .
3. Построить эпюры напряжений σ_x , σ_y и τ_{xy} для одного сечения, перпендикулярного к оси ox , и другого сечения, перпендикулярного к оси oy (значения x и y даны в табл. 12).

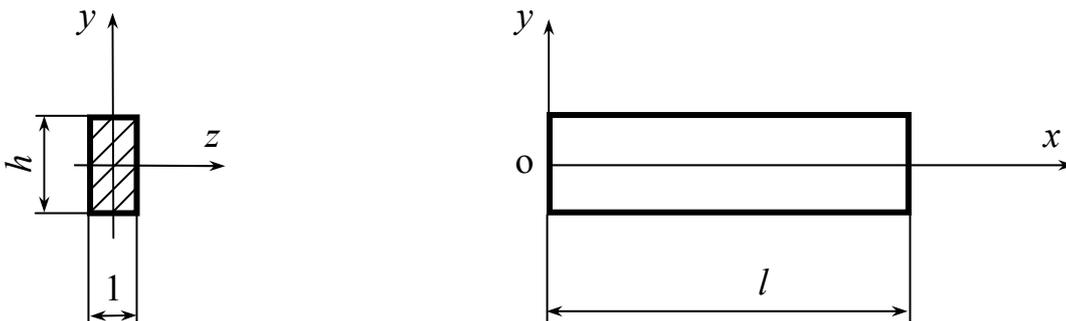


Рис. 12

Указания к выполнению задания 6

1. Выписать функцию напряжений φ согласно своему шифру и вычертить полосу-балку с указанием размеров. Отметить на ней сечения, для которых необходимо построить эпюры σ_x , σ_y и τ_{xy} .

2. Проверить бигармоничность функции напряжений φ . Условие бигармоничности

$$\nabla^4 \varphi = \frac{\partial^4 \varphi}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 \varphi}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 \varphi}{\partial y^4} = 0.$$

Таблица 12

Шифр варианта	I	II		III		IV	
	Выражение φ	A	b	$h, \text{ м}$	$y, \text{ м}$	$l, \text{ м}$	$x, \text{ м}$
1	$\varphi = ax^3y + b\left(x^2y^2 - \frac{y^4}{3}\right)$	2	1	2	0,5	6	2
2	$\varphi = ax^3 + bx^2y + xy^2 + y^3$	3	1	2	0,3	5	2
3	$\varphi = ax^5 + b\left(x^4y - \frac{y^5}{5}\right) - 5axy^4$	1	3	1	0,4	6	3
4	$\varphi = ax^4 + bx^3y + xy^3 - ay^4$	2	3	2	0,5	4	2
5	$\varphi = ax^4 + bx^2y^2 - \left(a + \frac{b}{3}\right)y^4 + xy$	3	2	1	0,3	5	2
6	$\varphi = ax^4y - \frac{1}{5}ay^5 + bxy^2 + x^2$	2	1	2	0,6	4	2
7	$\varphi = ax^3y^2 - axy^4 + bxy + x^2$	2	2	1	0,3	4	1
8	$\varphi = a\left(x^2y^3 - \frac{y^5}{5}\right) + bx^2y + y^2$	3	3	2	0,5	5	2
9	$\varphi = ax^5 + bx^3y^2 - (5a + b)xy^4$	1	1	2	0,4	4	1
0	$\varphi = ax^3 + xy^2 + x^2y + by^3 + x^2$	1	2	1	0,2	4	1

3. Найти выражение для напряжений $\sigma_x = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2}$; $\sigma_y = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2}$;

$$\tau_{xy} = -\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial y}.$$

4. Построить эпюры σ_x , σ_y и τ_{xy} для двух сечений, заданных в условии. Эпюры надо строить по пяти точкам в каждом сечении. Эти пять точек получаем разбиением сечений на четыре равные части.

Схему полосы-балки и эпюры вычертить на одном листе формата А 4. Для сечения параллельного оси oy (на расстоянии x от начала отсчета) эпюры разместить вправо от полосы балки. Для сечения параллельного оси ox (на высоте y от начала отсчета) эпюры расположить снизу от полосы-балки. Линейный масштаб выдержать одинаковым.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое функция φ ?
2. Записать условие бигармоничности функции напряжений.
3. Записать выражение для напряжений σ_x , σ_y и τ_{xy} через функцию φ .

Задание 7

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ В ТОЧКЕ ТЕЛА

Задача. Для напряженного состояния в точке тела (рис. 13), заданного девятью компонентами $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy} = \tau_{yx}, \tau_{yz} = \tau_{zy}, \tau_{zx} = \tau_{xz}$, требуется:

1. Определить величины главных напряжений.
2. Определить положение главных площадок (вычислить направляющие косинусы нормалей к главным площадкам).
3. Показать на рисунке нормали к главным площадкам.

Необходимые данные взять из табл. 13 по первым трем цифрам шифра, выданного преподавателем.

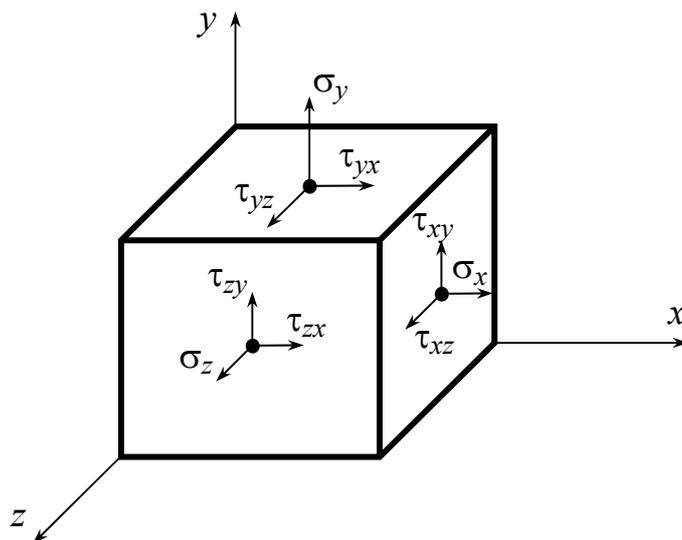


Рис. 13

Шифр варианта	I		II		III	
	σ_x , МПа	σ_y , МПа	σ_z , МПа	τ_{xy} , МПа	τ_{yz} , МПа	τ_{xz} , МПа
1	20	- 20	- 30	10	10	10
2	- 30	20	40	20	20	- 10
3	- 40	20	80	20	- 20	- 20
4	- 20	40	10	30	30	- 10
5	- 30	- 50	20	40	- 20	- 20
6	- 50	30	- 10	- 20	- 10	- 30
7	80	50	- 70	- 20	- 30	20
8	60	- 30	30	- 30	- 30	30
9	70	- 30	50	- 40	40	30
0	20	40	40	10	10	10

Указания к выполнению задания 7

1. Выписать свои данные из табл. 13 и выполнить рисунок с указанием цифровых значений напряжений и их истинных направлений.

2. Величины главных напряжений в задаче на исследование напряженного состояния в точке тела находят из решения кубического уравнения

$$\sigma^3 - J_1\sigma^2 + J_2\sigma - J_3 = 0, \quad (1)$$

где коэффициенты являются инвариантами преобразования координат:

$$J_1 = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z;$$

$$J_2 = \sigma_x\sigma_y + \sigma_y\sigma_z + \sigma_z\sigma_x - \tau_{xy}^2 - \tau_{yz}^2 - \tau_{xz}^2;$$

$$J_3 = \sigma_x\sigma_y\sigma_z + 2\tau_{xy}\tau_{yz}\tau_{xz} - \sigma_x\tau_{yz}^2 - \sigma_y\tau_{xz}^2 - \sigma_z\tau_{xy}^2.$$

Уравнение (1) подстановкой $\sigma = y + \frac{J_1}{3}$ приводится к виду

$$y^3 + py + q = 0, \quad (2)$$

где новые коэффициенты соответственно равны:

$$p = J_2 - \frac{J_1^2}{3}; \quad q = -\frac{2}{27}J_1^3 + \frac{1}{3}J_1J_2 - J_3.$$

Корни уравнения (2) выражаются через вспомогательный угол φ , определяемый из равенства

$$\cos \varphi = \frac{q}{2r^3},$$

где $r = \pm 0,5774\sqrt{|p|}$ (знак r должен совпадать со знаком q , следовательно, $\cos \varphi > 0$).

Корни уравнения (2) определяются из равенств:

$$y_1 = -2r \cos \frac{\varphi}{3}; \quad y_2 = 2r \cos \left(60^\circ - \frac{\varphi}{3} \right); \quad y_3 = 2r \cos \left(60^\circ + \frac{\varphi}{3} \right).$$

Тогда величины главных напряжений

$$\sigma' = y_1 + \frac{J_1}{3}; \quad \sigma'' = y_2 + \frac{J_1}{3}; \quad \sigma''' = y_3 + \frac{J_1}{3}.$$

Этим трем главным напряжениям присвоим обозначения $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$, где $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$.

3. Провести контроль правильности решения кубического уравнения (1), используя то, что инварианты – это величины постоянные, как бы мы не крутили систему координат.

Проверка: $J_1 = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$;

$$J_2 = \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_3\sigma_1;$$

$$J_3 = \sigma_1\sigma_2\sigma_3.$$

4. Для определения направления главных площадок вычислим направляющие косинусы нормалей к главным площадкам l, m, n , используя следующие соотношения:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{m}{l} = \frac{\tau_{xy}\tau_{zx} - (\sigma_x - \sigma)\tau_{xy}}{A} \\ \frac{n}{l} = \frac{(\sigma_x - \sigma)(\sigma_y - \sigma) - \tau_{xy}^2}{A} \end{array} \right., \quad (3)$$

где

$$A = \tau_{xy}\tau_{yz} - (\sigma_y - \sigma)\tau_{zx}. \quad (4)$$

Значение l можно вычислить из соотношения

$$l^2 + m^2 + n^2 = 1; \quad 1 + \frac{m^2}{l^2} + \frac{n^2}{l^2} = \frac{1}{l^2};$$

$$l = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{m}{l}\right)^2 + \left(\frac{n}{l}\right)^2}}.$$

$$m = l \frac{m}{l}, \quad n = l \frac{n}{l}.$$

Таким образом, подставляя в уравнения (3) и (4) свои значения главных напряжений σ_1, σ_2 и σ_3 вместо σ , находим свои направляющие косинусы для нормалей v_1, v_2 и v_3 к трем главным площадкам:

для $v_1 - l_1, m_1, n_1$;

для $v_2 - l_2, m_2, n_2$;

для $v_3 - l_3, m_3, n_3$.

5. Показать на рисунке нормали к главным площадкам. Для этого воспользуемся следующими соображениями: можно рассматривать l, m, n как координаты некоторой точки K (рис. 14), лежащей на нормали v к соответствующей главной площадке (в решении необходимо привести три таких рисунка для v_1, v_2 и v_3).

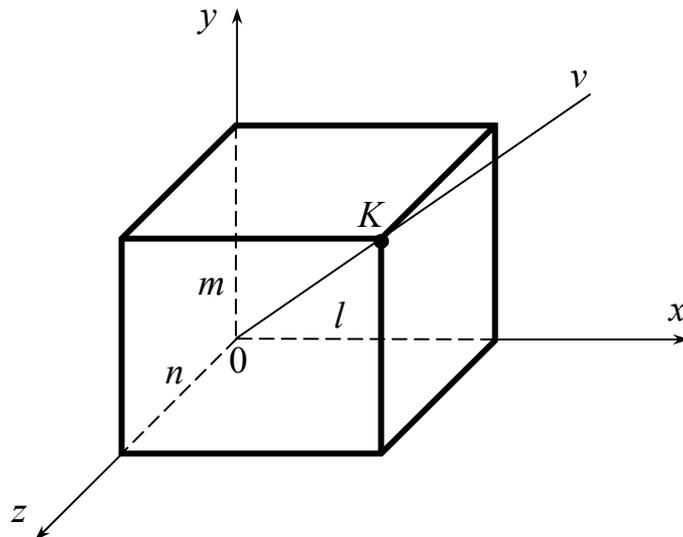


Рис. 14

6. Сделать проверку правильности определения косинусов l, m, n из условия взаимной перпендикулярности нормалей к главным площадкам:

$$\begin{cases} l_1 l_2 + m_1 m_2 + n_1 n_2 = 0 \\ l_1 l_3 + m_1 m_3 + n_1 n_3 = 0 \\ l_2 l_3 + m_2 m_3 + n_2 n_3 = 0 \end{cases} .$$

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое главные напряжения и главные площадки?
2. Записать кубическое уравнение для определения главных напряжений.
3. Что такое инварианты кубического уравнения главных напряжений?
4. Чему равны касательные напряжения на главных площадках?
5. Какая связь существует между направляющими косинусами к главным площадкам?

Пример оформления титульного листа

Министерство образования Российской Федерации
Владимирский государственный университет
Кафедра сопротивления материалов

КУРСОВАЯ РАБОТА

по _____
(название курса)

(название курсовой работы)

Шифр _____

Выполнил: ст-т _____
(Ф.И.О.)

гр. _____

Принял _____
(Ф.И.О. преподавателя)

Владимир 2004

Список рекомендуемой литературы

1. Александров А.В., Потапов В.Д., Державин Б.П. Сопротивление материалов. - М.: Высш. шк, 2001. – 560 с.
2. Пособие к решению задач по сопротивлению материалов/ И.Н. Миронов, С.А. Енгальчев, Н.Д. Сергиевский и др. – М.: Высш. шк, 1985. – 339 с.
3. Самуль В.И. Основы теории упругости и пластичности. – М.: Высш. шк, 1970. – 288 с.

Оглавление

Общие требования к выполнению курсовых работ.....	3
Задание 1. Геометрические характеристики плоских поперечных сечений стержня.....	4
Задание 2. Построение эпюр внутренних силовых факторов и расчет на прочность при растяжении-сжатии прямого стержня	10
Задание 3. Построение эпюр внутренних силовых факторов и расчет на прочность при изгибе	15
Задание 4. Сложное сопротивление. Косой изгиб и внецентренное растяжение-сжатие.....	20
Задание 5. Расчет центрально сжатых стержней на устойчивость	26
Задание 6. Плоская задача теории упругости.....	32
Задание 7. Исследование напряженного состояния в точке тела.....	34
Приложение	39
Список рекомендуемой литературы.....	40

СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

Методические указания и задания к курсовым работам
для студентов строительных специальностей заочной формы обучения

Составители:

Черноусова Ирина Асафовна
Бурлакова Алла Михайловна
Тимохин Александр Викторович

Редактор И.А. Арфьева
Компьютерный набор Т.А. Козлова

ЛР № 020275 от 13.11.96. Подписано в печать 17.11.03.
Формат 60x84/16. Бумага для множит. техники. Гарнитура Таймс.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 2,32. Уч.-изд. л. 2,52. Тираж 200 экз.
Заказ

Редакционно-издательский комплекс
Владимирского государственного университета.
600000, Владимир, ул. Горького, 87.