

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ И ЗАДАНИЯ**

для расчетно-графических работ

по дисциплине

«Сопротивление материалов»

Часть 1

**Общие указания по выполнению расчетно-графической работы**

Исходные данные к задачам, включенным в расчетно-графическую работу, выбираются студентом согласно индивидуальному варианту. Вариант, который представляет набор из четырех цифр, каждому студенту указывается преподавателем.

Соответствующие исходные данные берут из таблиц следующим образом: порядковый номер цифры в варианте соответствует номеру пронумерованного столбца, а сама цифра означает номер строки в таблице.

Например, для варианта 0762 в задаче №1 необходимо взять из таблицы 1 следующие данные.

0 цифра №1 (соответствует столбцу №1)	7 цифра №2 (столбец №2)	6 цифра №3	2 цифра №4	Цифра варианта	Порядковый номер цифры в варианте				
					1		2	3	4
					$P_1/P$	$l/a$	$P_2/P$	$P_3/P$	№ схемы
				1	2	1,0	1	3	I
				2	-2	4,0	2	2	II
				3	3	1,5	3	1	III
				4	-3	2,5	-1	-3	IV
				5	4	3,0	-2	-2	V
				6	4	2,0	3	-1	I
				7	1	4,0	2	3	II
				8	-1	3,0	1	-2	III
				9	2	1,5	-4	1	IV
				0	-2	2,0	-2	4	V

Эти данные удобно записать в виде таблицы.

0		7	6	2
$P_1/P$	$l/a$	$P_2/P$	$P_3/P$	№ схемы
-2	2,0	2	-1	II

Таким образом, при варианте 0762 получили следующие исходные данные к задаче №1:  $P_1 = -2P$  (минус означает, что на схеме силу  $2P$  необходимо приложить в противоположную сторону, а знак минус – опустить),  $l = 2,0a$ ,  $P_2 = 2P$ ,  $P_3 = -P$ , схема II.

Данные по материалам к задачам можно взять из приложения 1.

Задачи, выполненные по исходным данным, не соответствующим индивидуальному варианту студента, не принимаются.

В начале каждой задачи должны быть приведены: фамилия и группа студента; номер задачи; краткий текст условия; аккуратный эскиз и таблица исходных данных, определяющие условие задачи в соответствии с вариантом. Потом составляется расчетная схема уже с принятыми параметрами исходных данных. На расчетной схеме, выполненной с соблюдением масштаба длин, все указанные размеры и нагрузки должны быть выражены через данные варианта. Те размеры или нагрузки, которые согласно принятому варианту равны нулю, указывать не нужно. Далее следует текст решения и ответы на поставленные в задаче вопросы. Основные этапы решения задачи должны сопровождаться краткими словесными пояснениями.

Решение задач рекомендуется выполнять в общем виде (в алгебраической и буквенной форме), подставляя числовые значения в расчетах величин лишь для получения окончательного результата. В тех случаях, когда такой путь становится громоздким, можно вводить промежуточные величины, которые используются затем для окончательного ответа. В промежуточных величинах, если это возможно, числовые значения целесообразно записывать в виде дроби. Каждый пункт решения должен при необходимости содержать вспомогательные чертежи или эскизы, расчетную формулу в общем виде, и выраженную через исходные данные, или ранее введенные промежуточные величины, числовое повторение этой формулы (если задача решается в числах) и ответ. Формулы для определения геометрических характеристик простых сечений приведены в приложении 2. В промежуточных и окончательных ответах необходимо проставлять размерность получаемых величин. При этом используется международная система единиц СИ.

Не следует проводить вычисления и получать результат с неоправданно большим числом значащих цифр. В предлагаемых задачах рекомендуется представлять результаты вычислений с тремя значащими цифрами. Исключение составляют задачи, требующие решения системы алгебраических уравнений. В этих задачах вычисление коэффициентов системы и ее решение выполняются с точностью до четырех и более значащих цифр. При подстановке в формулы исходных данных все числа необходимо записывать в виде десятичной дроби и в соответствии с последовательностью, указанной в формуле, например:

$$D \geq \sqrt[3]{\frac{3M}{0,2[\tau]}} = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 500 \cdot 10^3}{0,2 \cdot 30}} = 62,996 \text{ мм};$$

$$\varphi_{\max} = 125,5 \frac{Ml}{Gd^4} = 125,2 \frac{500 \cdot 10^3 \cdot 20 \cdot 10}{8 \cdot 10^4 \cdot 64^4} \cdot \frac{180}{\pi} = 0,536 \text{ град.}$$

Окончательный результат решения задачи необходимо округлять в соответствии с точностью исходных данных и с возможной точностью вычислений. Значения полученных линейных размеров следует округлять до ближайшего значения, рекомендуемого ГОСТ 6636-69 «Нормальные линейные размеры» (приложение 3).

Расчетно-графическая работа оформляется на стандартных листах белой бумаги формата А4 на одной стороне каждого листа с оставлением полей (левого – шири-

ной 20 мм (для подшивки), остальных – 5 мм). Текст (с формулами) набирается в редакторе Microsoft Word русифицированным шрифтом Times New Roman размером 14 пт с одинарным межстрочным интервалом. Красная строка абзаца набирается с отступом 0,7 см. Допускается выполнять текст рукописным способом (черной пастой и аккуратным понятным почерком) с высотой букв не менее 5 мм. Чертежи, и эскизы выполняются с применением чертежных инструментов (или с применением соответствующих графических редакторов) и с соблюдением масштабных соотношений. Пример оформления приведен в приложении 4.

Выполненные и принятые преподавателем задачи сшиваются с титульным листом в пластиковую папку-скоросшиватель (с прозрачной верхней обложкой) и защищаются у преподавателя.

### Задача №1

Консольный стержень нагружен сосредоточенными силами  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$  (рис. 1). Определить при помощи метода сечений внутренние силовые факторы в поперечном сечении, удаленном на расстояние  $l$  от свободного конца стержня.

Данные взять из таблицы 1.

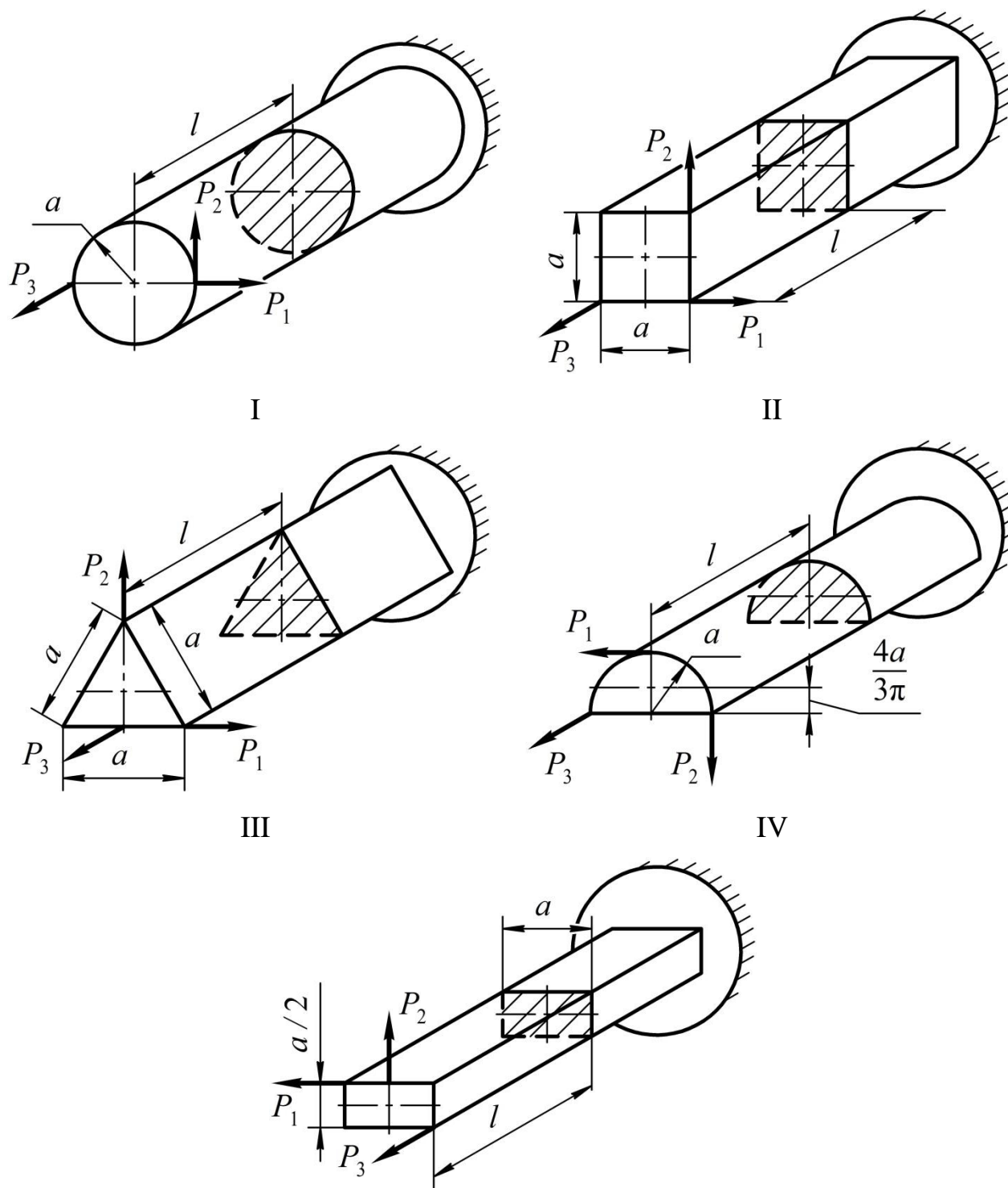


Рис. 1. К задаче №1

Таблица 1. Исходные данные для задачи №1

Цифра варианта	Порядковый номер цифры в варианте				
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	
	$P_1/P$	$l/a$	$P_2/P$	$P_3/P$	№ схемы
<b>1</b>	2	1,0	1	3	I
<b>2</b>	–2	4,0	2	2	II
<b>3</b>	3	1,5	3	1	III
<b>4</b>	–3	2,5	–1	–3	IV
<b>5</b>	4	3,0	–2	–2	V
<b>6</b>	–4	2,0	–3	–1	I
<b>7</b>	1	4,0	2	3	II
<b>8</b>	–1	3,0	1	–2	III
<b>9</b>	2	1,5	–4	1	IV
<b>0</b>	–2	2,0	–2	4	V

Методические указания.

1. Изобразить расчетную схему стержня (в задании использована фронтальная изометрическая проекция), указав на ней нагрузку и размеры, выраженные через данные варианта.

2. Используя метод сечений, изобразить отсеченную часть стержня с действующей на него нагрузкой и показать все внутренние силовые факторы в рассматриваемом сечении.

3. Составить уравнения равновесия для отсеченной части стержня:

$$\sum_{\text{отс.ч}} P_z = 0; \sum_{\text{отс.ч}} P_x = 0; \sum_{\text{отс.ч}} P_y = 0; \sum_{\text{отс.ч}} M_z = 0; \sum_{\text{отс.ч}} M_x = 0; \sum_{\text{отс.ч}} M_y = 0,$$

и определить значения внутренних силовых факторов по величине и знаку (в долях  $P$  – для нормальной и поперечных сил и в долях  $Pa$  – для крутящего и изгибающих моментов).

4. Проставить на схеме рассчитанные значения внутренних силовых факторов с учетом их знаков.

**Задача №2**

Консольный стержень (рис. 2) нагружен равномерно распределенными нагрузками интенсивностью  $q_1$  и  $q_2$  и сосредоточенными силами  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$  (величины сил заданы в долях  $ql$ ). Построить эпюру нормальной силы. Исходные данные взять из таблицы 2.

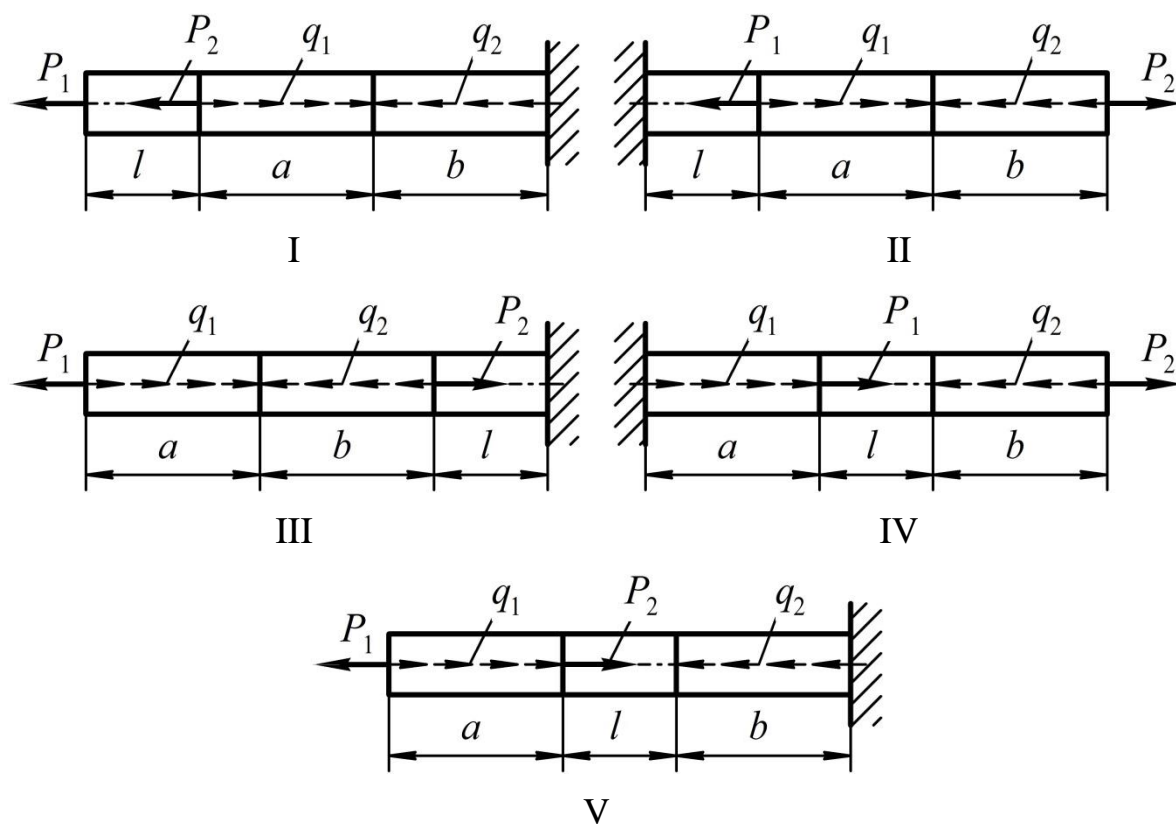


Рис. 2. К задаче №2

Таблица 2. Исходные данные для задачи №2

Цифра варианта	Порядковый номер цифры в варианте						
	1	2	3	4			
	$P_1/ql$	$a/l$	$q_1/q$	$q_2/q$	$b/l$	$P_2/ql$	№ схемы
1	-1,0	1,0	-1	1	2,0	2,0	I
2	2,5	1,5	2	-2	1,5	-2,5	II
3	-2,0	2,0	1	-2	2,5	1,0	III
4	1,5	2,5	-2	1	1,0	-1,5	IV
5	-1,0	3,0	1	2	1,0	3,0	V
6	1,5	2,0	-1	2	1,5	-2,0	I
7	-2,0	2,5	2	-1	2,5	1,5	II
8	3,0	1,0	-2	-1	2,0	-1,0	III
9	-1,5	1,5	-1	1	1,5	2,0	IV
0	2,0	2,0	1	2	1,0	-3,0	V

### Методические указания.

1. Изобразить с соблюдением масштаба длин расчетную схему стержня, выразив длины его участков в долях  $l$ , сосредоточенные силы в долях  $ql$  и распределенную нагрузку в долях  $q$ .

2. Определить опорную реакцию в жесткой заделке.

3. Построить эпюру нормальной силы  $ЭN$ :

а) разбить стержень на участки;

б) определить с помощью метода сечений, значения нормальной силы в начале и конце каждого участка стержня;

в) отложить в масштабе (в долях  $ql$ ) с учетом знака найденные значения нормальной силы в виде ординат к оси стержня; построить эпюру, соединив концы ординат на каждом участке прямыми линиями;

г) проставить знаки  $(+, -)$  на эпюре.

4. Записать по абсолютной величине значение максимальной нормальной силы  $|N|_{\max}$ , действующей в сечениях стержня.

Примечание. Эпюры нормальных сил можно построить используя правила построения эпюр, вытекающих из интегрально-дифференциальных зависимостей между внутренними силовыми факторами и внешней нагрузкой (см. тему «Центральное растяжение и сжатие»).

### Задача №3

Консольный стержень (рис. 3) нагружен равномерно распределенным  $\alpha t$  и сосредоточенными  $M_1$  и  $M_2$  крутящими моментами (величины моментов заданы в долях  $tl$ , где  $t$  – интенсивность распределенного момента). Построить эпюру крутящих моментов. Исходные данные взять из таблицы 3.

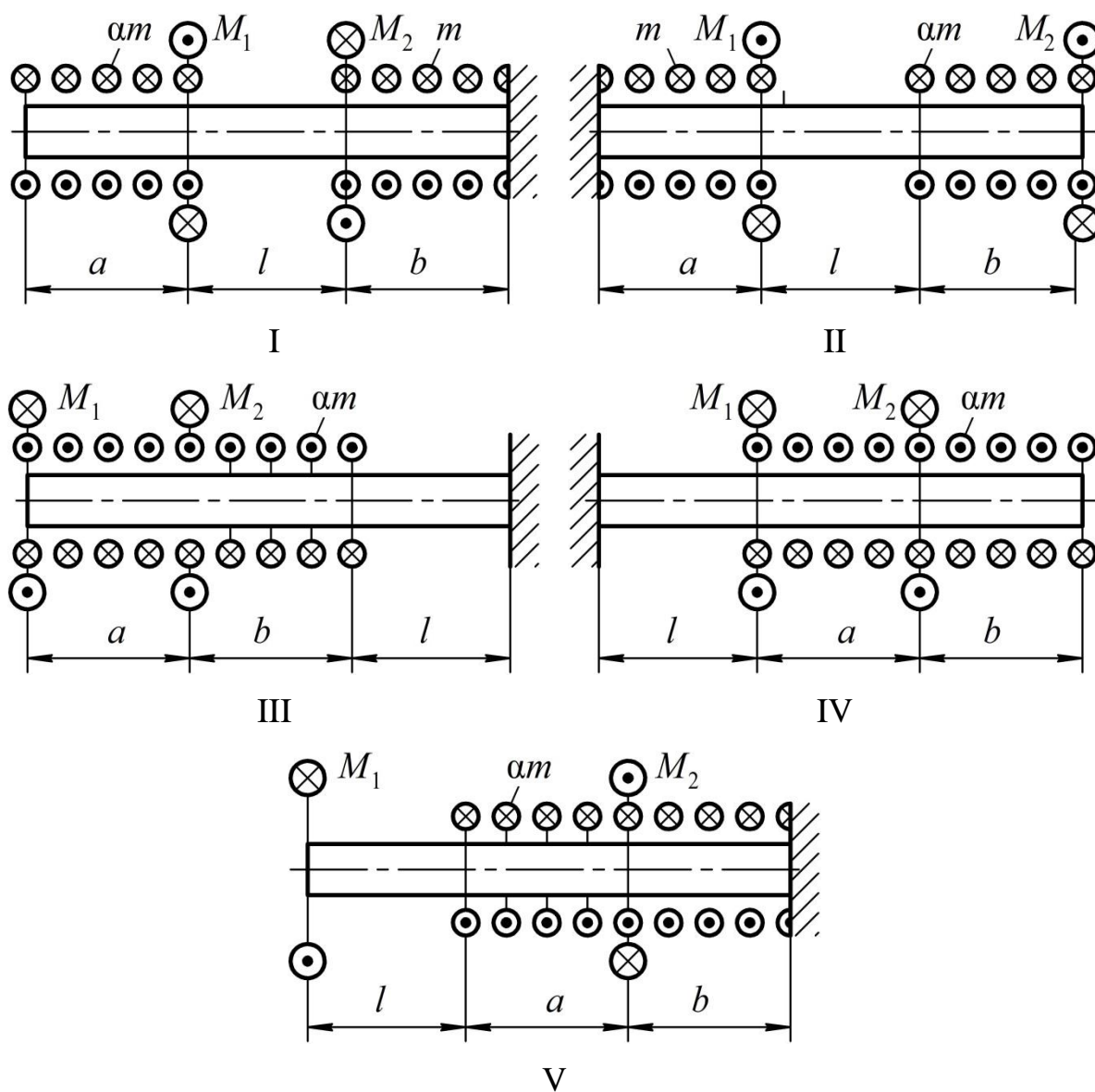


Рис. 3. К задаче №3



Таблица 3. Исходные данные для задачи №3

Цифра варианта	Порядковый номер цифры в варианте					
	1	2	3	4		
	$\alpha$	$M_1/ml$	$a/l$	№ схемы	$b/l$	$M_2/ml$
<b>1</b>	1	-1	1,5	I	2,5	3
<b>2</b>	-1	-2	2,0	II	3,0	-1
<b>3</b>	1	1	2,5	III	1,5	-2
<b>4</b>	2	-2	3,0	IV	2,0	2
<b>5</b>	-1	-3	1,0	V	1,0	1
<b>6</b>	-2	2	2,0	I	1,0	-3
<b>7</b>	1	1	1,5	II	1,5	-1
<b>8</b>	-2	-1	1,0	III	2,0	2
<b>9</b>	-1	2	2,0	IV	2,5	-2
<b>0</b>	2	3	2,5	V	3,0	1

Методические указания.

Эта задача выполняется аналогично задаче №2.

1. Изобразить с соблюдением масштаба длин расчетную схему стержня, выразив длины его участков в долях  $l$ , сосредоточенные моменты в долях  $ml$  и распределенный момент в долях  $m$ .

2. Определить опорную реакцию в жесткой заделке.

3. Построить эпюру крутящих моментов  $ЭМ_K$ :

а) разбить стержень на участки;

б) определить с помощью метода сечений значения крутящего момента в начале и конце каждого участка стержня;

в) отложить в масштабе (в долях  $ml$ ) с учетом знака найденные значения крутящего момента в виде ординат к оси стержня; построить эпюру, соединив концы ординат на каждом участке прямыми линиями.

4. Записать по абсолютной величине значение максимального крутящего момента  $|M_K|_{\max}$ , действующего в сечениях стержня.

Примечание. Эпюры крутящих моментов можно построить используя правила построения эпюр, вытекающих из интегрально-дифференциальных зависимостей между внутренними силовыми факторами и внешней нагрузкой (см. тему «Кручение»).

**Задача №4**

Консольная балка нагружена (рис. 4) сосредоточенными силами и моментами (заданными соответственно в долях  $P$  и  $Pl$ ). Построить эпюры поперечной силы и изгибающего момента. Исходные данные взять из таблицы 4.

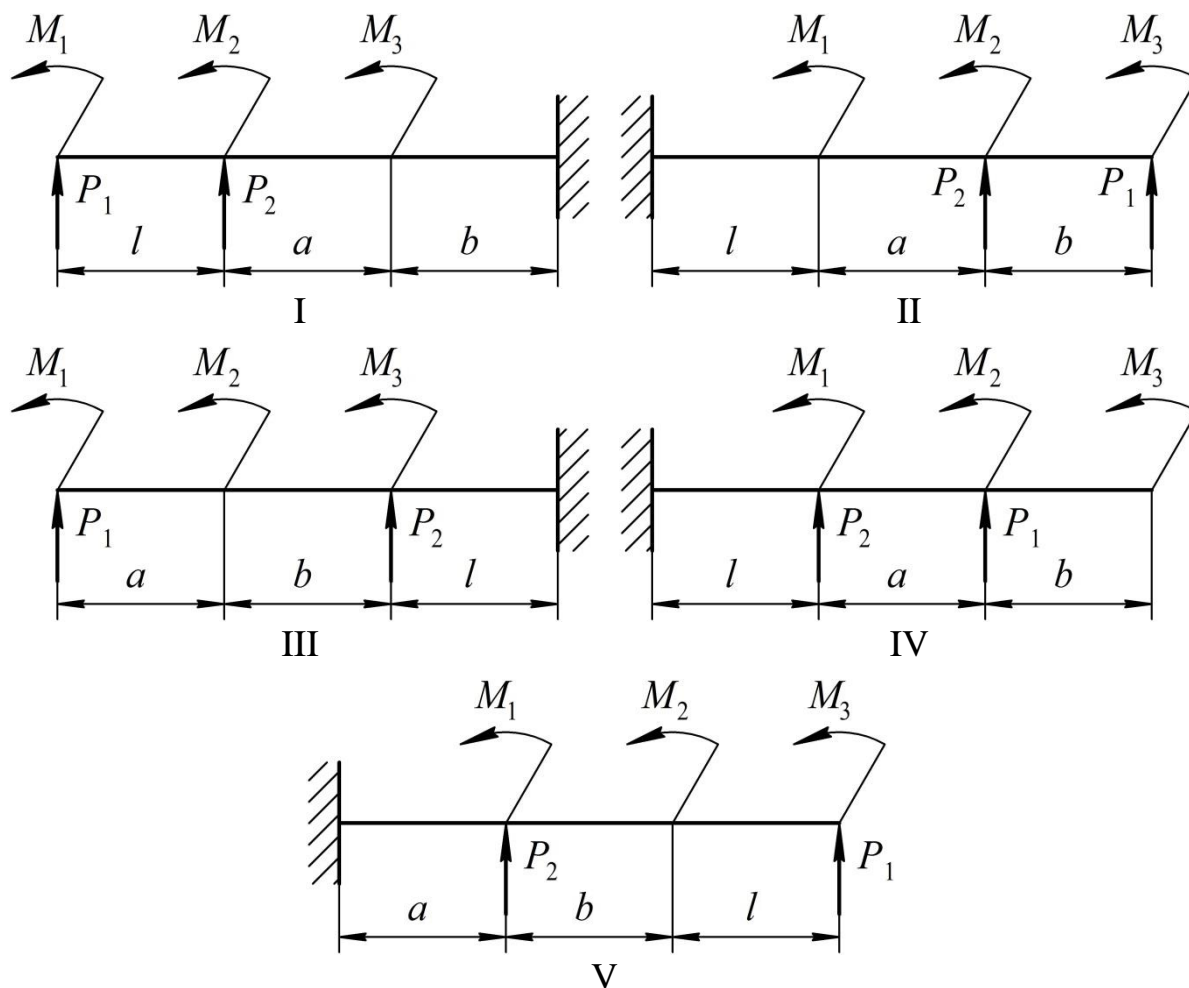


Рис. 4. К задаче №4

Таблица 4. Исходные данные для задачи №4

Цифра варианта	Порядковый номер цифры в варианте							
	1	2	3	4				
	$P_1/P$	$M_1/Pl$	$a/l$	$b/l$	$P_2/P$	$M_2/Pl$	$M_3/Pl$	№ схемы
1	1	2	2	2	2	0	1	I
2	-1	-2	1	3	-1	-1	0	II
3	2	1	1	3	3	0	1	III
4	-2	-1	3	1	2	-1	0	IV
5	1	2	2	2	-2	0	-2	V
6	1	-1	1	3	1	-2	0	I
7	-1	-2	2	3	-3	0	-1	II
8	-1	1	2	2	-2	-1	0	III
9	2	1	3	1	1	2	0	IV
0	-2	-2	3	1	3	0	2	V

Методические указания смотреть в задаче №6.

**Задача №5**

Балка на двух опорах (рис. 5) нагружена сосредоточенными силами и моментами (заданными соответственно в долях  $P$  и  $Pl$ ). Построить эпюры поперечной силы и изгибающего момента. Данные взять из таблицы 5.

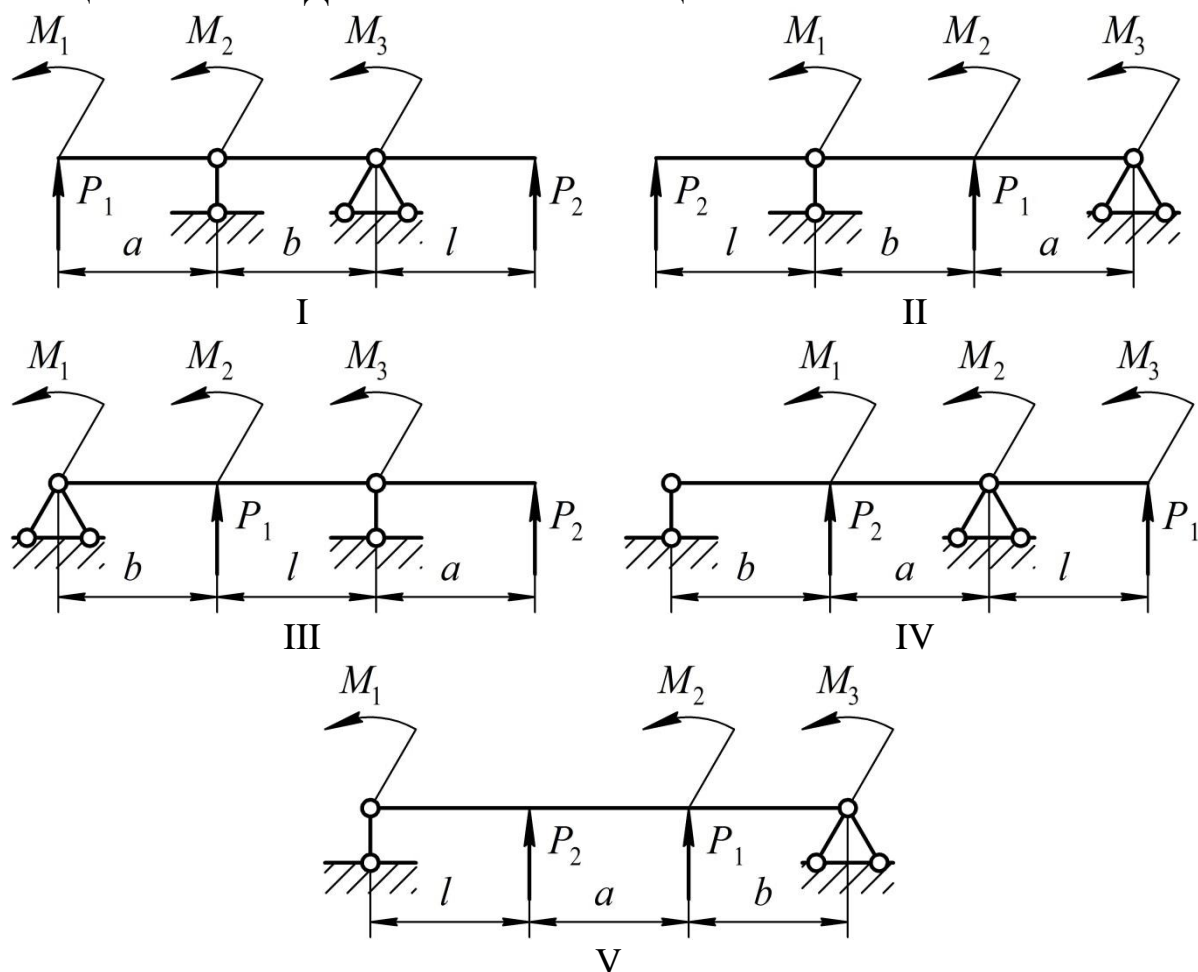


Рис. 5. К задаче №5

Таблица 5. Исходные данные для задачи №5

Цифра варианта	Порядковый номер цифры в варианте							
	1	2	3	4				
	№ схемы	$a/l$	$P_2/P$	$b/l$	$P_1/P$	$M_1/Pl$	$M_2/Pl$	$M_3/Pl$
1	I	1	1	2	-1	1	0	0
2	II	2	-1	1	1	0	3	0
3	III	2	2	2	2	0	0	-3
4	IV	1	-2	3	-2	-1	0	0
5	V	2	1	1	2	0	-2	0
6	I	1	-1	3	2	0	0	-2
7	II	1	2	2	-2	0	0	1
8	III	1	-2	2	1	0	2	0
9	IV	2	1	1	-1	2	0	0
0	V	2	-1	3	1	0	0	-1

Методические указания смотреть в задаче №6.

**Задача №6**

Консольная балка (рис. 6) нагружена равномерно распределенными и сосредоточенными нагрузками (заданными, соответственно в долях  $q$ ,  $ql$  и  $ql^2$ , где  $q$  – интенсивность распределенной нагрузки). Построить эпюры поперечной силы и изгибающего момента. Исходные данные взять из таблицы 6.

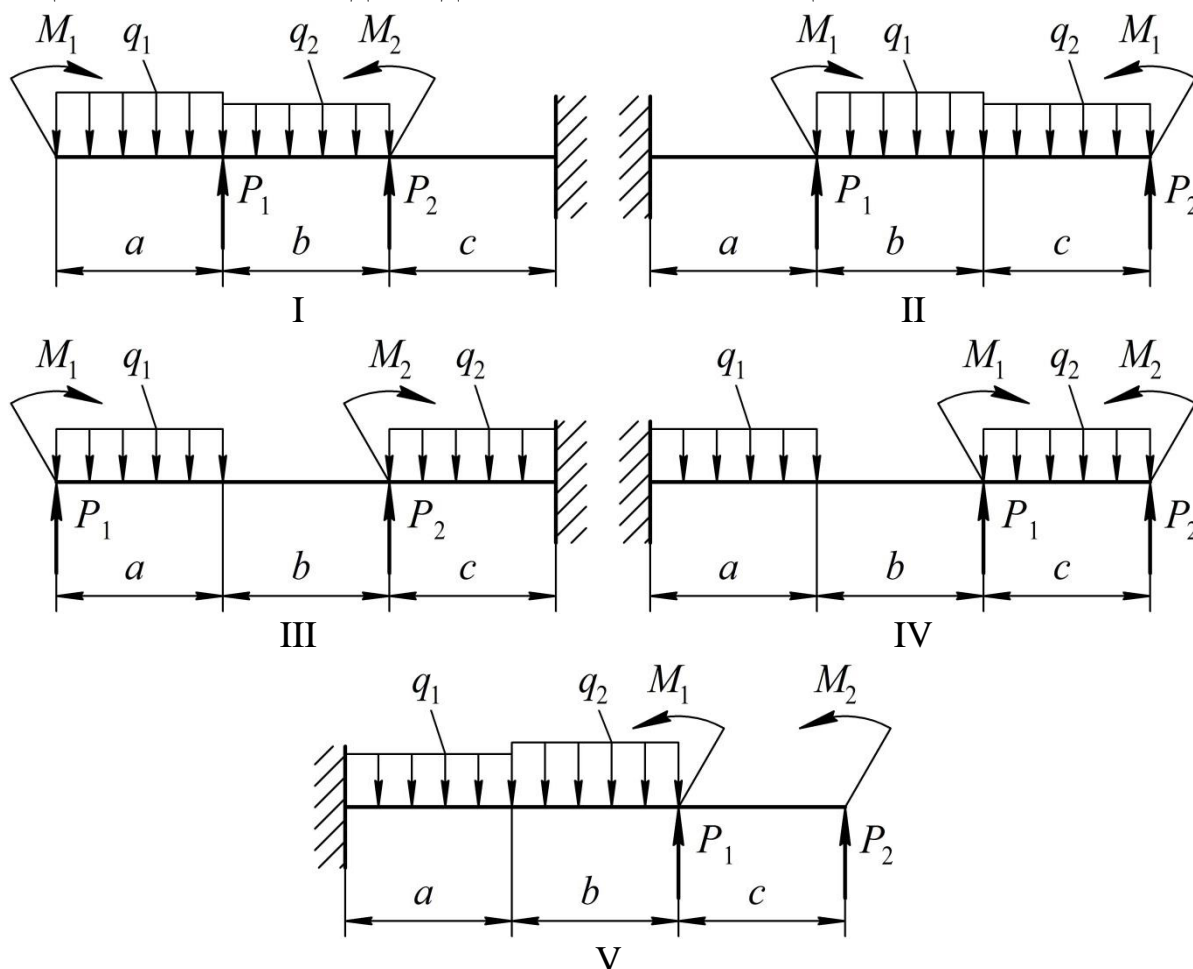


Рис. 6. К задаче №6

Таблица 6. Исходные данные для задачи №6

Цифра варианта	Порядковый номер цифры в варианте									
	1		2		3			4		
	$M_1/ql^2$	$a/l$	$M_2/ql^2$	$b/l$	$q_1/q$	$q_2/q$	$c/l$	$P_1/ql$	$P_2/ql$	№ схемы
1	-2	2	3	2	0	-2	2	-2	0	I
2	-3	1	2	2	0	-1	1	0	1	II
3	1	2	-3	1	0	2	1	-1	0	III
4	-1	1	1	1	0	1	2	0	1	IV
5	3	2	-2	1	2	0	1	0	2	V
6	2	1	3	2	1	0	2	2	0	I
7	1	2	1	1	-1	0	1	0	-2	II
8	-2	1	-1	1	-2	0	2	-2	0	III
9	2	1	-2	2	0	2	1	2	0	IV
0	-3	2	2	2	-2	0	2	0	-2	V

### Методические указания.

1. Изобразить с соблюдением масштаба длин расчетную схему балки, выразив длины ее участков в долях  $l$ , распределенную нагрузку в долях  $q$ , сосредоточенные силы в долях  $ql$  и сосредоточенные моменты в долях  $ql^2$  (в задачах №4 и №5 силы и моменты выражают в долях  $P$  и  $Pl$ ).

2. Определить опорные реакции. Опорные реакции в двухопорных балках рекомендуется определять из уравнений равновесия моментов относительно шарнирных опор, а уравнение равновесия проекции сил на вертикальную ось  $\sum y = 0$  использовать для проверки (оно должно удовлетворяться тождественно).

3. Построить эпюры поперечной силы  $ЭQ$  и изгибающего момента  $ЭM_x$  (ось  $x$  перпендикулярна плоскости чертежа, поэтому на расчетной схеме она представляется точкой, совпадающей с центром тяжести поперечного сечения балки):

а) разбить балку на участки;

б) определить с помощью метода сечений значения поперечной силы и изгибающего момента в начале и конце каждого участка;

в) отложить на эпюре  $ЭQ$  в масштабе с учетом знака найденные значения поперечной силы в виде ординат к оси эпюры, соединить концы ординат на каждом участке прямыми линиями и проставить знаки  $(+, -)$  на эпюре.

г) отложить на эпюре  $ЭM_x$  в масштабе с учетом знака найденные значения изгибающих моментов в виде ординат к оси эпюры и соединить концы ординат на каждом участке соответствующими линиями (при отсутствии на участке распределенной нагрузки – прямой линией, при действии распределенной нагрузки – по квадратной параболе и выпуклостью навстречу интенсивности  $q$ ).

д) если на участке балки линия эпюры поперечной силы пересекает ось эпюры, определить абсциссу  $z$ , соответствующую сечению балки, в котором  $Q(z) = 0$  (аналитически или графически), вычислить с помощью метода сечений экстремальное значение изгибающего момента, действующего в этом сечении, и отложить его на эпюре.

4. Записать по абсолютной величине значения максимальной поперечной силы  $|Q|_{\max}$  и максимального изгибающего момента  $|M_x|_{\max}$ , действующих в сечениях стержня.

Примечание. Эпюры поперечных сил и изгибающих моментов можно построить используя правила построения эпюр, вытекающих из интегрально-дифференциальных зависимостей между внутренними силовыми факторами и внешней нагрузкой (см. тему «Прямой изгиб»).

**Задача №7**

Для стержня переменного поперечного сечения (рис. 7), нагруженного сосредоточенными силами  $P_1$ ,  $P_2$  и  $P_3$  (заданными в долях  $P$ ), определить из расчетов на прочность и жесткость допускаемое значение параметра нагрузки  $P$ . При найденном значении нагрузки  $P$  вычислить перемещение свободного конца стержня.

Принять: материал – сталь 40;  $F = 2 \text{ см}^2$ ;  $l = 20 \text{ см}$ ;  $[n] = 2$ ;  $[\Delta l] = 0,1 \text{ мм}$ .

Остальные данные взять из таблицы 7 и приложения 1.

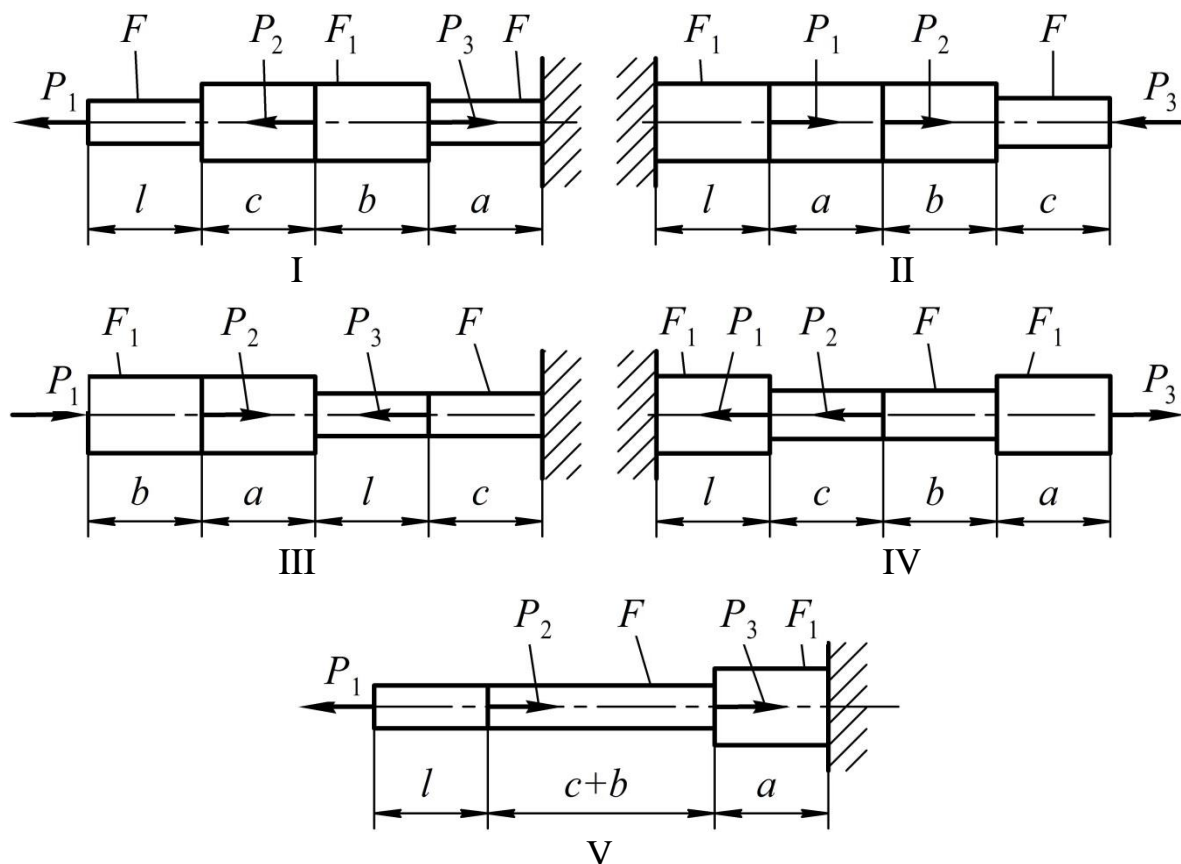


Рис. 7. К задаче №7

Таблица 7. Исходные данные для задачи №7

Цифра варианта	Порядковый номер цифры в варианте							
	1		2		3		4	
	$F_1/F$	$P_1/P$	$a/l$	$P_2/P$	$b/l$	$P_3/P$	№ схемы	$c/l$
<b>1</b>	3,0	2	2,5	−4	1,0	−1	I	1,5
<b>2</b>	1,6	1	2,0	−5	1,5	−1	II	2,5
<b>3</b>	1,8	−2	2,5	4	2,5	2	III	1,0
<b>4</b>	2,0	3	2,0	−4	2,0	−2	IV	3,0
<b>5</b>	2,2	1	1,5	−5	1,0	−3	V	1,5
<b>6</b>	1,5	−1	2,0	3	1,5	3	I	3,0
<b>7</b>	2,5	−1	2,5	5	1,5	1	II	2,5
<b>8</b>	2,8	−2	1,5	5	1,0	2	III	2,0
<b>9</b>	1,0	−3	2,0	4	1,5	−2	IV	1,0
<b>0</b>	1,2	2	1,0	−3	2,0	−1	V	2,0

Методические указания.

1. Изобразить в масштабе расчетную схему стержня, выразив длины ее участков в долях  $l$  и сосредоточенные силы в долях  $P$ .
2. Разбить стержень на участки.
3. Построить эпюру нормальных сил  $ЭN$  (в долях  $P$ ).
4. Определить нормальные напряжения (в долях  $P/F$ ) на участках бруса и построить эпюру нормальных напряжений  $Э\sigma$ .
5. Из условия прочности для опасного сечения стержня определить допустимое значение параметра нагрузки  $P$ .
6. Определить продольные перемещения поперечных сечений стержня (в долях  $Pl/EF$ ) и построить эпюру продольных перемещений  $Э\Delta l$ .
7. Из условия жесткости (по ограничению максимального перемещения сечений стержня) определить допустимое значение параметра нагрузки  $P$ .
8. Принять окончательное значение допустимого значения параметра нагрузки  $P$ .
- 9 При найденном значении нагрузки  $P$  вычислить перемещение свободного конца стержня.

**Задача №8**

Плоская ферма (рис.8), состоящая из трех деформируемых стержней и абсолютно жесткого тела, нагружена сосредоточенной силой  $P$  и распределенной нагрузкой интенсивностью  $q$ . Определить из условия прочности площади поперечных сечений стержней, испытывающих растяжение или сжатие, и учитывая, что каждый стержень фермы состоит из двух одинаковых равнополочных уголков, подобрать для них соответствующие номера профилей.

Принять: материал – Сталь 5;  $l = 50$  см;  $q = 200$  кН/м;  $[n] = 1,4$ . Остальные данные взять из таблицы 8 и приложения 1.

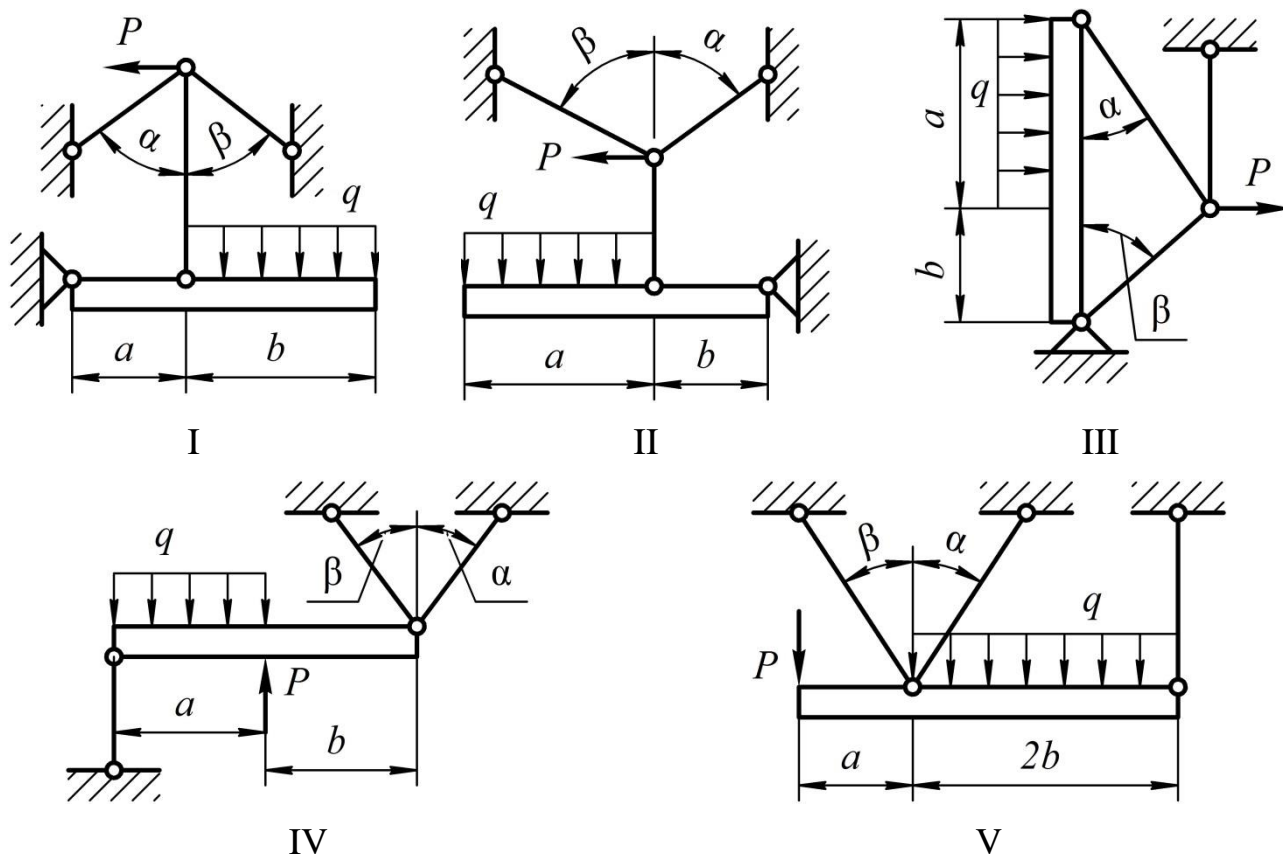


Рис. 8. К задаче №8



Таблица 8. Исходные данные для задачи №8

Цифра варианта	Порядковый номер цифры в варианте					
	1	2	3		4	
	$b/l$	$P$ , кН	$a/l$	$\alpha$ , град	Схема	$\beta$ , град
1	1	100	2	25	I	70
2	2	120	1	30	II	50
3	3	150	3	60	III	45
4	2	130	2	45	IV	40
5	3	140	1	35	V	25
6	1	180	3	40	I	65
7	3	160	3	55	II	60
8	2	170	1	50	III	30
9	1	190	2	65	IV	55
0	1	200	2	70	V	35

Методические указания.

1. Изобразить с соблюдением углов и соотношения длин расчетную схему плоской фермы, выразив длины в долях  $l$  и сосредоточенную силу  $P$  в долях  $ql$ .

2. Определить методом сечений нормальные силы в деформируемых стержнях (в долях  $ql$ ).

3. Из расчета на прочность найти площади поперечных сечений стержней.

4. Считая, что каждый стержень состоит из двух одинаковых равнобоких уголков, подобрать по ГОСТ 8509-93 (приложение 5) соответствующий номер профиля.

Примечание. Двойными линиями на расчетных схемах обозначены абсолютно жесткие стержни, расчет которых в данной задаче не требуется.

**Задача №9**

К ступенчатому валу, состоящему из участков с круглым и кольцевым поперечным сечением (рис. 9), приложены моменты  $M_1$  и  $M_2$ . Требуется определить из условий прочности и жесткости неизвестные размеры вала и при найденных размерах вычислить (в градусах) угол закручивания свободного конца бруса.

Принять:  $M = 500 \text{ Нм}$ ;  $[\theta] = 2,0 \text{ град/м}$ ;  $l = 30 \text{ см}$ ; материал – Сталь 20;  $[n] = 2$ . Остальные данные взять из таблицы 9 и приложения 1.

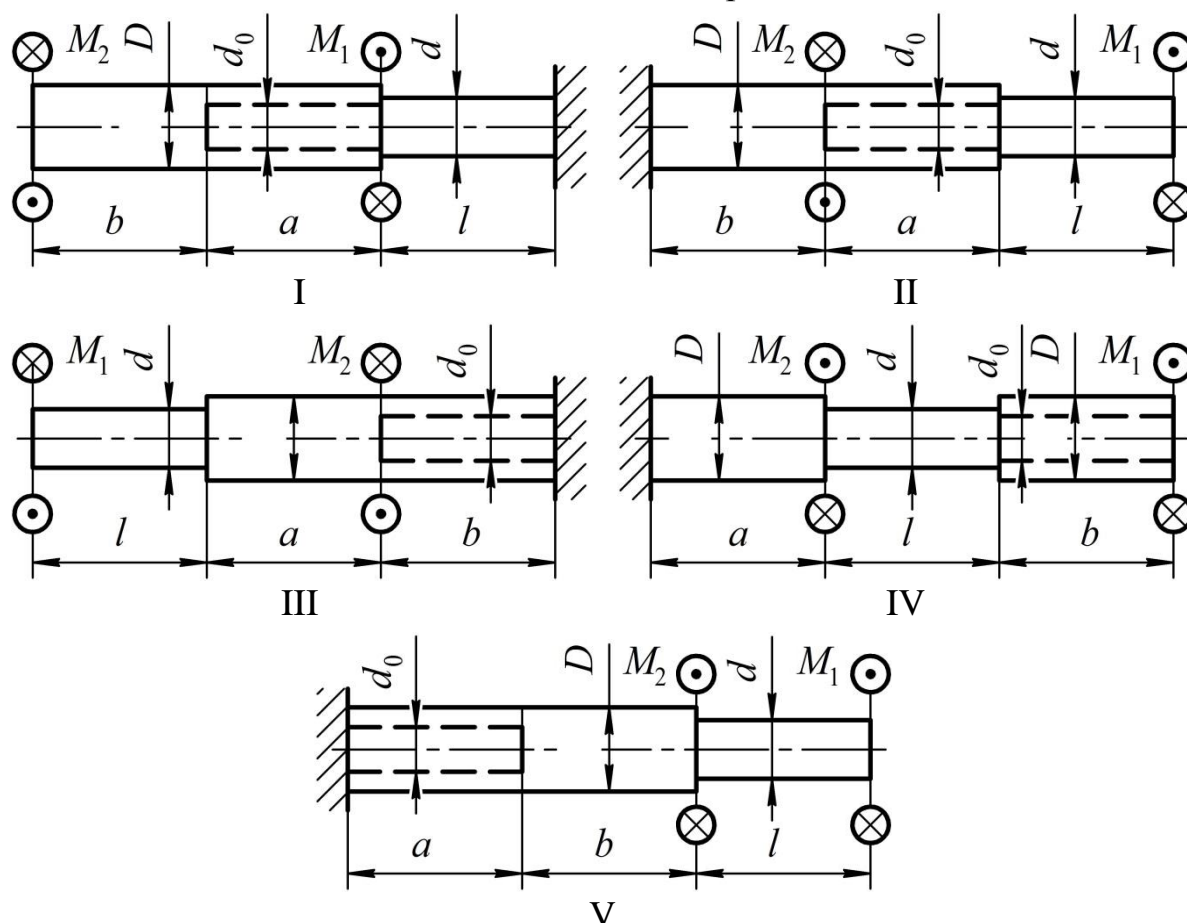


Рис. 9. К задаче №9

Таблица 9. Исходные данные для задачи №9

Цифра варианта	Порядковый номер цифры в варианте						
	1	2	3	4			
	$D/d$	$a/l$	$M_1/M$	№ схемы	$b/l$	$M_2/M$	$d_0/d$
1	1,2	1,5	2	I	4,0	-4	0,9
2	1,4	2,5	1	II	3,5	-5	0,8
3	1,6	2,5	3	III	3,0	4	0,7
4	1,8	3,0	-2	IV	2,5	-4	0,6
5	2,0	2,5	-1	V	2,0	-3	0,5
6	1,5	3,0	1	I	1,5	3	0,5
7	2,1	3,5	-2	II	3,0	5	0,6
8	1,9	2,0	-1	III	2,0	5	0,7
9	1,3	2,0	2	IV	2,5	4	0,8
0	1,7	1,5	-3	V	3,0	-5	0,9

Методические указания.

1. Изобразить в масштабе расчетную схему стержня, выразив длины ее участков в долях  $l$  и сосредоточенные моменты в долях  $M$ .
2. Разбить вал на участки.
3. Построить эпюру крутящего момента (в долях  $M$ ).
4. Определить величины максимальных касательных напряжений в поперечных сечениях каждого участка стержня (в долях  $M/d^3$ ) и построить эпюру касательных напряжений  $\tau$ .
5. Из условия прочности для опасного участка вала вычислить значение диаметра  $d$ .
6. Определить величины относительных углов закручивания  $\theta$  на каждом участке вала (в долях  $M/Gd^4$ ) и построить эпюру  $\theta$ .
7. Из условия жесткости для участка вала с наибольшим значением относительного угла закручивания  $|\theta|_{\max}$  вычислить значение диаметра  $d$ .
8. Принять окончательное значение размера  $d$ , а по нему определить размеры  $D$  и  $d_0$ , округлив их до ближайшей величины по ГОСТ 6636-69 (приложение 3).
9. Построить эпюру абсолютных углов закручивания поперечных сечений стержня  $\varphi$ , начиная с заделки, и вычислить значение наибольшего угла закручивания вала.

### Задача №10

Для стальной балки (рис. 10а) требуется:

1) подобрать из расчета на прочность по наибольшим напряжениям размеры сечений трех типов:

- прямоугольное сечение с отношением высоты к ширине  $h/b = 2$ ;
- круглое сечение диаметром  $d$ ;
- сечение, составленное из швеллеров или двутавров (рис. 10б);

2) для каждого типа сечения балки вычислить наибольшие касательные напряжения в поперечном сечении и сравнить их с допускаемым;

3) найти соотношение площадей сечений соответствующих балок и выбрать наиболее рациональный тип сечения.

Принять:  $[n] = 1,8$ ,  $q = 30$  кН/м,  $l = 1$  м, материал балки Ст. 5. Остальные данные взять из таблицы 10 и приложений 1, 6, 7.

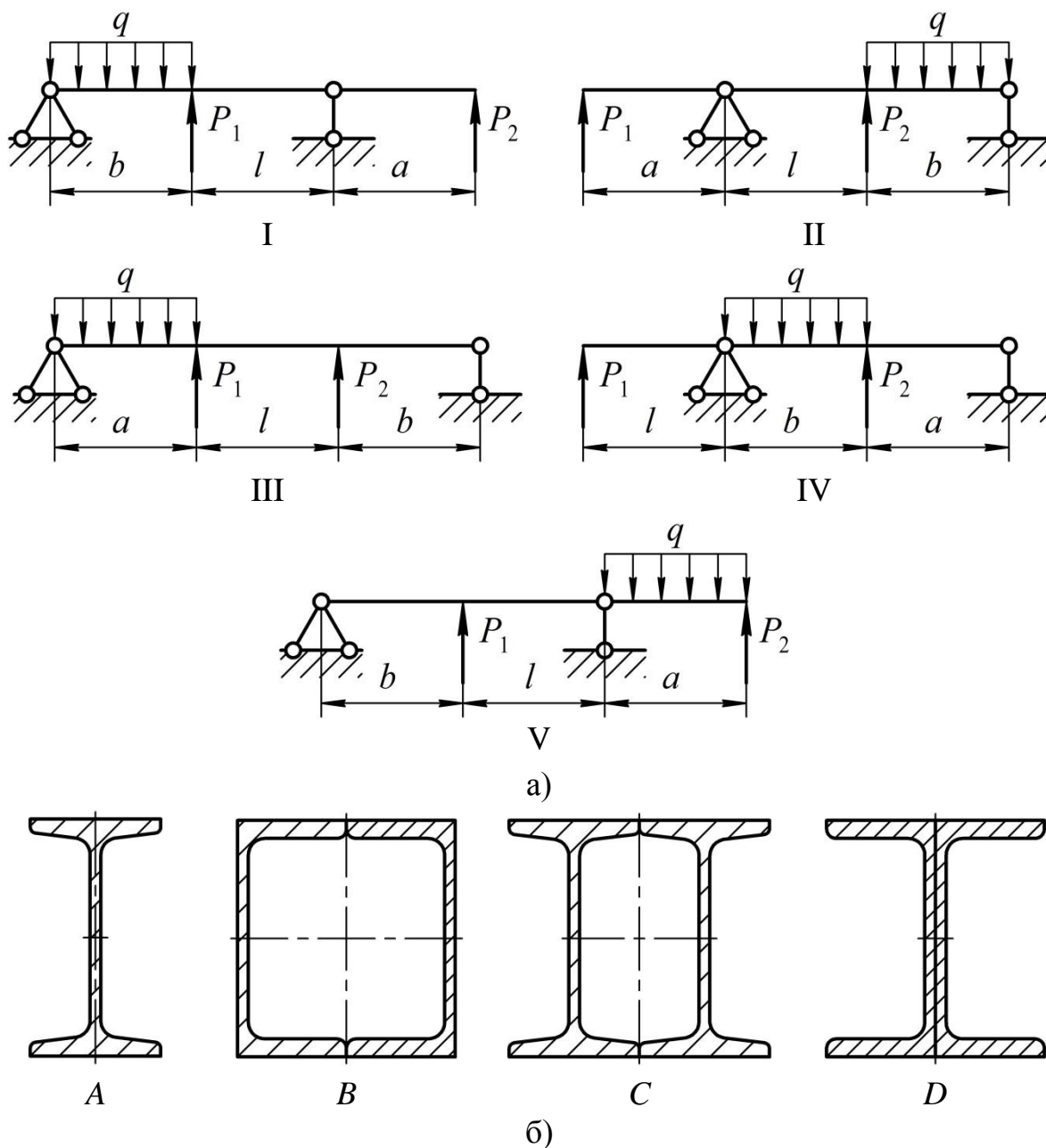


Рис. 10. К задаче №10

Таблица 10. Исходные данные для задачи №10

Цифра варианта	Порядковый номер цифры в варианте					
	1	2	3		4	
	$a/l$	$b/l$	$P_1/ql$	№ схемы	$P_2/ql$	Сечение
<b>1</b>	3	2	1	I	2	A
<b>2</b>	1	2	2	II	-2	B
<b>3</b>	2	1	3	III	3	C
<b>4</b>	1	1	-3	IV	-3	D
<b>5</b>	3	3	-2	V	1	B
<b>6</b>	1	3	-1	I	-1	C
<b>7</b>	2	1	1	II	2	D
<b>8</b>	1	1	-1	III	-2	A
<b>9</b>	3	2	2	IV	1	C
<b>0</b>	2	2	-2	V	-1	D

Методические указания.

1. Изобразить в масштабе расчетную схему балки, выразив длины ее участков в долях  $l$  и сосредоточенные силы в долях  $ql$ .

2. Определить опорные реакции.

3. Разбить балку на участки.

4. Построить эпюры поперечной силы (в долях  $ql$ ) и изгибающего момента (в долях  $ql^2$ ).

5. Определить наибольшие по абсолютной величине значения поперечной силы  $|Q|_{\max}$  (в долях  $ql$ ) и изгибающего момента  $|M_x|_{\max}$  (в долях  $ql^2$ ) в сечениях балки.

6. Из условия прочности по наибольшим напряжениям определить размеры прямоугольного и круглого поперечных сечений балки. Для сечения стандартного профиля вычислить требуемую величину осевого момента сопротивления  $W_x$  и подобрать по таблице сортамента соответствующий номер профиля.

7. Вычислить по формуле Журавского наибольшие касательные напряжения в балках каждого варианта поперечных сечений и сравнить их с допускаемым.

8. Найти соотношение площадей сечений соответствующих балок  $F^{\square}:F^{\circ}:F^{\perp}$ , приняв площадь сечения балки из швеллеров или двутавров за единицу  $F^{\perp} = 1$ .

9. Вычертить поперечные сечения трех вариантов балок в одном масштабе и выбрать и выбрать по соотношению площадей сечений более рациональный тип сечения.

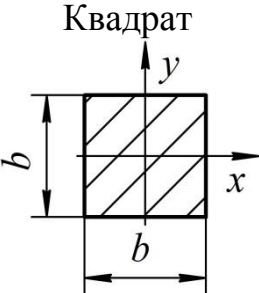
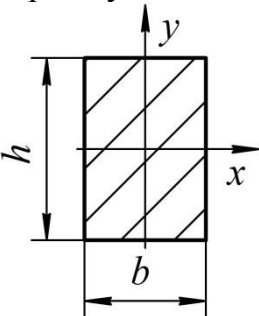
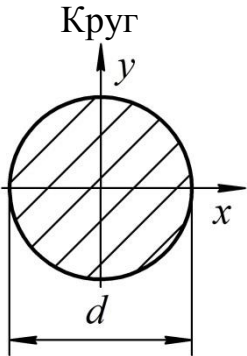
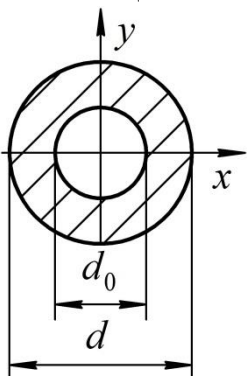
**ПРИЛОЖЕНИЯ****Приложение 1****Механические характеристики материалов**

Пластичные материалы						
Материал	Марка	$\sigma_T$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\tau_T$ , МПа	$E$ , МПа	$\mu$
Стали углеродистые	Ст.3	230	470	160	$2,0 \cdot 10^5$	0,28
	Ст.4	240	550	170		
	Ст.5	280	650	190		
	20	220	500	160		
	40	320	650	220		
	45	320	750	220		
Стали легированные	20ХН	600	800	350	$2,1 \cdot 10^5$	0,30
	40Х	800	1000	440		
	40ХН	750	900	390		
	12ХН3А	700	950	400		
Сплавы алюминиевые	АЛ-4	200	260	120	$0,72 \cdot 10^5$	0,30
	АК-4	310	400	180		
	Д-16	330	470	200		
Титановый сплав	ВТ-3	960	1100	500	$1,2 \cdot 10^5$	0,26
Латунь (медный сплав)	Л-68	330	450	200	$1,2 \cdot 10^5$	0,36
Магниевый сплав	МА-5	220	300	160	$0,72 \cdot 10^5$	0,27

Хрупкие материалы					
Материал	Марка	$\sigma_{BR}$ , МПа	$\sigma_{BC}$ , МПа	$E$ , МПа	$\mu$
Чугуны серые	СЧ 12	120	500	$1,2 \cdot 10^5$	0,25
	СЧ 15	150	600		
	СЧ 18	180	670		
	СЧ 24	240	800		
	СЧ 35	350	900		

## Приложение 2

### Геометрические характеристики простых сечений

Форма сечения	Площадь сечения	Моменты инерции	Моменты сопротивления
<p>Квадрат</p> 	$b^2$	$I_x = I_y = \frac{b^4}{12}$	$W_x = W_y = \frac{b^3}{6}$
<p>Прямоугольник</p> 	$bh$	$I_x = \frac{bh^3}{12}$ $I_y = \frac{hb^3}{12}$	$W_x = \frac{bh^2}{6}$ $W_y = \frac{hb^2}{6}$
<p>Круг</p> 	$\frac{\pi d^2}{4}$	$I_x = I_y = \frac{\pi d^4}{64}$ $I_p = \frac{\pi d^4}{32}$	$W_x = W_y = \frac{\pi d^3}{32}$ $W_p = \frac{\pi d^3}{16}$
<p>Кольцо</p> 	$\frac{\pi}{4}(d^2 - d_0^2)$ $c = \frac{d_0}{d}$	$I_x = I_y = \frac{\pi d^4}{64}(1 - c^4)$ $I_p = \frac{\pi d^4}{32}(1 - c^4)$	$W_x = W_y = \frac{\pi d^3}{32}(1 - c^4)$ $W_p = \frac{\pi d^3}{16}(1 - c^4)$

**Приложение 3**  
**Нормальные линейные размеры (ГОСТ 6636-69)**

Ряды предпочтительных чисел											
Ra5	Ra10	Ra20	Ra40	Ra5	Ra10	Ra20	Ra40	Ra5	Ra10	Ra20	Ra40
1,0	1,0	1,0	1,0	10	10	10	10	100	100	100	100
			1,05				10,5				105
		1,1	1,1			11	11			110	110
			1,15				11,5				115
	1,2	1,2	1,2		12	12	12		120	120	120
			1,3				13				130
		1,4	1,4			14	14			140	140
			1,5				15				150
1,6	1,6	1,6	1,6	16	16	16	16	160	160	160	160
			1,7				17				170
		1,8	1,8			18	18			180	180
			1,9				19				190
	2,0	2,0	2,0		20	20	20		200	200	200
			2,1				21				210
		2,2	2,2			22	22			220	220
			2,4				24				240
2,5	2,5	2,5	2,5	25	25	25	25	250	250	250	250
			2,6				26				260
		2,8	2,8			28	28			280	280
			3,0				30				300
	3,2	3,2	3,2		32	32	32		320	320	320
			3,4				34				340
		3,6	3,6			36	36			360	360
			3,8				38				380
4,0	4,0	4,0	4,0	40	40	40	40	400	400	400	400
			4,2				42				420
		4,5	4,5			45	45			450	450
			4,8				48				480
	5,0	5,0	5,0		50	50	50		500	500	500
			5,3				53				530
		5,6	5,6			56	56			560	560
			6,0				60				600
6,3	6,3	6,3	6,3	63	63	63	63	630	630	630	630
			6,7				67				670
		7,1	7,1			71	71			710	710
			7,5				75				750
	8,0	8,0	8,0		80	80	80		800	800	800
			8,5				85				850
		9,0	9,0			90	90			900	900
			9,5				95				950

Примечание: При выборе размеров предпочтение отдавать рядам с более крупной градацией: Ряд Ra5 следует предпочитать ряду Ra10; ряд Ra10 – ряду Ra20; ряд Ra20 – ряду Ra40.



## Приложение 4

### Пример оформления задачи

Власов И.В. ДО-201  
вариант 2469

#### Задача №2

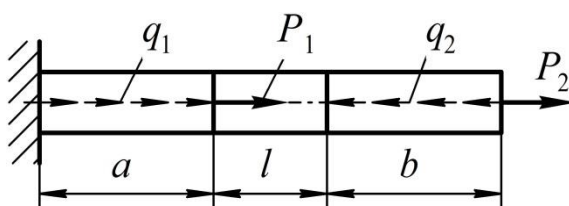
Условие задачи.

Консольный стержень нагружен равномерно распределенными нагрузками интенсивностью  $q_1$  и  $q_2$  и осевыми сосредоточенными силами  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ . Построить эпюру нормальной силы.

Исходные данные

Таблица исходных данных

2		4	6		9	
$P_1/ql$	$a/l$	$q_1/q$	$q_2/q$	$b/l$	$P_2/ql$	№ схемы
2,5	1,5	-2	2	2,5	2,5	IV



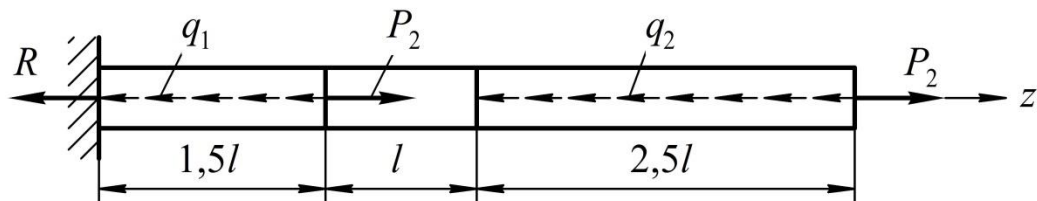
Заданная схема

Принять: не задано.

Остальные данные из приложений: не задано.

## Продолжение приложения 4

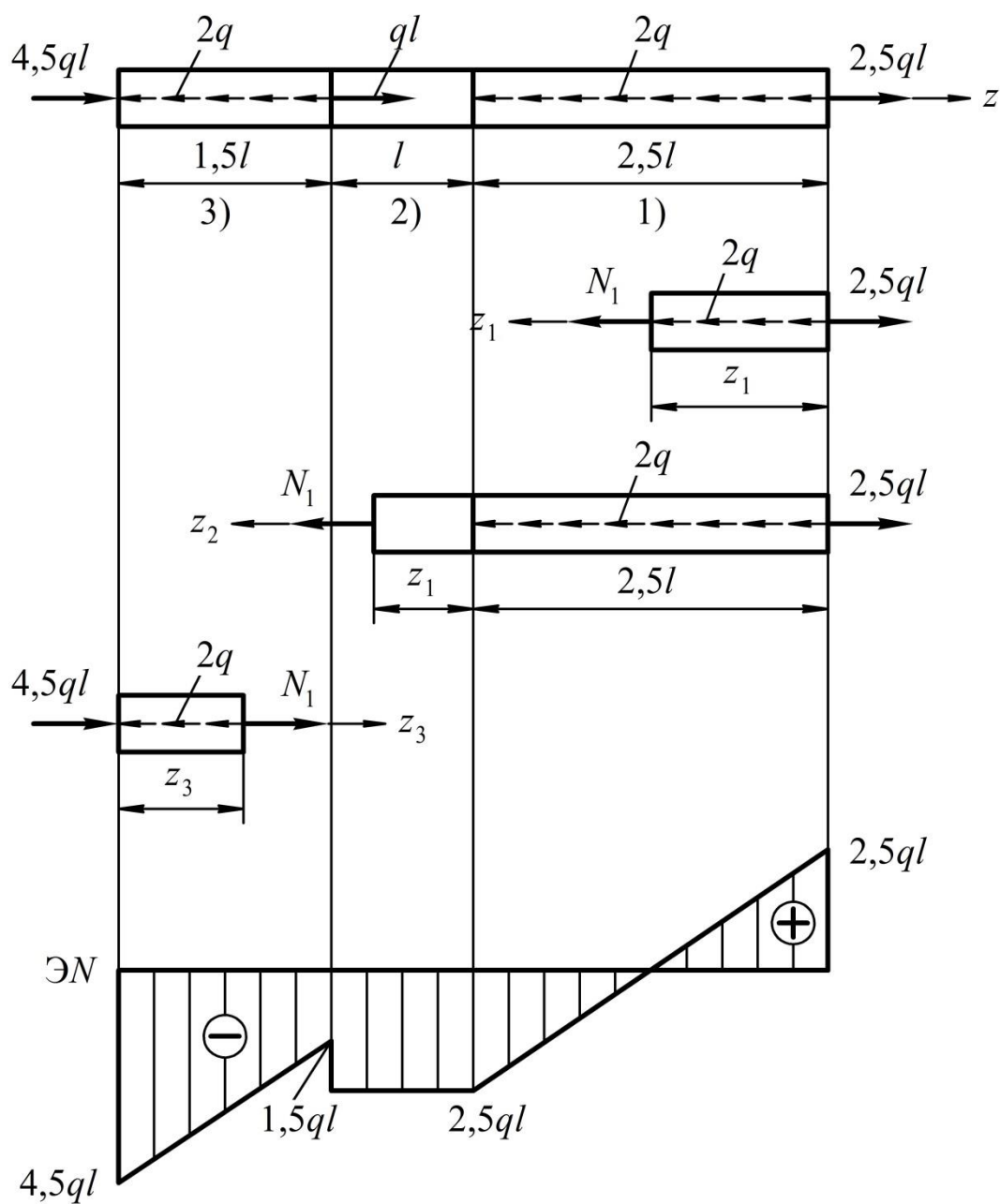
Решение.



Определим реакцию в заделке:

$$\sum P_z = -R + 2q \cdot 1,5l + ql - 2q \cdot 2,5l + 2,5ql = 0;$$

$$R = -4,5ql.$$



Рассечем стержень на участке №1 и рассмотрим равновесие правой части:

$$\sum P_z = N_1 + 2qz_1 - 2,5ql = 0;$$

$$N_1 = 2,5ql - 2qz_1.$$

Значения нормальной силы в начале и в конце участка  $0 \leq z_1 \leq 2,5l$ :

$$N_1(z_1 = 0) = 2,5ql;$$

$$N_1(z_1 = 2,5l) = 2,5ql - 2q \cdot 2,5l = -2,5ql.$$

Рассечем стержень на участке №2 и рассмотрим равновесие правой части:

$$\sum P_z = N_2 + 2q \cdot 2,5l - 2,5ql = 0;$$

$$N_2 = -5ql + 2,5ql = -2,5ql.$$

Значения нормальной силы в начале и в конце участка  $0 \leq z_2 \leq l$ :

$$N_2(z_2 = 0) = -2,5ql;$$

$$N_2(z_2 = l) = -2,5ql.$$

Рассечем стержень на участке №3 и рассмотрим равновесие левой части:

$$\sum P_z = N_3 - 2qz_3 + 4,5ql = 0;$$

$$N_3 = 2qz_3 - 4,5ql.$$

Значения нормальной силы в начале и в конце участка  $0 \leq z_3 \leq 1,5l$ :

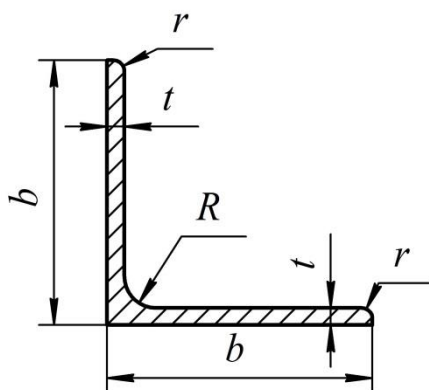
$$N_3(z_1 = 0) = -4,5ql;$$

$$N_3(z_1 = 1,5l) = 2q \cdot 1,5l - 4,5ql = -1,5ql.$$

Наибольшая нормальная сила в стержне

$$|N|_{\max} = 4,5ql.$$

**Приложение 5**  
**Уголки равнополочные (ГОСТ 8509-93)**



№	Размеры, мм				$F$ , см <sup>2</sup>
	$b$	$t$	$R$	$r$	
2	20	3	3,5	1,2	1,13
		4			1,46
2,5	25	3	3,5	1,2	1,43
		4			1,86
2,8	28	3	4,0	1,3	1,62
3	30	3	4,0	1,3	1,74
		4			2,27
3,2	32	3	4,5	1,5	1,86
		4			2,43
3,5	35	3	4,5	1,5	2,04
		4			2,67
		5			3,28
4	40	3	5,0	1,7	2,35
		4			3,08
		5			3,79
4,5	45	3	5,0	1,7	2,65
		4			3,48
		5			4,29
5	50	3	5,5	1,8	2,96
		4			3,89
		5			4,80
		6			5,69
5,6	56	4	6,0	2,0	4,38
		5			5,41
6,3	63	4	7,0	2,3	4,96
		5			6,13
		6			7,28

№	Размеры, мм				$F$ , см <sup>2</sup>
	$b$	$t$	$R$	$r$	
7	70	4,5	8,0	2,7	6,20
		5			6,86
		6			8,15
		7			9,42
7,5	75	8	9,0	3,0	10,67
		5			7,39
		6			8,78
		7			10,15
8	80	8	9,0	3,0	11,50
		9			12,83
		5,5			8,63
		6			9,38
9	90	7	10,0	3,3	10,85
		8			12,30
		6			10,61
		7			12,28
10	100	8	12,0	4,0	13,93
		9			15,60
		6,5			12,82
		7			13,75
		10			15,60
		12			19,24
11	110	14	12,0	4,0	22,80
		16			26,80
		7			29,68
		8			15,15
			12,0	4,0	17,20

## Окончание приложения 5

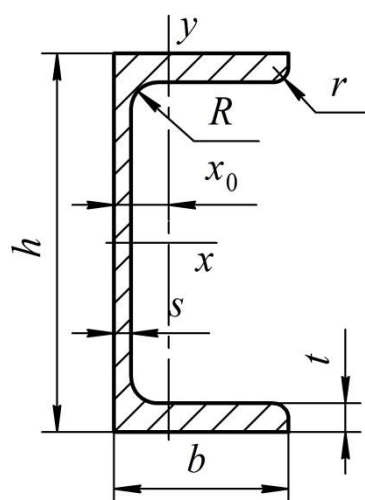
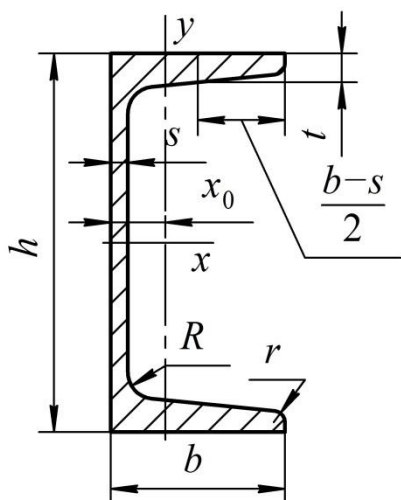
№	Размеры, мм				$F$ , см <sup>2</sup>
	$b$	$t$	$R$	$r$	
12,5	125	8	14,0	4,6	19,69
		9			22,00
		10			24,33
		12			28,89
		14			33,37
		16			37,77
14	140	9	14,0	4,6	24,72
		10			27,33
		12			32,49
16	160	10	16,0	5,3	31,43
		11			34,42
		12			37,39
		14			43,57
		16			49,07
		18			54,79
		20			60,40
18	180	11	16,0	5,3	38,80
		12			42,19

№	Размеры, мм				$F$ , см <sup>2</sup>
	$b$	$t$	$R$	$r$	
20	200	12	18,0	6,0	47,10
		13			50,85
		14			54,60
		16			61,98
		20			76,54
		25			94,29
		30			111,54
22	220	14	21,0	7,0	60,38
		16			68,58
25	250	16	24,0	8,0	78,40
		18			87,72
		20			96,96
		22			106,12
		25			119,71
		28			133,96
		30			141,96

№ – номер профиля уголка;  $F$  – площадь поперечного сечения.

## Приложение 6

### Швеллеры (ГОСТ 8240-97)



Швеллеры с уклоном внутренних граней полков

№ швел- лера	$h$	$b$	$s$	$t$	$F,$ $\text{см}^2$	Справочные значения для осей							$x_0,$ $\text{см}$
	мм					$x - x$				$y - y$			
						$I_x,$ $\text{см}^4$	$W_{x_3},$ $\text{см}^3$	$i_x,$ $\text{см}$	$S_{x_3},$ $\text{см}^3$	$I_y,$ $\text{см}^4$	$W_{y_3},$ $\text{см}^3$	$i_y,$ $\text{см}$	
5У	50	32	4,4	7,0	6,16	22,8	9,1	1,92	5,59	5,61	2,75	0,95	1,16
6,5У	65	36	4,4	7,2	7,51	48,6	15,0	2,54	9,00	8,70	3,68	1,08	1,24
8У	80	40	4,5	7,4	8,98	89,4	22,4	3,16	13,30	12,80	4,75	1,19	1,31
10У	100	46	4,5	7,6	10,90	174,0	34,8	3,99	20,40	20,40	6,46	1,37	1,44
12У	120	52	4,8	7,8	13,30	304,0	50,6	4,78	29,60	31,20	8,52	1,53	1,54
14У	140	58	4,9	8,1	15,60	491,0	70,2	5,60	40,80	45,40	11,00	1,70	1,67
16У	160	64	5,0	8,4	18,10	747,0	93,4	6,42	54,10	63,30	13,80	1,87	1,80
16аУ	160	68	5,0	9,0	19,50	823,0	103,0	6,49	59,40	78,80	16,40	2,01	2,00
18У	180	70	5,1	8,7	20,70	1090,0	121,0	7,24	69,80	86,00	17,00	2,04	1,94
18аУ	180	74	5,1	9,3	22,20	1190,0	132,0	7,32	76,10	105,00	20,00	2,18	2,13
20У	200	76	5,2	9,0	23,40	1520,0	152,0	8,07	87,80	113,00	20,50	2,20	2,07
22У	220	82	5,4	9,5	26,70	2110,0	192,0	8,89	110,00	151,00	25,10	2,37	2,21
24У	240	90	5,6	10,0	30,60	2900,0	242,0	9,73	139,00	208,00	31,60	2,60	2,42
27У	270	95	6,0	10,5	35,20	4160,0	308,0	10,90	178,00	262,00	37,30	2,73	2,47
30У	300	100	6,5	11,0	40,50	5810,0	387,0	12,00	224,00	327,00	43,60	2,84	2,52
33У	330	105	7,0	11,7	46,50	7980,0	484,0	13,10	281,00	410,00	51,80	2,97	2,59
36У	360	110	7,5	12,6	53,40	10820,0	601,0	14,20	350,00	513,00	61,70	3,10	2,68
40У	400	115	8,0	13,5	61,50	15220,0	761,0	15,70	444,00	642,00	73,40	3,23	2,75

## Окончание приложения 6

## Швеллеры с параллельными гранями полок

№	$h$	$b$	$s$	$t$	$F,$ $\text{см}^2$	Справочные значения для осей							$x_0,$ $\text{см}$
	мм					$x - x$				$y - y$			
						$I_x,$ $\text{см}^4$	$W_x,$ $\text{см}^3$	$i_x,$ $\text{см}$	$S_x,$ $\text{см}^3$	$I_y,$ $\text{см}^4$	$W_y,$ $\text{см}^3$	$i_y,$ $\text{см}$	
5П	50	32	4,4	7,0	6,16	22,8	9,1	1,92	5,61	5,95	2,99	0,98	1,21
6,5П	65	36	4,4	7,2	7,51	48,8	15,0	2,55	9,02	9,35	4,06	1,12	1,29
8П	80	40	4,5	7,4	8,98	89,8	22,5	3,16	13,30	13,90	5,31	1,24	1,38
10П	100	46	4,5	7,6	10,90	175,0	34,9	3,99	20,50	22,60	7,37	1,44	1,53
12П	120	52	4,8	7,8	13,30	305,0	50,8	4,79	29,70	34,90	9,84	1,62	1,66
14П	140	58	4,9	8,1	15,60	493,0	70,4	5,61	40,90	51,50	12,90	1,81	1,82
16П	160	64	5,0	8,4	18,10	750,0	93,8	6,44	54,30	72,80	16,40	2,00	1,97
16aП	160	68	5,0	9,0	19,50	827,0	103,0	6,51	59,50	90,50	19,60	2,15	2,19
18П	180	70	5,1	8,7	20,70	1090,0	121,0	7,26	70,00	100,00	20,60	2,20	2,14
18aП	180	74	5,1	9,3	22,20	1200,0	133,0	7,34	76,30	123,00	24,30	2,35	2,36
20П	200	76	5,2	9,0	23,40	1530,0	153,0	8,08	88,00	134,00	25,20	2,39	2,30
22П	220	82	5,4	9,5	26,70	2120,0	193,0	8,90	111,00	178,00	31,00	2,58	2,47
24П	240	90	5,6	10,0	30,60	2910,0	243,0	9,75	139,00	248,00	39,50	2,85	2,72
27П	270	95	6,0	10,5	35,20	4180,0	310,0	10,90	178,00	314,00	46,70	2,99	2,78
30П	300	100	6,5	11,0	40,50	5830,0	389,0	12,00	224,00	393,00	54,80	3,12	2,83
33П	330	105	7,0	11,7	46,50	8010,0	486,0	13,10	281,00	491,00	64,60	3,25	2,90
36П	360	110	7,5	12,6	53,40	10850,0	603,0	14,30	350,00	611,00	76,30	3,38	2,99
40П	400	115	8,0	13,5	61,50	15260,0	763,0	15,80	445,00	760,00	89,90	3,51	3,05

Условные обозначения величин, характеризующих свойства швеллера:

$h$  – высота (швеллера);

$b$  – ширина полки;

$s$  – толщина стенки;

$t$  – толщина полки;

$R$  – радиус внутреннего закругления;

$r$  – радиус закругления полки;

$x_0$  – расстояние от оси  $y$  до наружной грани стенки;

$F$  – площадь поперечного сечения;

$I$  – момент инерции;

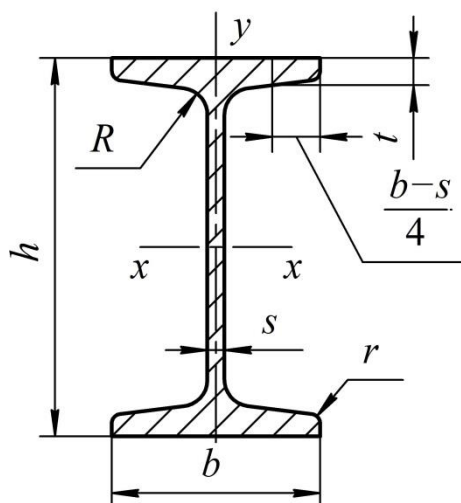
$W$  – момент сопротивления;

$i$  – радиус инерции;

$S_x$  – статический момент полусечения.

## Приложение 6

## Двутавры (ГОСТ 8239-89)



№	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>s</i>	<i>t</i>	<i>F</i> , см <sup>2</sup>	Справочные значения для осей						
						<i>x – x</i>				<i>y – y</i>		
						<i>I<sub>x</sub></i> , см <sup>4</sup>	<i>W<sub>x</sub></i> , см <sup>3</sup>	<i>i<sub>x</sub></i> , см	<i>S<sub>x</sub></i> , см <sup>3</sup>	<i>I<sub>y</sub></i> , см <sup>4</sup>	<i>W<sub>y</sub></i> , см <sup>3</sup>	<i>i<sub>y</sub></i> , см
мм												
10	100	55	4,5	7,2	12,0	198	39,7	4,06	23,0	17,9	6,49	1,22
12	120	64	4,8	7,3	14,7	350	58,4	4,88	33,7	27,9	8,72	1,38
14	140	73	4,9	7,5	17,4	572	81,7	5,73	46,8	41,9	11,50	1,55
16	160	81	5,0	7,8	20,2	873	109,0	6,57	62,3	58,6	14,50	1,70
18	180	90	5,1	8,1	23,4	1290	143,0	7,42	81,4	82,6	18,40	1,88
20	200	100	5,2	8,4	26,8	1840	184,0	8,28	104,0	115,0	23,10	2,07
22	220	110	5,4	8,7	30,6	2550	232,0	9,13	131,0	157,0	28,60	2,27
24	240	115	5,6	9,5	34,8	3460	289,0	9,97	163,0	198,0	34,50	2,37
27	270	125	6,0	9,8	40,2	5010	371,0	11,20	210,0	260,0	41,50	2,54
30	300	135	6,5	10,2	46,5	7080	472,0	12,30	268,0	337,0	49,90	2,69
33	330	140	7,0	11,2	53,8	9840	597,0	13,50	339,0	419,0	59,90	2,79
36	360	145	7,5	12,3	61,9	13380	743,0	14,70	423,0	516,0	71,10	2,89
40	400	155	8,3	13,0	72,6	19062	953,0	16,20	545,0	667,0	86,10	3,03
45	450	160	9,0	14,2	84,7	27696	1231,0	18,10	708,0	808,0	101,00	3,09
50	500	170	10,0	15,2	100,0	39727	1589,0	19,90	919,0	1043,0	123,00	3,23
55	550	180	11,0	16,5	118,0	55962	2035,0	21,80	1181,0	1356,0	151,00	3,39
60	600	190	12,0	17,8	138,0	76806	2560,0	23,60	1491,0	1725,0	182,00	3,54

Условные обозначения величин, характеризующих свойства двутавра, аналогичны швеллеру.