

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра машиноведения

Е.В. Пояркова

СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ. СЛОЖНЫЕ ВИДЫ ДЕФОРМАЦИЙ

Методические указания

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» для обучающихся по образовательным программам высшего образования по направлениям подготовки 24.03.01 Ракетные комплексы и космонавтика и 24.03.04 Авиастроение

Оренбург
2018

УДК 620.10
ББК 30.121
П75

Рецензент – доцент, доктор технических наук Ю. А. Чирков

П75 **Пояркова, Е. В.**
Сопротивление материалов. Сложные виды деформаций :
методические указания / Е. В. Пояркова; Оренбургский гос. ун-т. –
Оренбург : ОГУ, 2018. – 38 с.

Методические указания предназначены для организации самостоятельной работы обучающихся; содержат задачи, входящие в семестровые задания самостоятельной работы обучающихся по курсу сопротивления материалов в соответствии с рабочими программами для направлений подготовки 24.03.01 Ракетные комплексы и космонавтика и 24.03.04 Авиастроение.

К каждой задаче, предназначенной для самостоятельного решения, предусмотрены справочные данные и инструкции, необходимые для процедуры ее решения, а также включены контрольные вопросы.

Методические указания подготовлены в рамках проекта по совершенствованию содержания и технологий целевого обучения студентов в интересах организаций оборонно-промышленного комплекса («Новые кадры ОПК-2016»).

УДК 620.10
ББК 30.121

© Пояркова Е. В., 2018
© ОГУ, 2018

Содержание

Введение	3
1 Указания о порядке выполнения заданий самостоятельного контроля знаний	6
2 Типовые задачи для самостоятельного контроля знаний	9
Задача 1	9
Задача 2	12
Задача 3	15
Задача 4	18
Задача 5	20
Задача 6	23
Задача 7	25
Задача 8	27
Задача 9	29
Задача 10	30
Задача 11	34
Задача 12	35
Список рекомендованных источников	37

Введение

Сопротивление материалов – наука о прочности, жесткости и устойчивости элементов инженерных конструкций. Методами сопротивления материалов выполняются расчеты, на основании которых определяются необходимые размеры деталей машин и конструкций инженерных сооружений.

В отличие от теоретической механики сопротивление материалов рассматривает задачи, в которых наиболее существенными являются свойства твердых деформируемых тел, а законами движения тела как жесткого целого здесь пренебрегают. В то же время, вследствие общности основных положений, сопротивление материалов рассматривается как раздел механики твердых деформируемых тел.

В состав механики деформируемых тел входят также такие дисциплины, как теория упругости, теория пластичности, теория ползучести, теория разрушения и другие, рассматривающие, по существу, те же вопросы, что и сопротивление материалов. Различие между сопротивлением материалов и другими теориями механики твердого деформируемого тела заключается в подходах к решению задач.

Строгие теории механики деформируемого тела базируются на более точной постановке проблем, в связи с чем для решения задач обучающимися, а тем более самостоятельного контроля знаний, приходится применять более сложный математический аппарат и проводить громоздкие вычислительные операции. Вследствие этого возможности применения таких методов в практических задачах ограничены.

В свою очередь, методы сопротивления материалов базируются на упрощенных гипотезах, которые, с одной стороны, позволяют решать широкий круг инженерных задач, а с другой – получать приемлемые по точности результаты расчетов.

При этом главной задачей курса является формирование у обучающихся знаний для применения математического аппарата при решении прикладных задач, осмысления полученных численных результатов и поиска выбора наиболее оптимальных конструктивных решений. То есть данный предмет

является базовым для формирования инженерного мышления и подготовки обучающихся по программам высшего образования по направлениям подготовки 24.03.01 Ракетные комплексы и космонавтика и 24.03.04 Авиастроение.

И всё же с чего начать?

Этот вопрос задает себе каждый обучающийся, начинающий самостоятельно или под руководством преподавателя, курирующего дисциплину, изучать сопротивление материалов.

В зависимости от наименования направления подготовки изменяются виды самостоятельной работы, могут не предусматриваться практические или лабораторные занятия. Одно остается неизменным – большую часть знаний и умений по сопротивлению материалов обучающийся должен добывать самостоятельной работой над теорией и практикой.

Организация самостоятельной работы – одна из важнейших проблем, которая стоит перед студентом, приступающим к изучению сопротивления материалов. Эффективность ее зависит от множества факторов, организационного и личного плана.

Успехи и трудности в изучении сопротивления материалов в значительной степени зависят от волевых и эмоциональных качеств обучающегося, его желаний, потребностей и интересов, а затем уже определяются и задатками, и способностями.

Потому в качестве рекомендаций обучающимся, можно сформулировать следующее: «Приступая к изучению сопротивления материалов, вы должны быть полны творческого оптимизма, желания преодолеть все трудности, иметь стойкий познавательный интерес к дисциплине!»

Как показывает опыт вузовского преподавания сопротивления материалов, на первое место в учебе по сопротивлению материалов выходят обучающиеся, обладающие волевыми качествами, трудолюбием, умением преодолевать трудности и заставлять себя работать. Потому необходимо ориентироваться в большей степени на самостоятельную работу над дисциплиной.

1 Указания о порядке выполнения заданий самостоятельного контроля знаний

В течение учебного года обучающиеся по программам высшего образования направлений подготовки 24.03.01 Ракетные комплексы и космонавтика и 24.03.04 Авиастроение выполняют определенный набор задач, оформляемых в виде заданий самостоятельного контроля знаний. Объем каждого задания устанавливается преподавателем, курирующим дисциплину «Соппротивление материалов» для обучающихся вышеуказанных направлений подготовки, в текущем учебном году.

Исходные данные к задаче выбираются обучающимся согласно индивидуальному варианту. Вариант определяется шестизначным числом.

Для обучающихся дневной формы обучения первые три цифры указываются преподавателем, а последующие три цифры совпадают с номером зачетной книжки или студенческого билета. Например, вариантом обучающегося, имеющего зачетную книжку с номером 16047РКК(ба)ПЛА, будет число **623047** (первые три цифры – **623** – указаны преподавателем).

Обучающийся обязан взять из таблицы, прилагаемой к условию задачи, данные в соответствии со своим личным номером (шифром) и первыми шестью буквами русского алфавита, которые следует расположить под шифром:

Шифр	6	2	3	0	4	7
Буквы	А	Б	В	Г	Д	Е

Пример выбора данных к задаче представлен в нижеприведенной таблице с исходными данными.

Задания, выполненные по исходным данным, не соответствующим индивидуальному варианту обучающегося, к проверке выполнения заданий самостоятельного контроля знаний не принимаются.

Пример таблицы с исходными данными

Номер		L, м	с, м	ℓ, м	F ₁ , 10 ⁻⁴ м ²	F ₂ , 10 ⁻⁴ м ²	P, кН
строки	схемы						
1	1	6	1	4,8	40	100	0,6
2	2	4	2	3	60	120	0,7
3	1	5	3	3,5	80	160	0,8
4	2	6	1	3,6	100	180	0,9
5	1	4	2	2	120	200	1,0
6	2	5	3	2	100	140	1,1
7	1	6	1	1,8	80	120	1,2
8	2	4	2	1	60	160	1,3
9	1	5	3	1	80	180	1,4
0	2	6	1	6	40	200	1,5
	Е	Д	Г	А	Е	Е	В

Задания должны быть оформлены на стандартных листах бумаги размером 210x297 и сброшюрованы в альбом с обложкой из плотной бумаги.

Текстовую часть задания, схемы и эпюры необходимо выполнять на одной стороне каждого листа с оставлением полей: левого – шириной 20 мм, остальные – 5 мм.

В начале каждой задачи должны быть приведены: номер задачи, краткий текст условия, таблица исходных данных. Вместо общей схемы следует изображать в масштабе свой индивидуальный вариант.

Вычисляемые геометрические линейные размеры должны быть обозначены и показаны на рисунках (схемах). Схемы, чертежи и эпюры выполняются с применением чертежных инструментов или с помощью находящихся в свободном доступе программных продуктов и/или лицензионного программного обеспечения.

Во всех расчетах на прочность, жесткость и устойчивость допускается, как правило, отклонение от нормативных данных (нормативный коэффициент

запаса прочности, допускаемое напряжение и тому подобное) в пределах 5 %. Поэтому не следует проводить вычисления с большим числом значащих цифр. Рекомендуется получать и записывать ответы во всех промежуточных вычислениях с точностью до трех значащих цифр (например, 0,0123 м; 1,01 м; 14510 и так далее).

Решение задач сопровождается краткими пояснениями.

Небрежно оформленные задачи и задачи, выполненные не по шифру, к проверке не принимаются.

Целью заданий самостоятельного контроля знаний является закрепление теоретических знаний и выявление возможных пробелов, поэтому приведенные в настоящих методических указаниях задания должны выполняться самостоятельно. Напутственный лозунг для всех обучающихся, изучающих дисциплину «Сопротивление материалов» звучит так:

«Не ждите экзаменов, проверяйте себя!».

2 Типовые задачи для самостоятельного контроля знаний

Задача 1

Стальная балка АВ (рисунок 1.1) нагружена силами P_1 и P_2 , направленными по главным центральным осям поперечного сечения.

Требуется:

1) Вычертить в масштабе расчетную схему балки (рисунок 1.1) и ее поперечного сечения (рисунок 1.2).

2) Построить эпюры изгибающих моментов M_x и M_y в главных плоскостях инерции.

3) Найти для опасного (схемы 1-4) или для двух равноопасных сечений (схемы 5-0) положение нулевой линии, установить в сечениях опасные точки, вычислить наибольшие растягивающие и сжимающие нормальные напряжения в опасных точках, указать наиболее опасное сечение, сравнить напряжения в опасных точках этого сечения с допускаемым напряжением $[\sigma] = 200 \text{ МПа}$ и построить их эпюру.

4) Найти значение полного прогиба и указать его направление:

а) для консольных балок – в середине ее длины;

б) для балок на двух опорах – в середине пролета.

Исходные данные взять из таблицы 1.

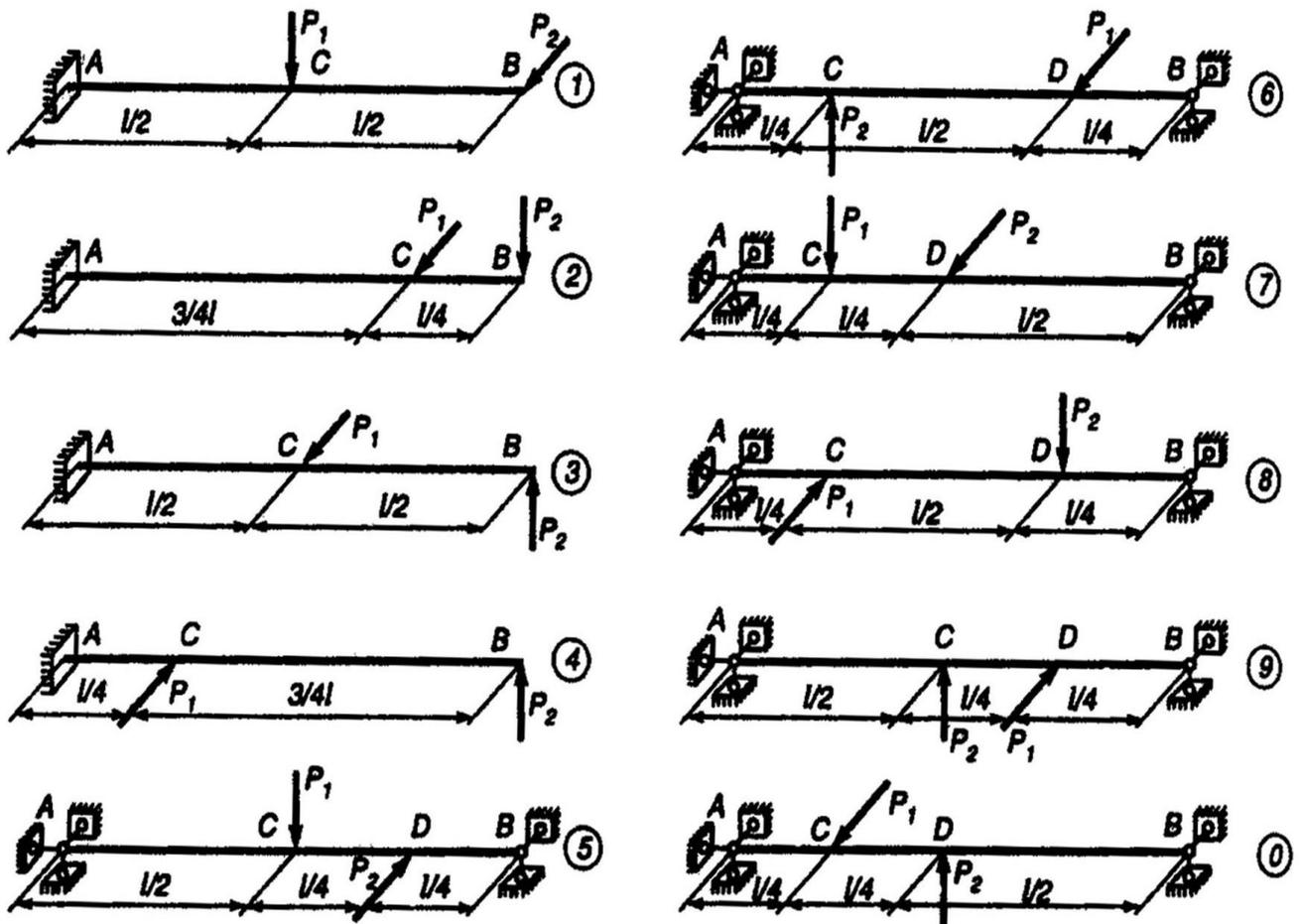


Рисунок 1.1 – Исходные схемы к задаче 1

Таблица 1 – Исходные данные к задаче 1

Номер		Форма поперечного сечения	L, м	с, 10^{-2} м	P ₁ , кН	P ₂ , кН
строки	схемы					
1	1	1	3,0	2,8	1,0	0,1
2	2	2	3,2	3,0	1,2	0,1
3	3	3	3,6	3,2	1,3	0,3
4	4	4	3,8	3,6	1,4	0,4
5	5	5	4,0	4,0	1,5	0,5
6	6	6	4,4	4,2	1,6	0,6
7	7	7	4,8	4,0	1,7	0,7
8	8	8	5,0	3,6	1,8	0,8
9	9	9	5,2	3,2	1,9	0,9
0	0	0	5,6	3,0	2,0	1,0
	Е	А	Б	В	Г	Д

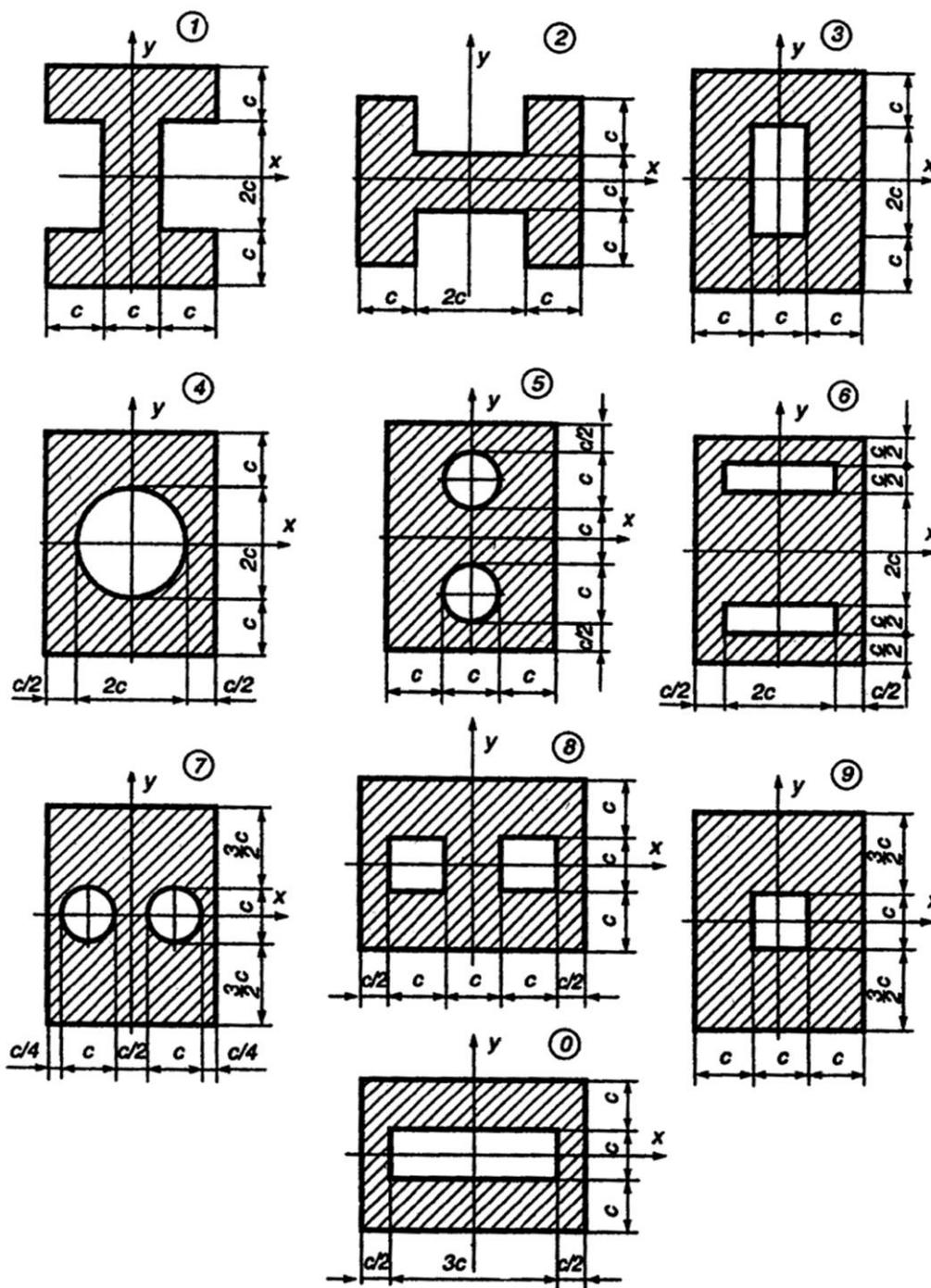


Рисунок 1.2 – Исходные схемы поперечных сечений к задаче 1

Вопросы для самопроверки

1. Какой случай изгиба называется косым изгибом?
2. Возможен ли косой изгиб при чистом изгибе?
3. В каких точках поперечного сечения возникают наибольшие напряжения при косом изгибе?

4. Как находят положение нейтральной линии при косом изгибе?

5. Как пройдет нейтральная линия, если плоскость действия сил совпадает с диагональной плоскостью балки прямоугольного поперечного сечения?

6. Как определяют деформации при косом изгибе?

7. Может ли балка круглого поперечного сечения испытывать кривой изгиб?

8. Как записываются условия прочности при косом изгибе (для пластичных и хрупких материалов)?

9. При каких формах поперечных сечений опасная точка определяется без нахождения нейтральной линии?

Задача 2

На столб заданного поперечного сечения в точке **D** верхнего торца действует внецентренно приложенная растягивающая или сжимающая сила **P = 100 кН** (рисунок 2). Растягивающая сила обозначена точкой в кружке, а сжимающая – крестом.

Требуется:

1) Показать положение главных центральных осей инерции и вычислить значения главных моментов и квадратов главных радиусов инерции сечения.

2) Найти положение нулевой линии и показать ее на схеме сечения с указанием отрезков, отсекаемых на осях координат.

3) Определить наибольшие (растягивающие и сжимающие) напряжения в поперечном сечении и построить эпюру напряжений.

4) Построить ядро сечения и указать координаты его характерных точек.

Все расчетные схемы необходимо выполнять, строго соблюдая масштаб.

Исходные данные взять из таблицы 2.

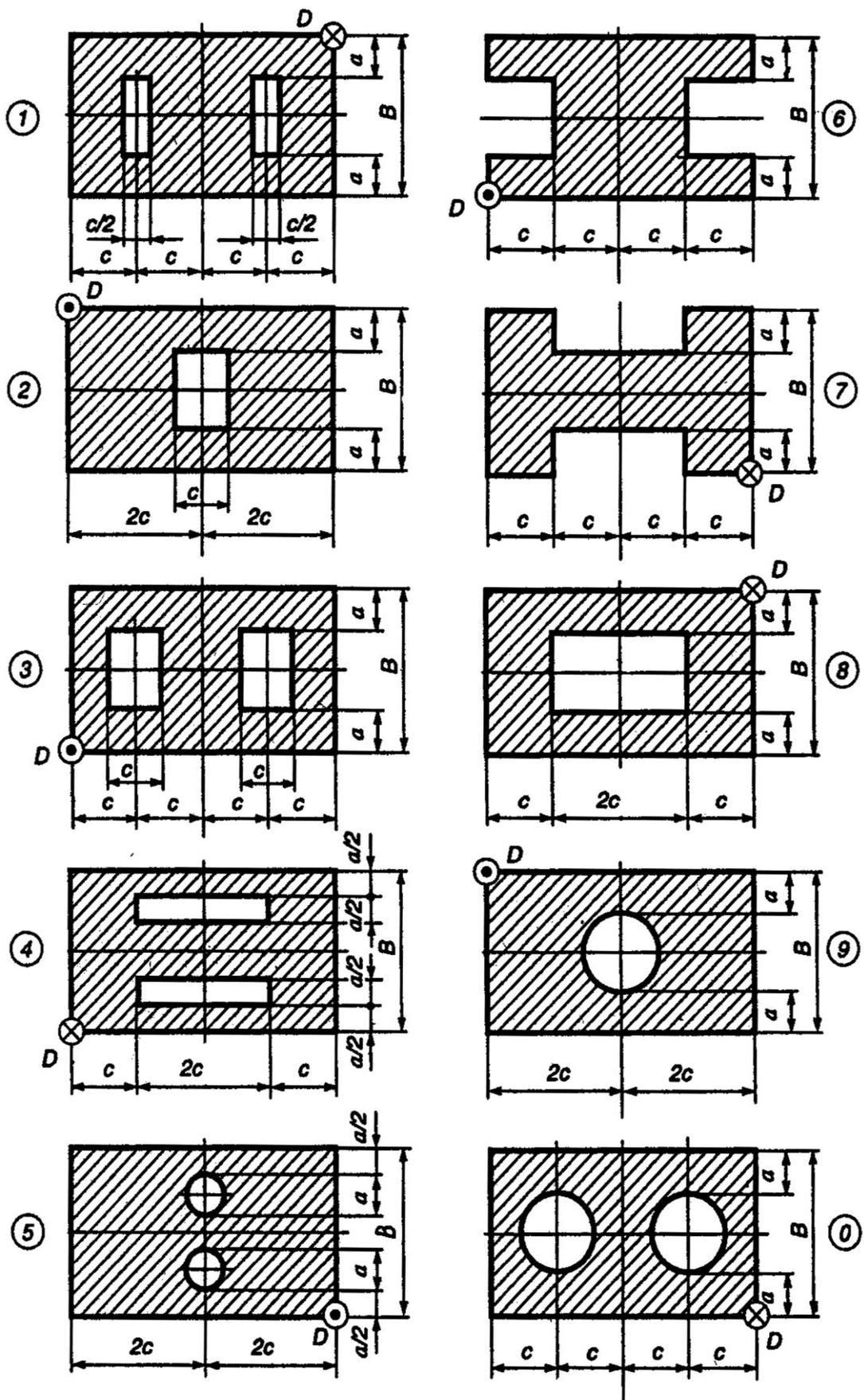


Рисунок 2 – Исходные схемы поперечных сечений к задаче 2

Таблица 2 – Исходные данные к задаче 2

Номер		b, 10 ⁻² м	c, 10 ⁻² м	a, 10 ⁻² м
строки	схемы			
1	1			
2	2	130	55	25
3	3	140	60	30
4	4	150	65	20
5	5	120	70	25
6	6	130	50	30
7	7	140	55	20
8	8	150	60	25
9	9	120	65	30
0	0	130	70	20
	Е	А	В	Б

Вопросы для самопроверки

1. Какое сложное сопротивление называется внецентренным растяжением (сжатием)?
2. Что называется центром давления?
3. Что называется ядром сечения?
4. Что называется нулевой линией и какой вид она имеет?
5. По какой формуле определяются нормальные напряжения в поперечном сечении бруса при внецентренном растяжении (сжатии)?
6. По какому закону изменяются нормальные напряжения в поперечном сечении бруса (прямолинейному, криволинейному)?
7. Как определяются точки поперечного сечения, в которых возникают максимальные растягивающие и сжимающие напряжения?
8. Как определяется зона поперечного сечения с растягивающими и сжимающими напряжениями?
9. Как определяется положение нейтральной линии при внецентренном растяжении (сжатии)?

10. Каковы свойства нейтральной линии?

11. Чему равно нормальное напряжение в центре тяжести поперечного сечения?

12. Чему равно нормальное напряжение в центре тяжести в том случае, когда центр давления совпадает с центром тяжести поперечного сечения?

13. В каком случае нейтральная линия перпендикулярна одной из главных осей инерции сечения?

Задача 3

Пространственный консольный брус с ломаным очертанием осевой линии нагружен сосредоточенной силой $P = 1 \text{ кН}$ или равномерно распределенной нагрузкой $q = 1 \text{ кН/м}$. Вертикальные элементы бруса имеют круглое поперечное сечение диаметром d , горизонтальные элементы – прямоугольное сечение ($b \cdot c$). Ширина сечения $b = d + 0,02 \text{ м}$, а высота сечения $c = 0,5 \cdot b$. Размеры бруса, его поперечных сечений, а также внешняя нагрузка показана на рисунке 3.

Требуется:

1) Построить в аксонометрии шесть эпюр усилий: $M_z, M_y, M_x, Q_x, Q_y, N_z$.

2) Указать вид сопротивления для каждого участка бруса.

3) Определить на каждом участке нормальные напряжения от совокупности внутренних усилий N_z, M_x, M_y и касательные напряжения от крутящего момента M_z (напряжениями от Q_x и Q_y можно пренебречь).

4) Найти расчетное напряжение по III теории прочности на участке, где возникают одновременно нормальные и касательные напряжения.

Примечание. В данной задаче ось z – продольная ось бруса, а оси x и y – поперечные.

Исходные данные взять из таблицы 3.

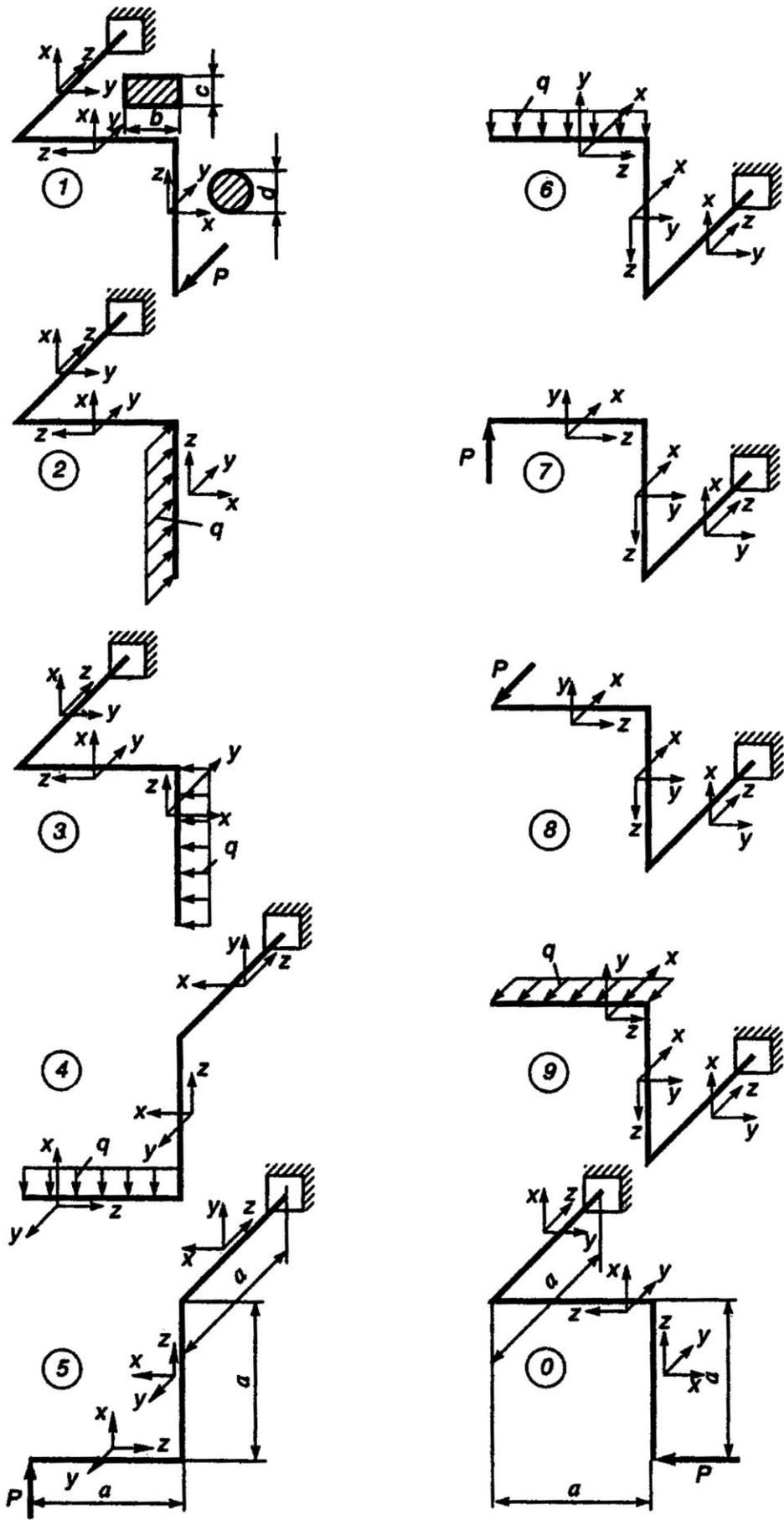


Рисунок 3 – Исходные схемы к задаче 3

Таблица 3 – Исходные данные к задаче 3

Номер		$d,$ 10^{-3} м	а, м
строки	схемы		
1	1	56	1,0
2	2	58	1,1
3	3	60	1,2
4	4	62	1,3
5	5	64	1,4
6	6	68	1,5
7	7	70	1,6
8	8	72	1,7
9	9	74	1,8
0	0	76	1,9
	Е	Б	В

Вопросы для самопроверки

1. Поясните геометрическую особенность пространственного бруса с ломаным очертанием осевой линии.

2. Какие напряжения возникают в поперечном сечении стержня при изгибе с кручением?

3. Как находят опасные сечения стержня при изгибе с кручением?

4. В каких точках круглого поперечного сечения возникают наибольшие напряжения при изгибе с кручением?

5. Какие точки являются опасными в стержне прямоугольного сечения при изгибе с кручением?

6. Почему обыкновенно не учитывают касательные напряжения от изгиба при совместном действии изгиба и кручения?

7. Как определить наибольшее касательное напряжение в стержне прямоугольного сечения при кручении?

8. Как пишутся условия прочности стержня по всем четырем теориям, если известны σ и τ ?

9. Как находят расчетный момент при изгибе с кручением стержня круглого поперечного сечения?

10. По какой теории прочности (третьей или четвертой) получится больший расчетный момент при заданных величинах M_n и M_k ?

11. Можно ли использовать формулу приведенного (расчетного) момента для определения опасного сечения в стержне некруглого поперечного сечения?

Задача 4

Для статически неопределимых балок, представленных на рисунке 4, с постоянными поперечными сечениями, **требуется:**

1) Определить степень статической неопределимости и составить уравнение совместимости деформаций.

2) Определить коэффициенты и решить каноническое уравнение метода сил.

3) Построить эпюры изгибающих моментов M_z и поперечных сил Q_y , после чего, руководствуясь эпюрой изгибающих моментов M_z и условиями закрепления балки, изобразить вид упругой линии.

Исходные данные взять из таблицы 4.

Таблица 4 – Исходные данные к задаче 4

Номер		l_1 , м	l_2 , м	q , кН/м	P , кН	M , кН·м
строки	схемы					
1	1	2	1,0	10	10	10
2	2	4	0,8	9	20	9
3	3	6	0,7	8	30	8
4	4	8	0,6	6	40	6
5	5	10	0,5	5	50	5
6	6	2	0,6	6	60	6
7	7	4	0,7	7	70	7
8	8	6	0,8	8	80	8
9	9	8	0,9	9	90	9
0	0	10	1,0	10	10	10
	Е	А	Б	В	Д	Е

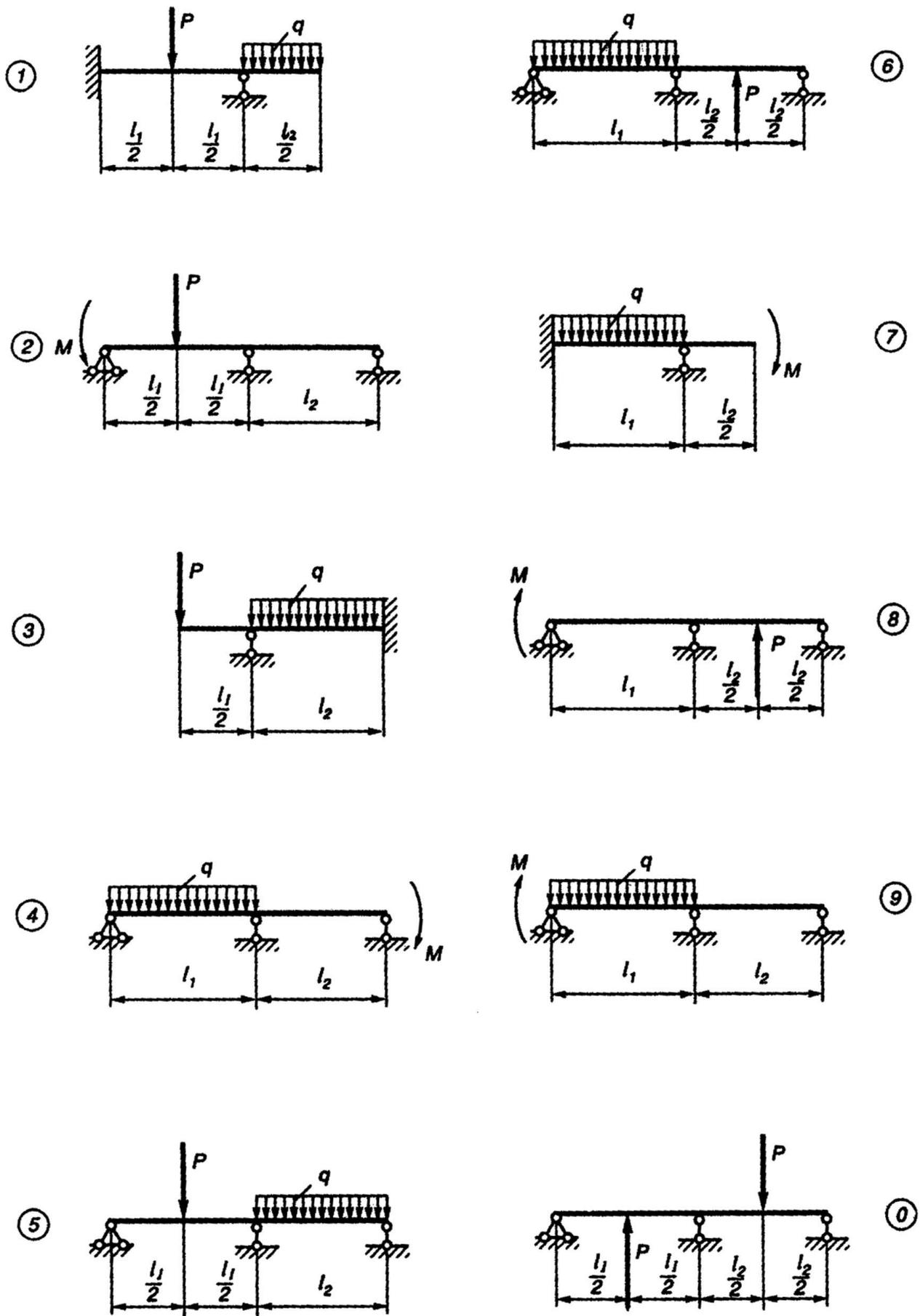


Рисунок 4 – Исходные схемы к задаче 4

Вопросы для самопроверки

1. Дайте определение статически определимых и статически неопределимых систем.
2. Что понимают под степенью статической неопределимости?
3. Поясните суть метода сил.
4. Какие требования возлагаются к основной системе метода сил?
5. Что называется эквивалентной системой?
6. Какой физический смысл уравнения для один раз статически неопределимой системы $\delta_{11} \cdot X_1 + \Delta_{1p} = 0$?
7. В каком порядке производится расчет один раз статически неопределимой системы?
8. В чем заключается геометрический смысл коэффициентов при неизвестных в каноническом уравнении?
9. Какие существуют способы построения суммарных (окончательных) эпюр внутренних силовых факторов?
10. Как производится деформационная (кинематическая) проверка окончательных эпюр внутренних силовых факторов?
11. Какие функции выполняет метод Мора?
12. Поясните правило Верещагина, а также метод Симпсона.

Задача 5

Для стойки двутаврового поперечного сечения (ГОСТ 8239-89), изображенного на рисунке 5.1, одинаково закрепленной в обеих плоскостях центрально сжатой силой P по заданной схеме, **требуется:**

- 1) Определить грузоподъемность P , указать положительные и отрицательные стороны конструкции колонны из двутавра.
- 2) Для найденной грузоподъемности P в целях лучшего использования материала заменить двутавр более рациональным сечением из двух двутавров

или двух швеллеров, соединенных планками на сварке (рисунок 5.2), подобрать для нового варианта сечение, сравнить его по площади с первоначальным и вычертить в масштабе с указанием числовых размеров.

Допускаемое напряжение материала $[\sigma] = 190 \text{ МПа}$.

Исходные данные взять из таблицы 5.

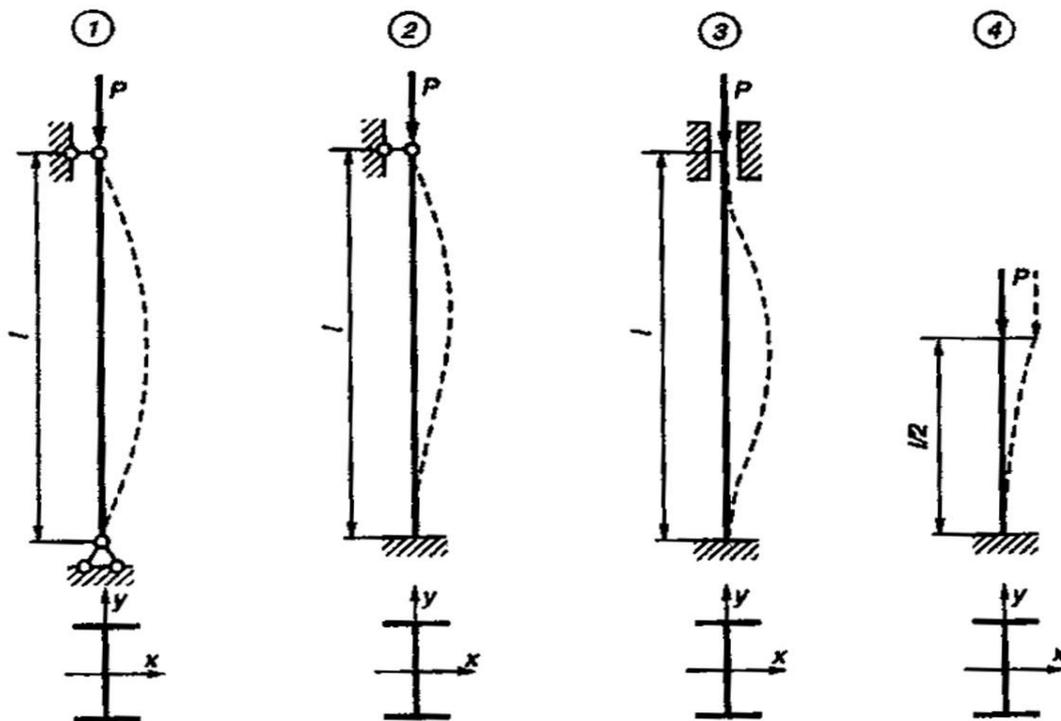


Рисунок 5.1 – Исходные схемы к задаче 5

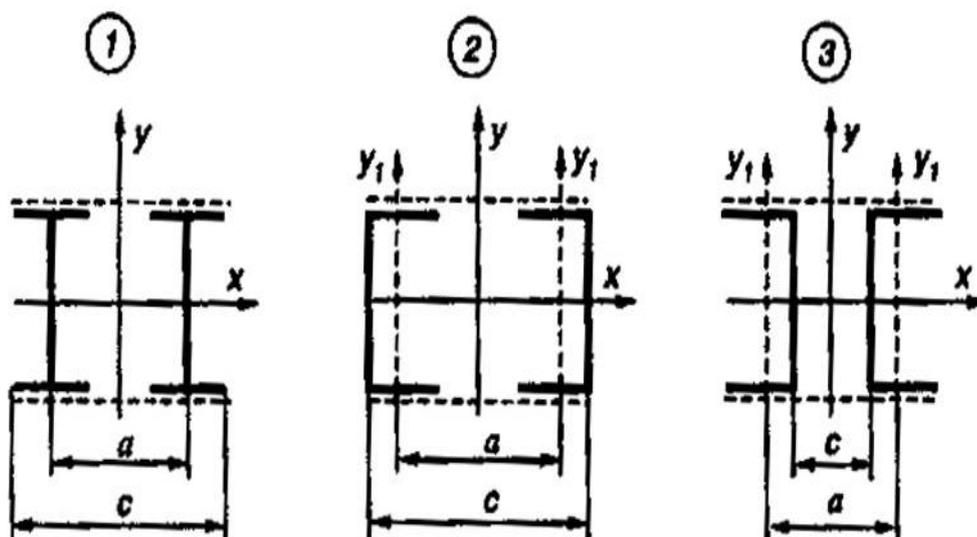


Рисунок 5.2 – Исходные схемы рациональных поперечных сечений (к задаче 5)

Таблица 5 – Исходные данные к задаче 5

Номер строки	Номер схемы	$l, м$	Номер Двутавра ГОСТ 8239-89	Номер схемы (рисунок 5.2)
1	1	2,6	27а	1
2	2	2,8	30а	2
3	3	3,0	33	3
4	4	3,2	36	2
5	1	3,4	40	1
6	2	3,6	45	2
7	3	3,8	27	3
8	4	4,0	30	1
9	1	4,2	50	2
0	2	4,4	55	3
	Е	Б	Г	Д

Вопросы для самопроверки

1. Дайте определение понятия «критическое состояние системы».
2. Дайте определение понятия «потеря устойчивости системы».
3. Какие величины внешних сил называются критическими?
4. Что выражает «приведенная длина сжатого стержня»? От чего зависит коэффициент приведения длины?
5. Какие закономерности обнаруживаются между различными формами потери устойчивости систем?
6. Зависит ли величина критических значений внешних сил от характера закрепления стержня?
7. Что называется гибкостью стержня? От каких факторов она зависит?
8. Как влияют изгибная жесткость и длина стержня на величину критической силы?
9. Какой вид имеет графическая зависимость критического напряжения от гибкости стержня?
10. В каких пределах применима формула Эйлера?

11. Как находят критическое напряжение и критическую нагрузку для стержней малой и средней гибкости?

Задача 6

Электромотор весом G установлен на балке KD , состоящей из двух двутавров. Балка AB также состоит из двух двутавров. Частота вращения ротора мотора – n , вес неуравновешенных частей – P , эксцентриситет их – e (рисунок 6). Массой балки можно пренебречь.

Требуется определить:

- 1) Статические прогибы, а также статические напряжения в опасных сечениях всех балок системы.
- 2) Основную частоту собственных колебаний системы.
- 3) Частоту вынужденных колебаний системы.
- 4) Коэффициент динамичности.
- 5) Наибольшие динамические прогибы, а также динамические напряжения в опасных сечениях всех балок системы.

Исходные данные взять из таблицы 6.

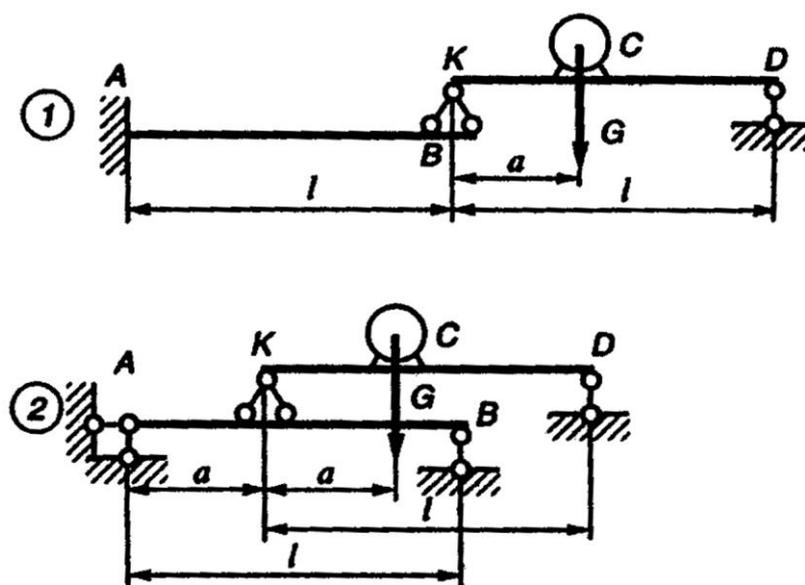


Рисунок 6 – Исходные схемы к задаче 6

Таблица 6 – Исходные данные к задаче 6

Номер		ℓ, м	а, м	Номер двугавра по ГОСТ 8239-72		G, кН	P, кН	e, 10 ⁻² м	n, об/мин
строки	схемы			AB	KD				
1	1	1,2	0,20	20	30	8	0,8	0,08	500
2	2	1,4	0,25	22	27	9	1,0	0,10	550
3	2	1,6	0,30	27	24	10	1,2	0,12	600
4	1	1,8	0,35	18	22	11	1,4	0,15	650
5	2	2,0	0,40	24	20	12	1,5	0,18	700
6	1	2,2	0,20	30	18	13	1,6	0,20	750
7	2	2,4	0,25	20	16	14	1,8	0,22	800
8	1	2,6	0,30	27	20	15	2,0	0,25	850
9	2	2,8	0,35	20	24	16	2,2	0,28	900
0	1	3,0	0,40	30	27	17	2,4	0,30	950
	Е	А	Е	Г	Б	В	Г	Д	Е

Вопросы для самопроверки

1. Дайте определение предмета статической и динамической теории механических систем.
2. Какие нагрузки называются динамическими?
3. Как формулируется принцип Даламбера?
4. Дайте определение понятию числа степени свободы заданной системы.
5. Что понимают под свободными колебаниями системы?
6. Что понимают под вынужденными колебаниями системы?
7. Опишите порядок расчета на прочность при колебаниях.
8. Поясните физическую суть фазовой и круговой частоты системы.
9. Поясните физический смысл коэффициента динамичности.
10. Как определяется динамический коэффициент при колебаниях?

Задача 7

Груз P падает с высоты h в точку C балки KD , состоящей из двух двутавров и опирающейся на упругое сооружение, состоящее из одной балки, которая также состоит из двух двутавров (рисунок 7). Длина всех балок – l .

Требуется:

определить наибольшие динамические прогибы, а также динамические напряжения в опасных сечениях всех балок. Затем сравнить полученное напряжение и прогиб в балке KD с тем динамическим напряжением и прогибом, которые возникли бы в ней при условии, что эта балка своими концами опирается на абсолютно жесткое основание.

Исходные данные взять из таблицы 7.

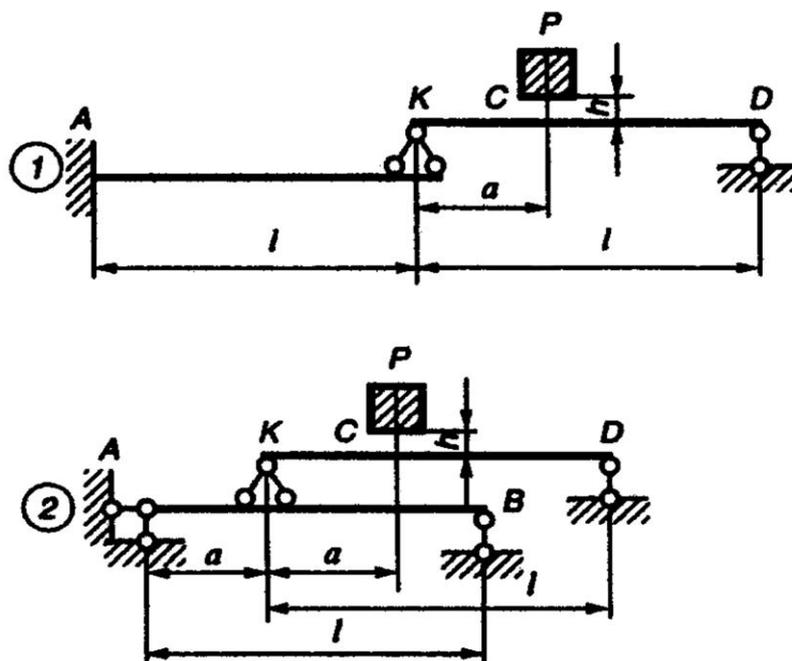


Рисунок 7 – Исходные схемы к задаче 7

Вопросы для самопроверки

1. Какие системы называются системами с дискретными параметрами?
2. Укажите число свободы реальных систем и дайте соответствующие пояснения.
3. Дайте определение системы с одной степенью свободы.

4. Какие явления называются резонансом?
5. Какое явление называется ударом?
6. Что называется динамическим коэффициентом при ударе?
7. Как определяются статические перемещения при продольном и поперечном ударе?
8. Поясните порядок определения динамических напряжений в опасных сечениях всех балок системы.
9. Зависит ли напряжение при изгибающем ударе от материала балки?
10. В каком случае возникнут большие напряжения при изгибающем ударе: при положении балки на ребро или плашмя?
11. Как изменится напряжение при продольном ударе в случае увеличения площади поперечного сечения в два раза? (При ответе на этот вопрос можно пользоваться приближенной формулой для динамического коэффициента).
12. Какие процессы являются причиной формирования сил сопротивления?

Таблица 7 – Исходные данные к задаче 6

Номер		ℓ, м	а, м	Номер двутавра по ГОСТ 8239-72		Р, кН	h, м
строки	схемы			АВ	КД		
1	1	1,2	0,20	20	20	0,20	0,10
2	2	1,4	0,25	20а	20а	0,30	0,12
3	1	1,6	0,30	22	22	0,40	0,11
4	2	1,8	0,35	22а	22а	0,50	0,09
5	2	2,0	0,40	24	24	0,60	0,08
6	1	2,2	0,20	24а	24а	0,70	0,07
7	2	2,4	0,25	27	27	0,80	0,06
8	1	2,6	0,30	27а	27а	0,90	0,05
9	2	2,8	0,35	30	30	1,00	0,04
0	1	3,0	0,40	30а	30а	1,10	0,03
	е	а	е	г	б	в	д

Задача 8

Клапанная пружина имеет размеры: средний диаметр витка – D , диаметр проволоки пружины – d (рисунок 8).

Сила, сжимающая пружину при закрытии клапана – P_{\min} ; сила, сжимающая пружину в момент полного открытия клапана – P_{\max} .

Материал проволоки пружины – хромованадиевая сталь, имеющая следующие механические характеристики:

- предел текучести – τ_T ;
- предел выносливости при симметричном цикле – τ_{-1} ;
- предел выносливости при пульсирующем цикле – τ_0 .

Пружина имеет эффективный коэффициент концентрации напряжений k_τ , коэффициент влияния качества обработки поверхности β и масштабный коэффициент ε_τ .

Требуется:

1) Определить максимальное τ_{\max} и минимальное τ_{\min} напряжения в проволоке пружины и вычислить коэффициент асимметрии цикла R .

2) Найти среднее τ_m и амплитудное τ_a напряжения цикла.

3) Построить в масштабе схематизированную диаграмму предельных амплитуд (в осях τ_a , τ_m), используя механические характеристики стали τ_{-1} , τ_0 , τ_T .

4) Вычислить коэффициент запаса прочности и сравнить его с коэффициентом, полученным по диаграмме предельных амплитуд (графически).

Исходные данные взять из таблицы 8.

Вопросы для самопроверки

1. Какие процессы называются усталостью?
2. Поясните свойство материалов, называемое выносливостью.
3. Перечислите факторы, способствующие повышению предела выносливости.

4. Как графически изображаются напряжения, циклически изменяющиеся во времени?
5. Какие нагрузки называются циклическими?
6. Поясните суть коэффициента асимметрии цикла.
7. Показать симметричный, асимметричный и пульсирующий циклы. Привести значения их коэффициентов асимметрии.
8. Перечислите основные факторы, оказывающие влияние на усталостную прочность образцов.
9. Дайте определение коэффициента запаса усталостной прочности.
10. Перечислите факторы, влияющие на снижение предела усталости детали.
11. Зависит ли диаграмма усталостной прочности от вида напряженного состояния изделия?
12. Что Вы понимаете под термином «коэффициент концентрации напряжений»?
13. Что Вы понимаете под термином «коэффициент качества обработки поверхности изделия»?
14. Что Вы понимаете под термином «коэффициент масштабного фактора»?

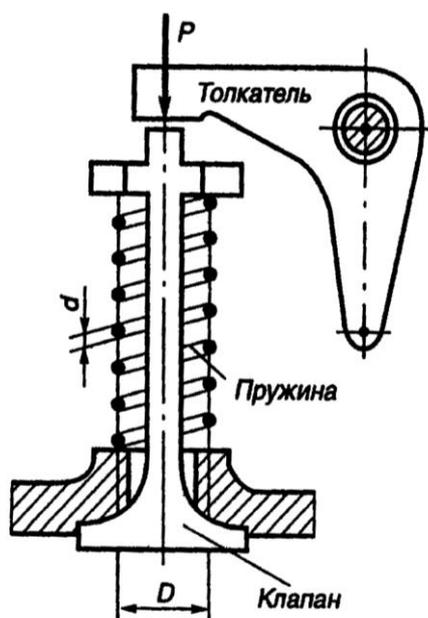


Рисунок 8 – Исходная схема к задаче 8

Таблица 8 – Исходные данные к задаче 8

Номер строки	D, мм	d, мм	P _{max} , Н	P _{min} , Н	τ _r , МПа	τ ₋₁ , МПа	τ ₀ , МПа	Коэффициенты		
								k _τ	β	E _τ
1	40	3,6	240	60	900	460	780	1,05	0,85	0,99
2	41	3,7	230	65	910	470	790	1,06	0,84	0,98
3	42	3,8	220	70	920	480	800	1,07	0,83	0,97
4	43	3,9	210	75	930	490	810	1,08	0,82	0,96
5	44	4,0	200	80	940	500	820	1,09	0,81	0,95
6	45	4,1	190	85	900	460	780	1,05	0,85	0,99
7	46	4,2	180	90	910	470	790	1,06	0,84	0,98
8	47	4,3	170	95	920	480	800	1,07	0,83	0,97
9	48	4,4	160	100	930	490	810	1,08	0,82	0,96
0	50	4,5	150	105	940	500	820	1,09	0,81	0,95
	А	Е	Б	В	Г	Д	Е	А	Б	В

Задача 9

Определить главные напряжения и направления главных напряжений, если напряженное состояние в точке нагруженного тела задано тензором напряжений.

Исходные данные взять из таблицы 9.

Вопросы для самопроверки

1. Дайте определение тензора напряжений и тензора деформаций.
2. Какое напряженное состояние называется объемным (трехосным), плоским (двухосным) и линейным (одноосным)?
3. Дайте определение относительно знаков компонента тензора напряжений.
4. Сформулируйте закон парности касательных напряжений.
5. Чему равна сумма нормальных напряжений по любым двум взаимно перпендикулярным площадкам при плоском напряженном состоянии?
6. Дайте определение главным площадкам, главным осям и главным напряжениям.

7. Как определяются главные напряжения при плоском и объемном напряженном состояниях?
8. Чему равны экстремальные значения касательных напряжений в случае плоского напряженного состояния?
9. Какие величины называются инвариантами напряжений и почему?
10. Почему коэффициенты кубического уравнения, определяющие главные напряжения, являются инвариантами?
11. Какой вид имеют инварианты, если все главные напряжения известны?
12. Сформулируйте обобщенный закон Гука через интенсивность напряжений и деформаций.

Таблица 9 – Исходные данные к задаче 9

Номер строки	σ_{xx} , МПа	σ_{yy} , МПа	σ_{zz} , МПа	τ_{xy} , МПа	τ_{xz} , МПа	τ_{yz} , МПа
1	100	-40	-60	20	10	5
2	0	-60	-40	10	-10	10
3	60	20	-20	30	20	10
4	50	50	10	10	20	30
5	40	40	0	-20	-30	-10
6	-80	0	30	20	0	0
7	-60	-60	50	30	30	0
8	-50	80	60	-10	20	-5
9	20	100	0	20	10	20
0	80	50	-20	0	10	10
	А	Б	Е	Г	В	Д

Задача 10

Для трехстержневой системы (рисунок 10) при условии, что диаграмма растяжения для стержней идентична и имеет участок упрочнения (рисунок 9) с характеристиками $E = 2 \cdot 10^5$ МПа; $\sigma_t = 200$ МПа; $\sigma_b = 400$ МПа; $\epsilon_b = 0,02$, принимая горизонтальный брус абсолютно жестким, при исходных данных (таблица 10).

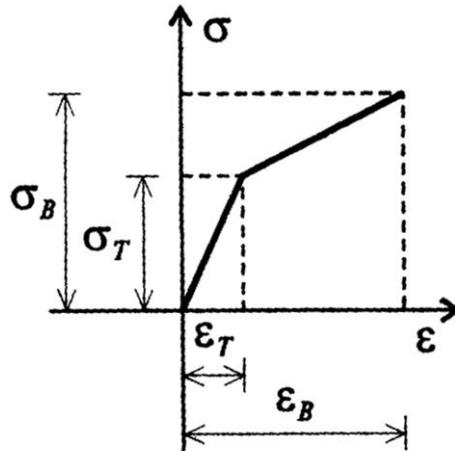


Рисунок 9 – Участок упрочнения на диаграмме растяжения (к задаче 10)

Требуется:

1) Определить абсолютные и относительные удлинения стержней и значения внешних нагрузок (P_1, q_1, M_1), при которых в наиболее напряженном стержне напряжения достигают предела упругости.

2) Определить абсолютные и относительные удлинения стержней и значения внешних нагрузок (P_2, q_2, M_2), при которых все элементы заданной системы переходят в пластическую стадию деформирования.

3) Определить абсолютные и относительные удлинения стержней и значения внешних нагрузок (P_3, q_3, M_3), при которых в наиболее нагруженном стержне напряжения достигают значения, равные σ_B , то есть когда происходит разрушение элемента системы.

4) Определить значения внешних нагрузок (P_4, q_4, M_4), при которых происходит разрушение заданной системы.

Исходные данные взять из таблицы 10.

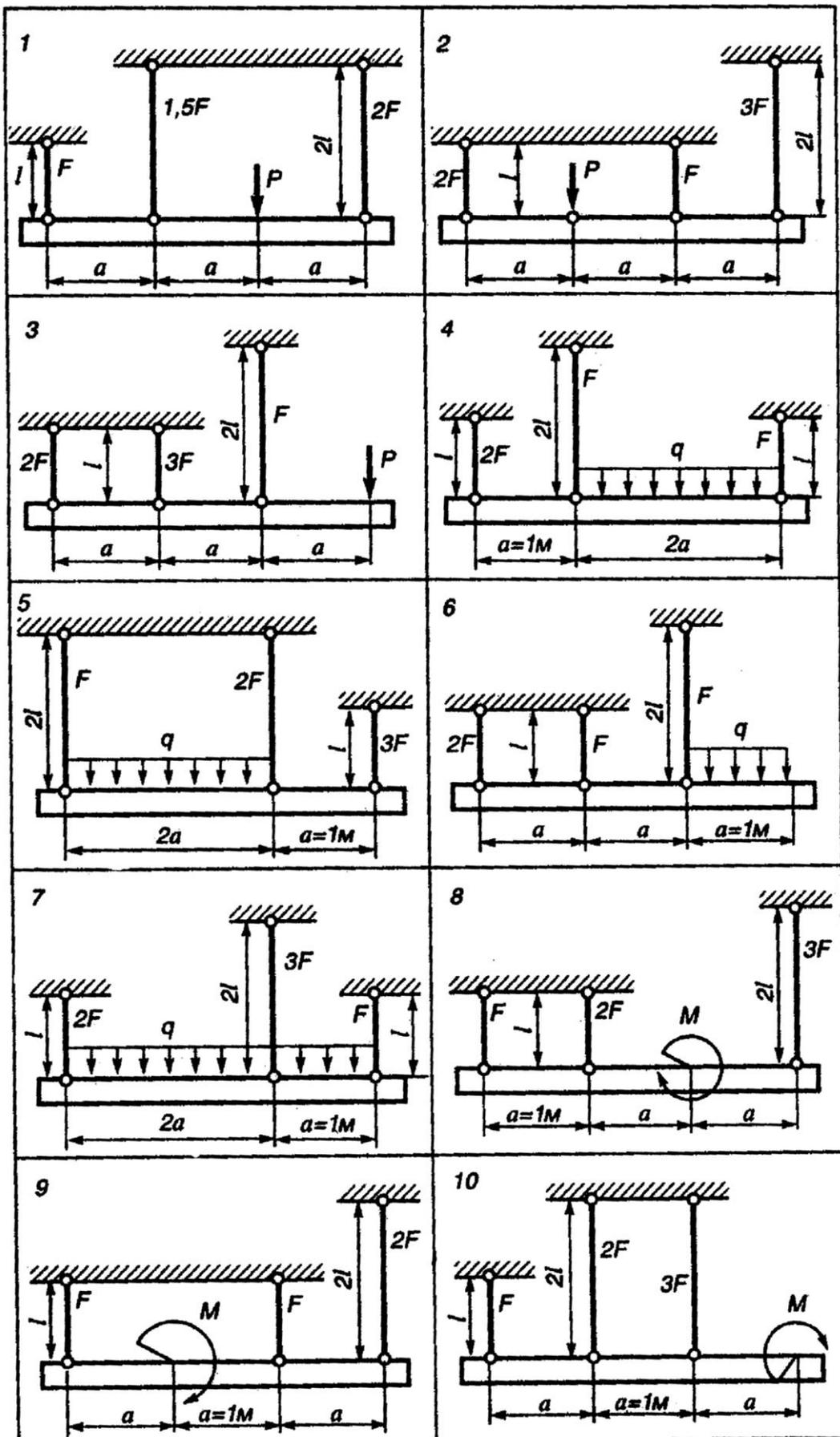


Рисунок 10 – Исходные схемы к задаче 10

Таблица 10 – Исходные данные к задаче 10

Номер строки	Номер расчетной схемы	l , м	a , м	F , 10^{-4} м ²
1	0	1,0	0,5	1,0
2	1	2,0	1,0	2,0
3	2	3,0	1,5	3,0
4	3	0,5	2,0	4,0
5	4	1,0	0,5	4,0
6	5	2,0	1,0	3,0
7	6	2,5	0,5	2,0
8	7	3,0	1,0	1,0
9	8	1,0	1,5	1,0
0	9	2,0	1,0	2,0
	Д	А	Б	Г

Вопросы для самопроверки

1. Что называется упругостью?
2. Поясните различие между линейно-упругим и нелинейно-упругим материалами.
3. Поясните термины «предел упругости», «теория упругости».
4. Перечислите все три группы уравнения теории упругости.
5. Дайте определения прямой и обратной задач теории упругости.
6. Дайте определение теории предельных напряженных состояний.
7. Что такое эквивалентное и эффективное напряжения?
8. Перечислите виды плоской задачи.
9. Поясните термины «пластичность», «теория пластичности».
10. Перечислите теории пластичности и дайте соответствующие пояснения.
11. Перечислите основные гипотезы, взятые за основу деформационной теории пластичности.

Задача 11

Пластика постоянной толщины h жестко заделана по контуру эллиптического очертания $\left(\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1\right)$ и нагружена равномерно распределенной нагрузкой интенсивностью q (рисунок 11).

Модуль упругости материала пластинки $E = 2 \cdot 10^5$ МПа; коэффициент Пуассона $\mu = 1/6$.

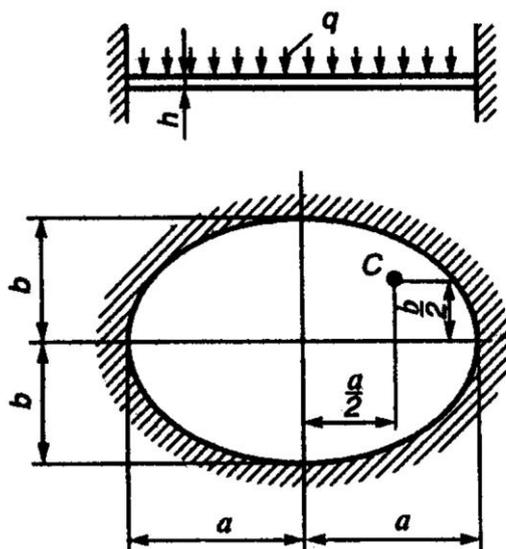


Рисунок 11 – Исходные схемы к задаче 11

Требуется:

- 1) Построить прогиб пластинки в середине.
- 2) Построить эпюры изгибающих моментов и поперечных усилий в пластинке по направлению главных диаметров контура.
- 3) В точке C с координатами $(a/2; b/2)$ определить изгибающие моменты M_x и M_y , крутящий момент $M_{x,y}$, положение главных площадок и главные изгибающие моменты M_{\max} и M_{\min} .

Исходные данные взять из таблицы 11.

Таблица 11 – Исходные данные к задаче 11

Номер строки	a, м	b, м	h, м	q, МПа
1	1,0	0,8	0,10	3,0
2	1,2	0,9	0,12	3,5
3	1,3	1,0	0,14	4,0
4	1,4	1,1	0,15	4,5
5	1,5	1,2	0,16	5,0
6	1,6	1,3	0,18	5,5
7	1,7	1,4	0,20	6,0
8	1,8	1,5	0,22	6,5
9	1,9	1,6	0,24	7,0
0	2,0	1,8	0,25	7,5
	А	Д	Г	В

Вопросы для самопроверки

1. Что понимается под оболочкой?
2. Что называют срединной поверхностью?
3. Какую оболочку называют пластиной?
4. В чем заключается особенность обозначения изгибающих моментов, характерная для пластин?
5. Перечислите основные гипотезы, взятые за основу таких пластин.
6. Сформулируйте уравнения Софи Жермина.

Задача 12

Для толстостенной трубы, имеющей внутренний диаметр **d** и наружный диаметр **D**, требуется:

- 1) Определить давление **P_T** внутри трубы, при котором в материале трубы начнется переход в пластическое состояние.
- 2) Определить предельное внутреннее давление **P_{пред}**, при котором материал трубы по всей толщине будет находиться в пластическом состоянии.

3) Построить эпюры распределения напряжений по толщине стенки трубы для пунктов 1 и 2.

4) Определить допускаемое давление $P_{\text{доп}}$ при коэффициенте запаса прочности $k = 1,5$.

Материал трубы – пластическая сталь, не обладающая упрочнением; $\sigma_T = 250 \text{ МПа}$; $E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$; $\mu = 0,5$.

Исходные данные взять из таблицы 12.

Таблица 11 – Исходные данные к задаче 11

Номер строки	D/d	d, м
1	3,0	0,005
2	3,2	0,010
3	3,6	0,015
4	4,0	0,020
5	4,4	0,025
6	4,8	0,030
7	5,0	0,035
8	5,2	0,040
9	5,6	0,045
0	6,0	0,050
	E	D

Вопросы для самопроверки

1. Какие геометрические характеристики формы называются пластинами и оболочками?

2. Укажите направления главных площадок цилиндрического тела при асимметричном и постоянном вдоль оси характере напряжения.

3. Сформулируйте задачу Ляме.

4. Укажите положения опасных площадок, принадлежащих цилиндрическому телу при действии внутреннего и внешнего давления соответственно.

Список рекомендованных источников

1. Сопротивление материалов: учебник / В. И. Феодосьев.– 14-е изд., испр. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2007. – 592 с. – (Механика в техническом университете ; Т. 2). – Предм. указ.: с. 577-584. – ISBN 978-5-7038-3024-6.

2. Сборник задач по сопротивлению материалов : учебное пособие для студентов высших технических учебных заведений / под ред. В. К. Качурина. – 2-е изд., испр., стер. – Москва : Альянс, 2014. – 432 с. : ил. – Прил.: с. 418-429. – ISBN 978-5-903034-39-1.

3. Саргсян, А. Е. Сопротивление материалов, теории упругости и пластичности / А. Е. Саргсян. – М. : Высшая школа, 2000. – 286 с.

4. Степин, П.А. Сопротивление материалов. [Электронный ресурс] : учеб. – Электрон. дан. – СПб. : Лань, 2014. – 320 с. – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/3179> – Загл. с экрана.

5. Жуков, В.Г. Механика. Сопротивление материалов. [Электронный ресурс] : учеб. пособие – Электрон. дан. – СПб. : Лань, 2012. – 416 с. – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/3721> – Загл. с экрана.

6. Дарков А. В. Сопротивление материалов / А. В. Дарков, Г. С. Шпиро. – М. : Высшая школа, 1989. – 624 с.

Интернет-ресурсы

1. <http://www.isopromat.ru/> – сайт помощи студентам в изучении дисциплины сопротивления и механики материалов в рамках большого раздела инженерной механики, содержащий лекционный материал, подробное описание решений типовых задач, учебники и пособия, а также публикующий новости технической механики.

2. <http://sopromato.ru/> – сайт, содержащий важные сведения по сопротивлению материалов, имеющий удобную навигацию, содержащий много

справочной информации, полезной студентам технических направлений подготовки.

3. <http://sopromat.org/> – сайт со свободным программным обеспечением для расчета балок, плоских ферм, геометрических характеристик плоских сечений он-лайн, на мобильном телефоне, для Android.

4. <http://soprotmat.ru/> – электронный учебный курс для студентов различных форм обучения.

5. <http://window.edu.ru/> – информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам».

6. www.vuz.exponenta.ru – сайт с имеющимися наборами задач по различным разделам курса механики материалов, множеством полезных компьютерных программ и анимационных иллюстраций.

7. <http://www.cadfem-cis.ru/> – образовательный портал о системах инженерного анализа.