

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
«ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЕГАЗОВЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Филиал в городе Сургуте

Кафедра ЭТТМ

СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

Методические указания по выполнению расчетно-графических и
контрольных работ студентами направления 21.03.01 «Нефтегазовое дело»
всех форм обучения

Сургут
2015

Утверждено учебно-методической комиссией
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего
образования
«ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЕГАЗОВЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
филиала в г.Сургуте

Автор: к.т.н., доцент Н.Я.Головина

Методические указания предназначены для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению 21.03.01 «Нефтегазовое дело».

Содержание методических указаний соответствует федеральному государственному образовательному стандарту дисциплины профессионального цикла базовой части блока Б.1 «Сопротивление материалов».

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский государственный нефтегазовый университет», филиал ТюмГНГУ в г. Сургуте, 2015

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	6
1.1 РАСТЯЖЕНИЕ И СЖАТИЕ	6
1.2 КРУЧЕНИЕ	8
1.3 ПОПЕРЕЧНЫЙ ИЗГИБ	9
2. ЗАДАНИЯ К РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКИМ И КОНТРОЛЬНЫМ РАБОТАМ	13
2.1 РАСТЯЖЕНИЕ И СЖАТИЕ (ЗАДАЧИ № 1; 2)	13
2.2 КРУЧЕНИЕ (ЗАДАЧИ № 3; 4)	17
2.3 ПОПЕРЕЧНЫЙ ИЗГИБ (ЗАДАЧИ № 5; 6)	20
3. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ	24
3.1 РАСТЯЖЕНИЕ И СЖАТИЕ (ЗАДАЧА № 2)	24
3.2 КРУЧЕНИЕ (ЗАДАЧА № 4)	27
3.3 ПОПЕРЕЧНЫЙ ИЗГИБ (ЗАДАЧИ № 5; 6)	30
ПРИЛОЖЕНИЯ	36
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	39

ВВЕДЕНИЕ

Сопротивление материалов, как одна из важнейших общетехнических наук, играет важную роль в подготовке инженеров и бакалавров любых технических специальностей.

Целью изучения дисциплины «Сопротивление материалов» является усвоение будущими специалистами основ в области проектирования и расчета типовых элементов конструкций

Изучая дисциплину «Сопротивление материалов» студент должен решить следующие задачи:

- изучить методы расчета стержневых конструкций при различных видах нагружения (расчет на прочность, жесткость, устойчивость);
- изучить механические свойства конструкционных материалов и методы их определения;
- изучить методы расчета элементов конструкций в общем случае напряженного состояния;
- выработать навыки поиска оптимальных (рациональных) вариантов расчетных схем.

Дисциплина «Сопротивление материалов» имеет практическое значение в понимании принципов работы механических устройств, при проектировании, изготовлении и эксплуатации машин. Позволяет подготовить мобильного специалиста, способного к освоению современной сложной и быстроменяющейся техники, формирует и развивает у студентов навыки логического мышления. Изучение дисциплины позволит овладеть необходимыми знаниями и умениями, и применять их для освоения последующих специальных дисциплин.

В результате изучения дисциплины студенты должны приобрести навыки (компетенции), установленные федеральным государственным образовательным стандартом (ФГОС):

- общекультурные (ОК)

- способность к самоорганизации и самообразованию (ОК-7);
- профессиональные (ПК):
 - способность осуществлять и корректировать технологические процессы при строительстве, ремонте и эксплуатации скважин различного назначения и профиля ствола на суше и на море, транспорте и хранении углеводородного сырья (ПК-2);
 - способность оценивать риски и определять меры по обеспечению безопасности технологических процессов в нефтегазовом производстве (ПК-4);

После изучения дисциплины обучающиеся должны:

- знать основные законы и положения дисциплин инженерно-механического модуля: методы решения практических задач, используя методы сопротивления материалов;
- уметь использовать методы решения практических задач, используя методы сопротивления материалов;
- владеть нормативами проектной деятельности и навыками составления рабочих проектов, обзоров, отчетов.

Результаты изучения курса «Сопротивление материалов» используются в дальнейшем при изучении дисциплин «Детали машин и основы проектирования», «Механика сплошных сред», «Механика грунтов», «Прочностная надежность нефтегазового оборудования», «Прочностная надежность газонефтепроводов».

1. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Содержание дисциплины излагается кратко и лишь в том объеме, который необходим для выполнения расчетно-графических и контрольных работ.

1.1 РАСТЯЖЕНИЕ И СЖАТИЕ

Растяжение и сжатие - это такой вид деформации, при котором в сечениях бруса возникают только нормальные силы.

Значения нормальных сил подчиняются правилу: *нормальная сила N численно равна алгебраической сумме внешних осевых сил, приложенных до рассматриваемого сечения.*

При определении нормальных сил принято использовать правило знаков: *сила N считается положительной при растяжении и отрицательной при сжатии.*

Следует отметить, что правила знаков для всех силовых факторов являются условными.

Напряжения в поперечных сечениях бруса нормальные, равномерно распределенные по сечению, определяются по формуле

$$\sigma = \frac{N}{A}$$

где σ – рабочее значение нормального напряжения (Па); N – нормальная сила (Н); A – площадь поперечного сечения (м²).

$$\text{Условие прочности при растяжении и сжатии: } \sigma = \frac{N}{A} \leq [\sigma]$$

где $[\sigma]$ - допустимое значение нормального напряжения.

Допустимое напряжение определяется:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_T}{[n]} \quad - \text{ для пластичных материалов,}$$

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{\Pi}}{[n]} \quad - \text{ для хрупких материалов,}$$

где $[n]$ -допустимый коэффициент запаса прочности; σ_T – предел текучести материала; σ_n – предел прочности материала.

Для того, чтобы выразить степень деформаций бруса используют следующие характеристики:

Δl (м) – абсолютная продольная деформация и относительное продольная деформация – ε (безразмерная величина, иногда выражаемая в процентах):

$$\varepsilon\% = \left(\frac{\Delta l}{l} \right) 100\%$$

Напряжения и деформации связаны законом Гука:

Нормальные напряжения прямо пропорциональны относительной продольной деформации:

$$\sigma = E \varepsilon$$

Здесь E (Па) – модуль продольной упругости или модуль упругости первого рода. Значение модуля упругости зависит от свойств материала и является табличной характеристикой (Прил.2).

Для учебных расчетов принято считать:

$$E_{\text{стали}} = 2 \cdot 10^{11} \text{ Па}, \quad E_{\text{чугуна}} = 1,5 \cdot 10^{11} \text{ Па}.$$

Удлинение одного участка бруса определяют по формуле:

$$\Delta l = \frac{\sigma l}{E} = \frac{N l}{EA}$$

Для бруса, у которого N , E , A на разных участках имеют различные значения, полное удлинение бруса определяют, как алгебраическую сумму удлинений каждого участка в отдельности:

$$\Delta l = \Sigma(\Delta l_i)$$

Часто в задачах сопротивления материалов возникает проблема статической неопределимости. Для решения статически неопределимых задач составляют дополнительно *уравнения перемещений*, число которых соответствует степени статической неопределимости. Степень статической неопределимости равна числу лишних неизвестных в уравнениях статики.

1.2 КРУЧЕНИЕ

Кручением называется такой вид деформации, при котором в сечениях бруса появляется один только внутренний силовой фактор - крутящий момент (M_{κ}).

Правила для определения значения крутящего момента:

Крутящий момент численно равен алгебраической сумме моментов внешних пар, приложенных до рассматриваемого сечения.

Момент крутящий считается положительным, если при взгляде со стороны сечения на отсеченный участок, момент внешней пары направлен против хода часовой стрелки.

Напряжения при кручении касательные, неравномерно распределенные по сечению. Условие прочности при кручении:

$$\tau = \frac{M_{\kappa}}{W_p} \leq [\tau],$$

где W_p – полярный момент сопротивления или момент сопротивления кручению, единицы измерения – (м^3); $[\tau]$ - допустимое значение касательного напряжения.

Условие жесткости при кручении:

$$\varphi_0 = \frac{180^\circ}{\pi} \frac{M_{\kappa}}{GI_p} \leq [\varphi_0]^\circ.$$

где G (Па) – модуль сдвига или модуль упругости второго рода; I_p (м^4) - полярный момент инерции сечения; φ_0 (рад/м) – относительный угол закручивания; $[\varphi_0]^\circ$ (град/м) - допустимый относительный угол закручивания, выраженный в градусах.

Абсолютный угол закручивания одного участка бруса определяется по формуле:

$$\varphi = \frac{M_{\kappa} l}{G I_p}.$$

Для бруса, у которого M_k , G , I_p на разных участках имеют разное значение, полный угол закручивания находится, как алгебраическая сумма углов закручивания каждого участка в отдельности:

$$\varphi = \sum \varphi_i .$$

Формулы, для определения полярных моментов инерции сечений различных форм:

- 1) сплошное круглое сечение, диаметром d : $I_p = \frac{\pi d^4}{32} \approx 0,1 d^4$;
- 2) кольцевое сечение, размером $D \times d$: $I_p = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{32} \approx 0,1(D^4 - d^4)$;
- 3) прямоугольное сечение размером $b \times h$: $I_p = \beta b^3 h$,

где β – коэффициент, учитывающий отношение большей стороны сечения h к меньшей b (Прил.3).

Формулы, для определения полярных моментов сопротивления сечений различных форм:

- 1) сплошное круглое сечение, диаметром d : $W_p = \frac{\pi d^3}{16} \approx 0,2 d^3$;
- 2) кольцевое сечение, размером $D \times d$: $W_p = \frac{\pi(D^3 - d^3)}{16D} \approx 0,2 \frac{D^3 - d^3}{D}$.
- 3) прямоугольное сечение размером $b \times h$: $W_p = \alpha b^2 h$,

где α – коэффициент, учитывающий отношение большей стороны сечения h к меньшей b (Прил.3).

1.3 ПОПЕРЕЧНЫЙ ИЗГИБ

Изгиб – это такой вид деформации, при котором в сечениях бруса возникает изгибающий момент (M_u).

Брус, работающий на изгиб, принято называть балкой. Если в сечении балки обнаруживается только M_u то изгиб называется чистым.

На практике наиболее распространено нагружение, при котором в сечениях балки кроме момента изгибающего (M_u) появляется еще и поперечная сила (Q). Такой вид деформации называется поперечным изгибом. Значения M_u и Q подчиняются следующим правилам:

1. *Поперечная сила Q в сечении численно равна алгебраической сумме внешних поперечных сил, приложенных до рассматриваемого сечения.*
2. *Поперечная сила Q считается положительной при расчете слева направо, если равнодействующая внешних поперечных сил, приложенных до сечения, направлена вверх, и отрицательной, если равнодействующая направлена вниз. При расчете справа налево обратное правило знаков.*
3. *Изгибающий момент M_u в сечении численно равен алгебраической сумме моментов внешних сил, приложенных до рассматриваемого сечения, относительно центра тяжести сечения.*
4. *Изгибающий момент M_u в сечении считается положительным, если сжатыми оказываются верхние волокна балки.*

Правило знаков изгибающего момента сформулировано для балок, расположенных горизонтально. В общем случае это правило звучит так: *эпюра изгибающего момента строится со стороны сжатых волокон.*

На границе между растянутыми и сжатыми волокнами должен находиться слой волокон, которые не изменяют своей длины, а только искривляются. Этот слой называется нейтральным. Линия пересечения нейтрального слоя с поперечным сечением балки называется нейтральной осью.

Для поперечного изгиба характерны и нормальные и касательные напряжения.

Условие прочности по нормальным напряжениям:

$$\sigma = \frac{M_u}{W} \leq [\sigma].$$

где W (m^3) - осевой момент сопротивления.

Формулы для определения осевых моментов сопротивления сечений различных форм:

1) прямоугольное сечение размером $b \times h$:
$$W = \frac{bh^2}{6};$$

2) сплошное круглое сечение диаметром d :
$$W = \frac{\pi d^3}{32} \approx 0,1d^3;$$

3) кольцевое сечение размером $D \times d$:
$$W = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{32D} \approx 0,1 \frac{D^4 - d^4}{D}.$$

Условие прочности по касательным напряжениям:

$$\tau = \frac{Q \cdot S}{I_{н.о.} \cdot b} \leq [\tau]$$

где Q – поперечная сила в сечении; S – статический момент части площади сечения, отсекаемой слоем волокон, для которого определяются напряжения, относительно нейтральной оси; $I_{н.о.}$ – осевой момент инерции всего сечения относительно нейтральной оси; b – ширина слоя волокон, для которого определяются напряжения.

Формулы для определения осевых моментов инерции сечений различных форм:

1) прямоугольное сечение размером $b \times h$:
$$I = \frac{b^3 h}{12};$$

2) сплошное круглое сечение диаметром d :
$$I_x = I_y = \frac{\pi d^4}{64} \approx 0,05d^4;$$

3) кольцевое сечение размером $D \times d$:
$$I_x = I_y = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{64} \approx 0,05(D^4 - d^4).$$

Степень деформации при изгибе выражают с помощью двух характеристик: y (м) – прогиб сечения и α (рад) – угол поворота сечения.

Прогиб и угол поворота любого сечения балки определяют, используя дифференциальное уравнение упругой линии балки:

$$y'' = \frac{M_u}{EI}.$$

Для определения деформаций нужно выразить значение изгибающего момента в зависимости от координаты сечения. Для определения угла α это выражение интегрируют один раз, а для определения прогиба y его интегрируют дважды. Такой метод определения перемещений называется методом непосредственного интегрирования.

Удобнее определять деформации используя метод начальных параметров. Он предусматривает использование обобщенных уравнений:

обобщенное уравнение углов поворотов сечений:

$$EI\alpha = EI\alpha_0 + \sum m(x-a) + \sum \frac{P(x-b)^2}{2} + \sum \frac{q(x-c)^3}{6},$$

обобщенное уравнение прогибов:

$$EIy = EIy_0 + EI\alpha_0 x + \sum m \frac{(x-a)^2}{2} + \sum \frac{P(x-b)^3}{6} + \sum \frac{q(x-c)^4}{24}.$$

Здесь α_0 – угол поворота сечения в начале координат; y_0 – прогиб в начале координат. Параметры α_0 и y_0 называются начальными условиями. Они определяются в зависимости от способов закрепления балки:

Балка с жесткой заделкой слева: $\alpha_0 = 0, y_0 = 0.$

Балка на шарнирной опоре слева: $\alpha_0 \neq 0, y_0 = 0.$

Для определения α_0 нужно составить уравнение прогибов для сечения над вторым шарниром и приравнять его нулю. Для такой балки, в сечении с максимальным прогибом, угол поворота сечения равен нулю.

Балка с консолью слева: $\alpha_0 \neq 0, y_0 \neq 0.$

Для определения α_0 и y_0 нужно составить два уравнения прогибов для сечений над шарнирами и приравнять их нулю.

Максимальный прогиб называют стрелой прогиба и обозначают – f .

Условие жесткости для балок:

$$y_{\max} = f \leq [f], \quad \alpha_{\max} \leq [\alpha].$$

Значения допустимой стрелы прогиба задаются в долях пролета, допустимого угла поворота сечения в долях радиана.

2. ЗАДАНИЯ К РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКИМ И КОНТРОЛЬНЫМ РАБОТАМ

Для выбора задания, студент должен использовать двузначный номер варианта, выданный преподавателем. Первая цифра варианта соответствует номеру схемы на рисунке, вторая цифра соответствует номеру строки или столбца в таблице.

При решении задач на построение эпюр внутренних силовых факторов (задачи 1; 3; 5) следует принять соотношения между силовыми характеристиками:

$$qa^2 = Pa = m$$

где q (Н/м) – интенсивность распределенной нагрузки, P (Н) – сосредоточенная сила, m (Нм) – момент, a (м) – единичный отрезок длины участка.

Расчетно-графические работы студентов очной формы обучения оформляются с использованием компьютера. Расчетные схемы и эпюры могут быть выполнены в программе Word или КОМПАС. Расчетно-графические работы сдаются преподавателю в распечатанном и электронном виде.

Контрольные работы студентов заочной формы обучения могут быть оформлены в тетради от руки. Графическая часть работы выполняется с использованием чертежных инструментов с соблюдением пропорций.

Защита контрольной работы является обязательным условием допуска студента к зачету или экзамену. К защите принимаются контрольные работы, выполненные студентом самостоятельно.

2.1 РАСТЯЖЕНИЕ И СЖАТИЕ

ЗАДАЧА № 1

Построить эпюру нормальных сил для бруса, нагруженного системой осевых сил (рис.1).

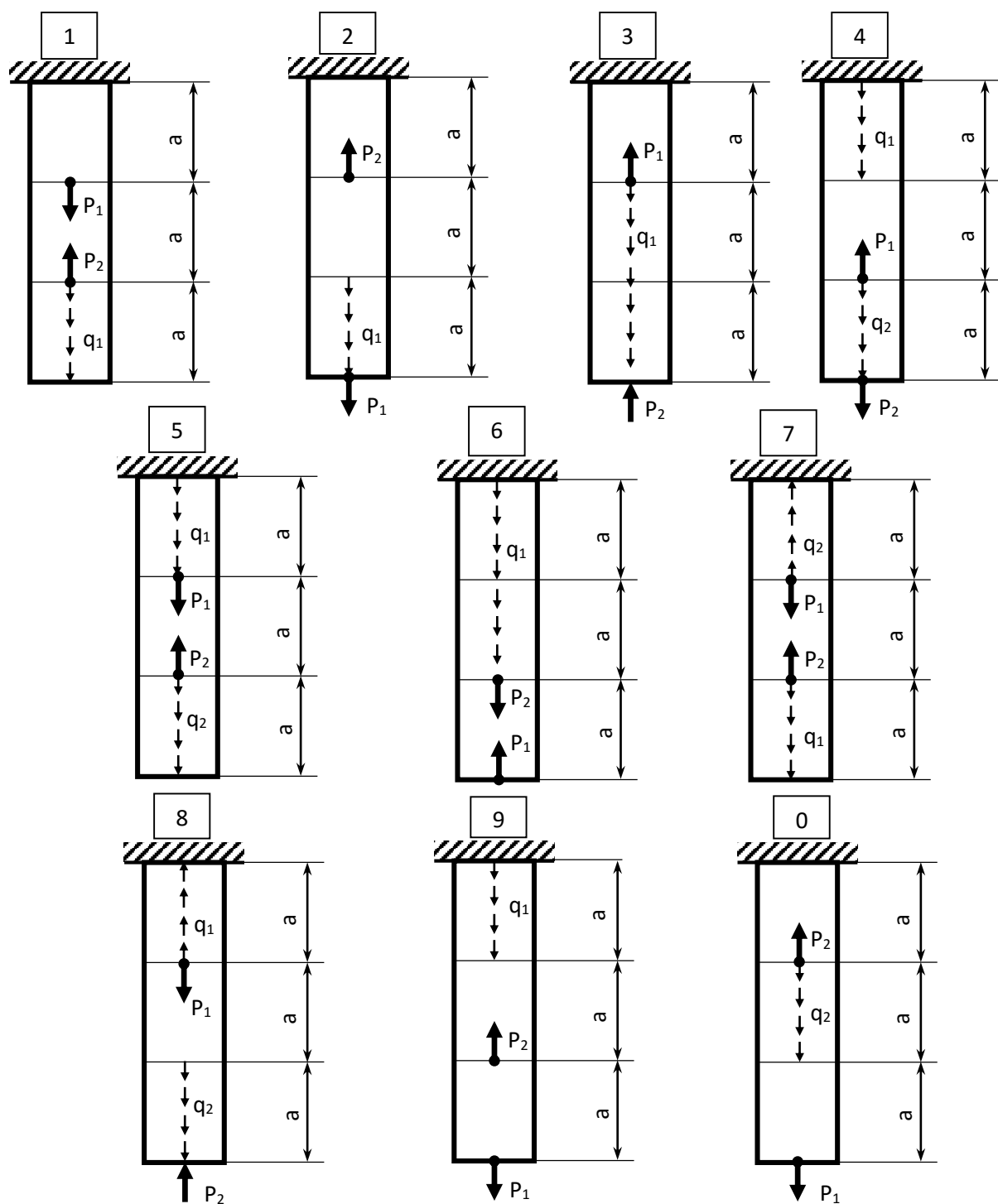


Рис.1

Индивидуальные данные выбрать по таблице 1.

Таблица 1

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
q_1	q	q	$2q$	$3q$	q	$2q$	q	$2q$	$3q$	$2q$
q_2	$2q$	q	q	$2q$	$3q$	q	$2q$	$3q$	q	q
P_1	P	$2P$	$3P$	$3P$	$3P$	P	$2P$	P	$3P$	P
P_2	$2P$	P	P	$2P$	P	P	$3P$	$2P$	P	P

ЗАДАЧА № 2

Определить коэффициент запаса прочности статически неопределимого бруса, работающего на растяжение и сжатие (рис.2), если:

$$P = 100 \text{ кН}; A = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2; a = 0,5 \text{ м}.$$

Высказать суждение о прочности, если допустимое значение коэффициента запаса прочности $[n] = 2$.

При решении построить эпюры нормальных сил N , нормальных напряжений σ и эпюру линейных перемещений δ .

Индивидуальные данные выбрать по таблице 2.

Таблица 2

№	P ₁	P ₂	A ₁	A ₂	Δ	Материал бруса	Предел текучести σ_T МПа	Предел прочности, МПа	
								На растяжение $(\sigma_{п})_p$	На сжатие $(\sigma_{п})_c$
1	P	2P	A	2A	$\frac{Pa}{3EA}$	Сталь 20	250	-	-
2	2P	P	A	A	$\frac{Pa}{4EA}$	Чугун СЧ12-28	-	120	500
3	3P	P	2A	A	$\frac{Pa}{2EA}$	Сталь 30	300	-	-
4	3P	2P	A	A	$\frac{Pa}{4EA}$	Чугун СЧ38-60	-	380	1400
5	3P	P	A	2A	$\frac{Pa}{3EA}$	Сталь 40	340	-	-
6	P	P	2A	A	$\frac{Pa}{2EA}$	Чугун СЧ28-48	-	280	1000
7	2P	3P	2A	A	$\frac{Pa}{4EA}$	Сталь 50	380	-	-
8	P	2P	A	2A	$\frac{Pa}{3EA}$	Чугун СЧ12-28	-	120	500
9	3P	P	2A	A	$\frac{Pa}{EA}$	Сталь 20	250	-	-
0	P	P	A	2A	$\frac{Pa}{4EA}$	Чугун СЧ28-48	-	280	1000

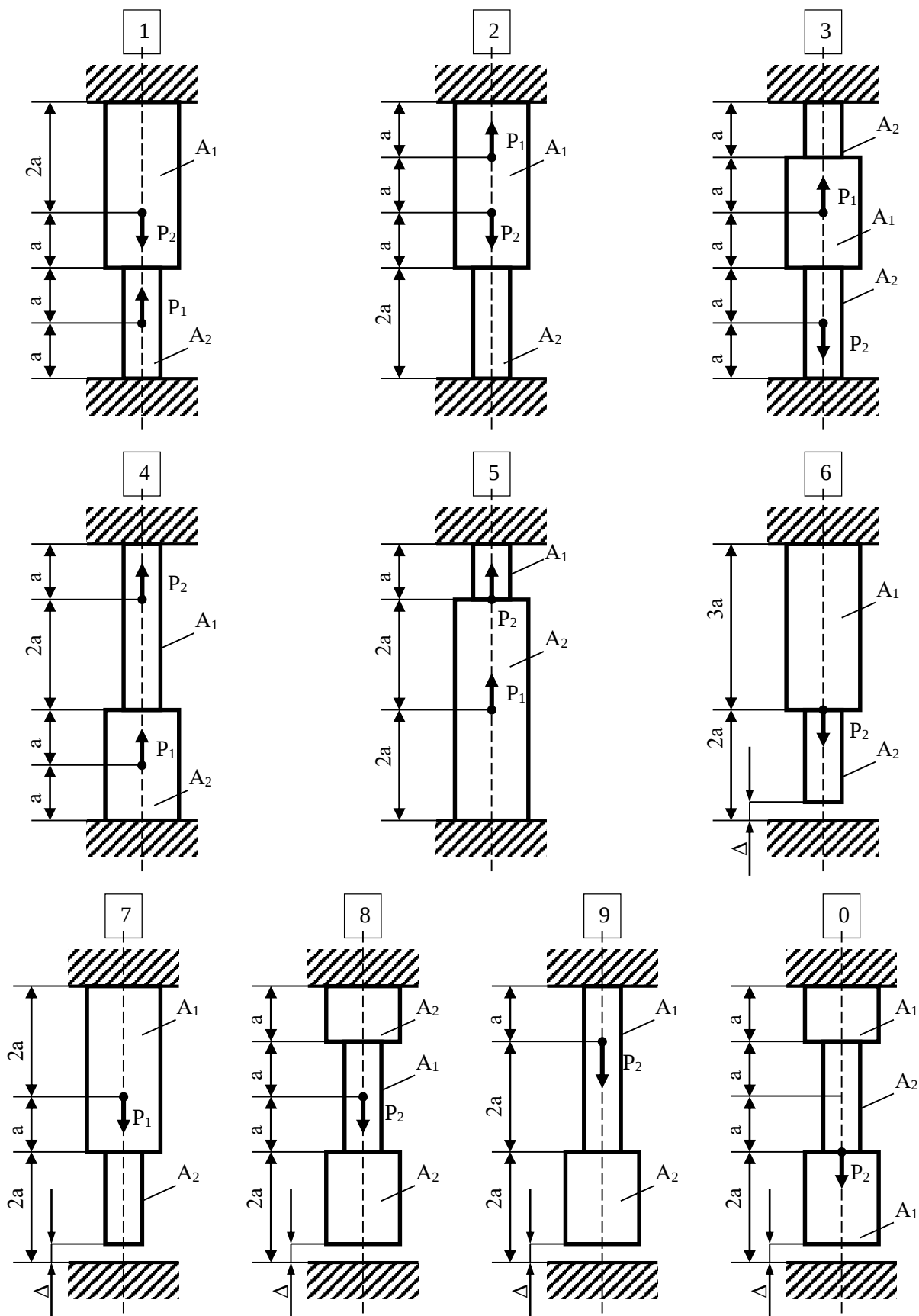


Рис. 2

2.2 КРУЧЕНИЕ

ЗАДАЧА № 3

Построить эпюру крутящих моментов для вала, нагруженного системой пар сил (рис.3).

Индивидуальные данные выбрать по таблице 3.

Таблица 3

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
m₁	m	2m	3m	2m	m	3m	m	2m	m	3m
m₂	2m	3m	m	m	3m	2m	4m	m	3m	m

ЗАДАЧА № 4

Для стального вала, работающего на кручение, подобрать размеры поперечного сечения исходя из условия его прочности (рис.4).

Дано: $m = 5 \text{ кНм}$; $[\tau] = 80 \text{ МПа}$; $a = 0,5\text{м}$, $G = 8 \cdot 10^4 \text{ Мпа}$.

При решении построить эпюры крутящих моментов M_k , касательных напряжений τ и угловых перемещений φ .

Индивидуальные данные выбрать по таблице 4.

Таблица 4

№	m₁	m₂	b	h	d	D
1	m	2m	c	2c	c	2c
2	m	m	2c	3c	c	3c
3	2m	m	2c	4c	2c	3c
4	2m	2m	3c	4c	c	2c
5	m	2m	2c	3c	c	2c
6	2m	m	c	2c	2c	4c
7	m	2m	2c	3c	2c	3c
8	2m	2m	c	2c	c	2c
9	2m	m	3c	c	2c	3c
0	2m	2m	c	c	c	2c

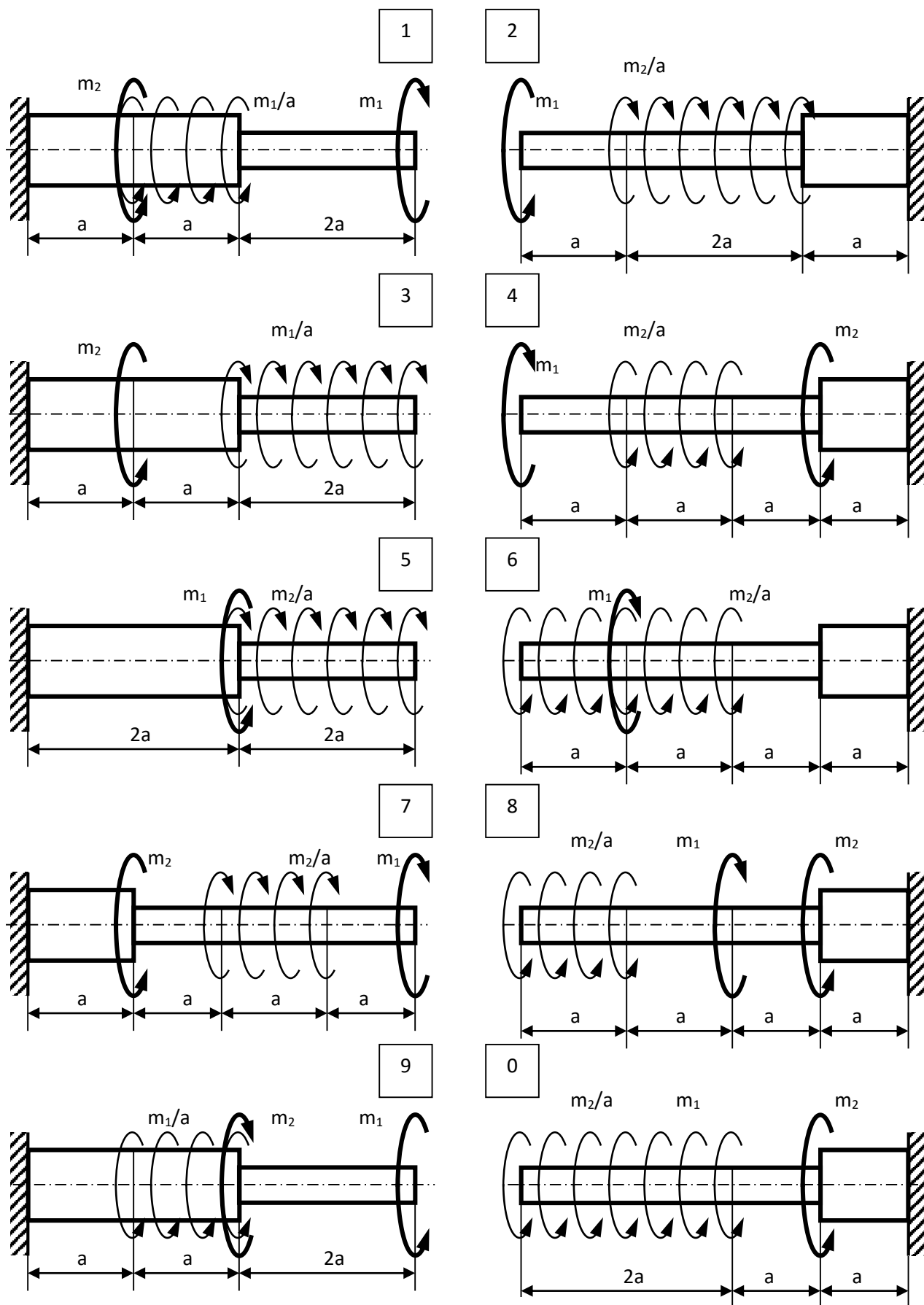


Рис. 3

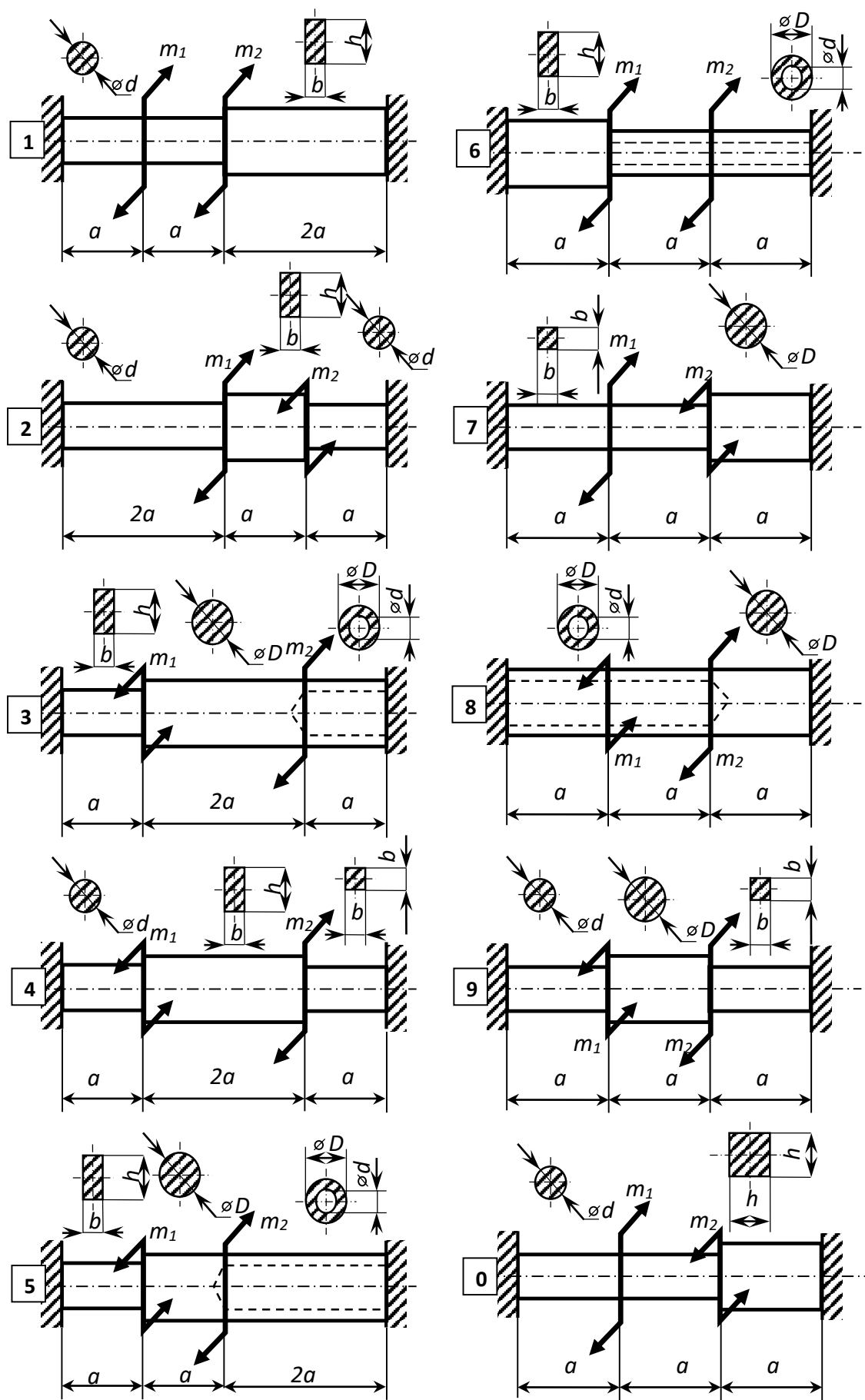


Рис. 4

2.3 ПОПЕРЕЧНЫЙ ИЗГИБ

ЗАДАЧА № 5

Построить эпюры изгибающих моментов M_u и поперечных сил Q для двух балок, нагруженных произвольной плоской системой сил, как показано на рисунке 5.

Индивидуальные данные выбрать по таблице 5.

Таблица 5

№	q_1	q_2	P_1	P_2	m_1	m_2
1	q	$2q$	P	$2P$	m	$2m$
2	q	q	$2P$	P	m	$3m$
3	$2q$	q	$3P$	P	$2m$	m
4	$2q$	$2q$	$3P$	$2P$	m	$3m$
5	q	$2q$	$3P$	P	m	$2m$
6	$2q$	q	P	P	$3m$	m
7	q	$2q$	$2P$	$3P$	$2m$	m
8	$2q$	$2q$	P	$2P$	m	$2m$
9	$2q$	q	$3P$	P	$2m$	m
0	$2q$	$2q$	P	P	m	$2m$

При решении задачи использовать соотношения между силовыми характеристиками:

$$qa^2 = Pa = m.$$

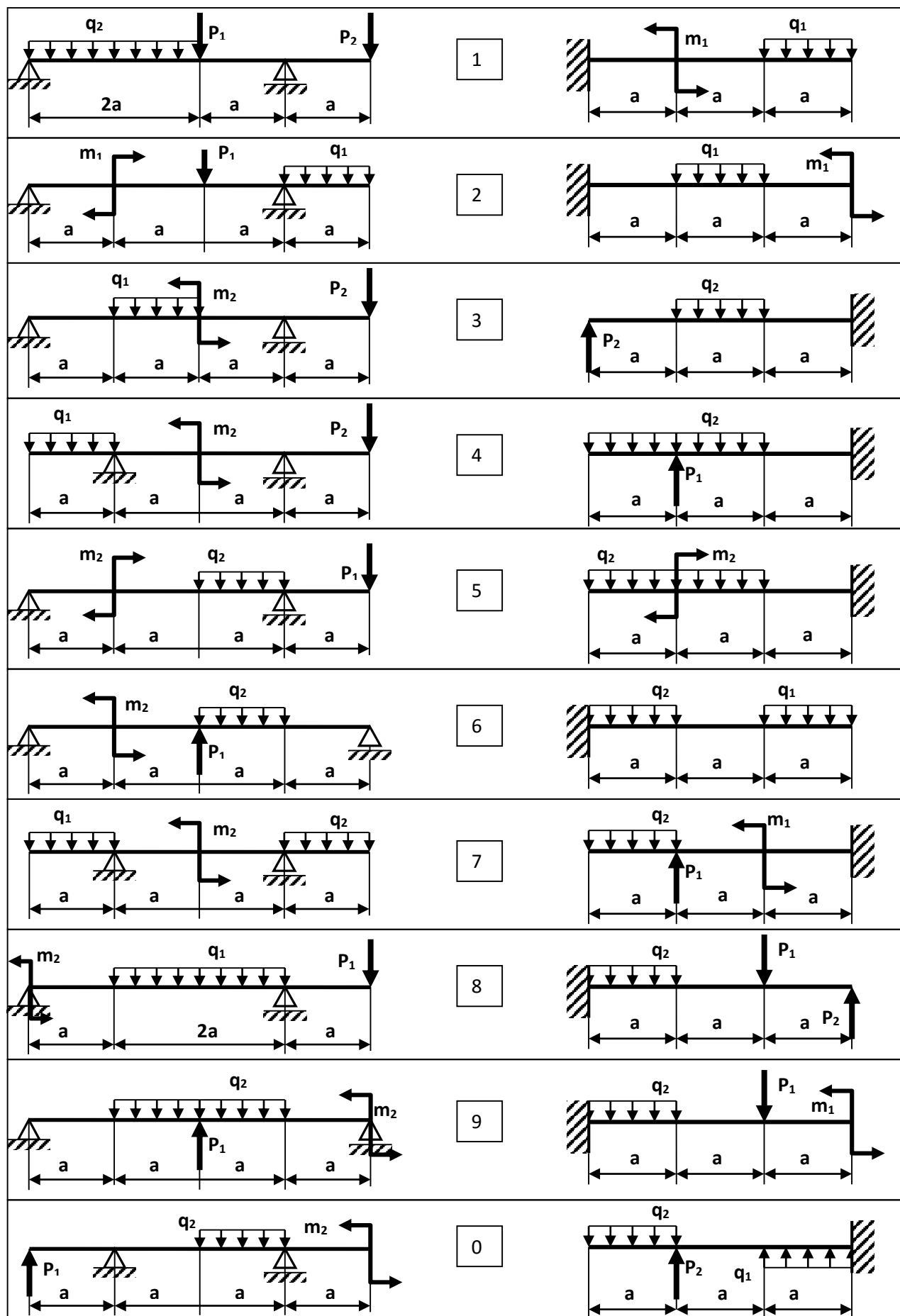


Рис.5

ЗАДАЧА № 6

Для стальной балки, работающей на изгиб, подобрать размеры поперечных сечений исходя из условия ее прочности (рис.6). Рассмотреть следующие формы поперечных сечений: сплошное круглое; прямоугольное, с соотношением сторон $h/b = 2$; кольцевое, с соотношением диаметров $d/D = 0,8$; двутавровое по ГОСТу 8239-89. Для наиболее рациональной балки проверить прочность по касательным напряжениям и определить прогиб в точке К.

Дано: $q = 10 \text{ кН/м}$; $P = 10 \text{ кН}$; $m = 10 \text{ кНм}$; $[n] = 2$; $a = 1 \text{ м}$.

При решении построить эпюры изгибающих моментов M_u и поперечных сил Q по длине балки, а также эпюры распределения нормальных и касательных напряжений по высоте опасного сечения.

Индивидуальные данные выбрать по таблице 6.

Таблица 6

№	q_1	q_2	P_1	P_2	m_1	m_2	Материал балки	Предел текучести, σ_t , МПа	Допустимое касательное напряжение $[\tau]$, МПа
1	q	$2q$	P	$2P$	m	$2m$	Сталь 20	250	85
2	q	q	$2P$	P	m	m	Сталь 40	340	115
3	$2q$	q	$3P$	P	$2m$	m	Сталь 30	300	90
4	$2q$	$2q$	$3P$	$2P$	m	m	Сталь 50	380	125
5	q	$2q$	$3P$	P	m	$2m$	Сталь 40	340	115
6	$2q$	q	P	P	$2m$	m	Сталь 20	250	85
7	q	$2q$	$2P$	$3P$	$2m$	m	Сталь 40	340	115
8	$2q$	$2q$	P	$2P$	m	$2m$	Сталь 30	300	90
9	q	$2q$	$3P$	P	m	$2m$	Сталь 50	380	125
0	$2q$	$2q$	P	P	m	$2m$	Сталь 20	250	85

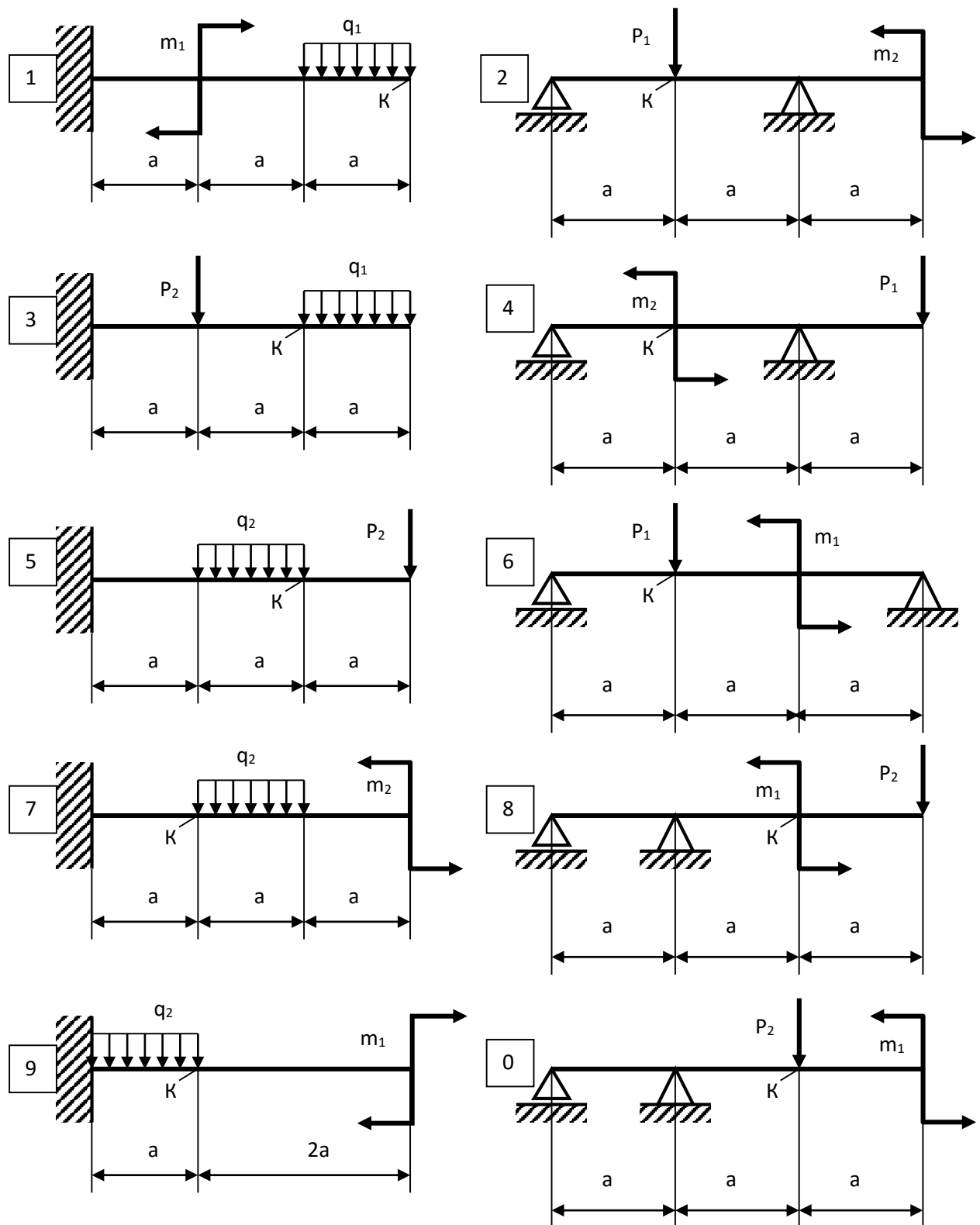


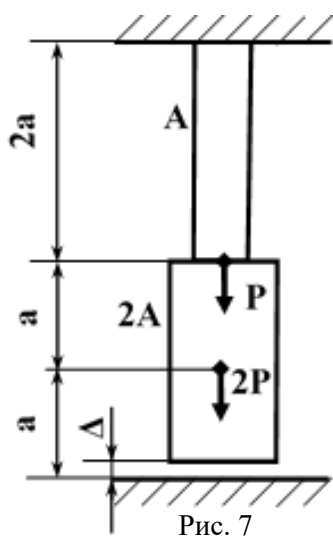
Рис. 6

3. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Примеры решений задач 1 и 3 не приведены, т.к. эти задачи являются наиболее легкими и их решение должно быть понятным для студентов.

3.1 РАСТЯЖЕНИЕ И СЖАТИЕ

ЗАДАЧА 2



Определить коэффициент запаса прочности стального статически неопределимого бруса (рис.7), работающего на растяжение и сжатие, если дано:

$$P = 100 \text{ кН};$$

$$A = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2;$$

$$a = 0,5 \text{ м};$$

$$E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

$$\Delta = \frac{Pa}{4EA}$$

Высказать суждение о прочности, если допустимое значение коэффициента запаса прочности $[n] = 5$.

Построить эпюры: нормальных сил N , напряжений σ , перемещений δ .

Решение:

1. Изображаем брус в нагруженном состоянии, отбросив нижнюю заделку (рис. 8 б). Разбиваем брус на участки.

2. Составляем уравнение равновесия и решаем вопрос о статической определимости бруса: $\sum Y = R_A + R_B - P - 2P = 0$

Задача один раз статически неопределима.

3. Раскрываем статическую неопределимость с помощью уравнения перемещений:

$$\Delta l = \sum(\Delta l_i) = \Delta l_1 + \Delta l_2 + \Delta l_3 = \Delta.$$

Выразим удлинение каждого участка:

$$\Delta l_1 = \frac{N_1 l_1}{E_1 A_1} = \frac{-R_A a}{E 2A}$$

$$\Delta l_2 = \frac{N_2 l_2}{E_2 A_2} = \frac{(-R_A + 2P)a}{E 2A}$$

$$\Delta l_3 = \frac{N_3 l_3}{E_3 A_3} = \frac{(-R_A + 2P + P)2a}{EA}$$

Подставляем в уравнение перемещений:

$$\Delta l = \frac{-R_A a}{E 2A} + \frac{(-R_A + 2P)a}{E 2A} + \frac{(-R_A + 2P + P)2a}{EA} = \frac{Pa}{4EA}$$

После решения получим: $R_A = \frac{9P}{4}$

$$R_A = 225 \text{ кН}$$

4. Строим эпюру нормальных сил (рис. 8 в):

$$N_1 = -R_A = -225 \text{ кН}$$

$$N_2 = -R_A + 2P = -225 + 200 = -25 \text{ кН}$$

$$N_3 = -R_A + 3P = -225 + 300 = 75 \text{ кН}$$

5. Строим эпюру напряжений (рис. 8 г):

$$\sigma_1 = \frac{N_1}{A_1} = \frac{-225 \cdot 10^3}{2 \cdot 2 \cdot 10^{-3}} = -56,25 \cdot 10^6 \text{ Па} = -56,25 \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{N_2}{A_2} = \frac{-25 \cdot 10^3}{2 \cdot 2 \cdot 10^{-3}} = -6,25 \cdot 10^6 \text{ Па} = -6,25 \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{N_3}{A_3} = \frac{75 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^{-3}} = 37,50 \cdot 10^6 \text{ Па} = 37,50 \text{ МПа}$$

6. Определяем значение коэффициента запаса прочности на опасном участке (рис. 8 д):

$$n = \frac{\sigma_T}{|\sigma_{\max}|} = \frac{250 \text{ МПа}}{56,25 \text{ МПа}} = 4,4$$

Прочность бруса обеспечена, т.к. соблюдается условие: $n \leq [n]$.

7. Для построения эпюры перемещений δ введем обозначения сечений на границах участков и вычислим перемещения в каждом из обозначенных сечений (рис. 8 д):

$$\delta_{B-B} = 0$$

$$\delta_{C-C} = \Delta l_3 = \frac{\sigma_3 l_3}{E_3} = \frac{37,50 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 0,5}{2 \cdot 10^{11}} = 18,75 \cdot 10^{-5} \text{ м} = 0,1875 \text{ мм}$$

$$\delta_{D-D} = \delta_{C-C} + \Delta l_2 = \delta_{C-C} + \frac{\sigma_2 l_2}{E_2} = 18,75 \cdot 10^{-5} + \frac{-6,25 \cdot 10^6 \cdot 0,5}{2 \cdot 10^{11}} = 17,19 \cdot 10^{-5} \text{ м} = 0,1719 \text{ мм}$$

$$\delta_{A-A} = \delta_{D-D} + \Delta l_1 = \delta_{D-D} + \frac{\sigma_1 l_1}{E_1} = 17,19 \cdot 10^{-5} + \frac{-56,25 \cdot 10^6 \cdot 0,5}{2 \cdot 10^{11}} = 3,13 \cdot 10^{-5} \text{ м} = 0,0313 \text{ мм}$$

8. Для проверки правильности расчетов вычислим величину зазора:

$$\Delta = \frac{Pa}{4EA} = \frac{100 \cdot 10^3 \cdot 0,5}{4 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 2 \cdot 10^{-3}} = 3,13 \cdot 10^{-5} \text{ м} = 0,0313 \text{ мм}$$

Расчет выполнен верно.

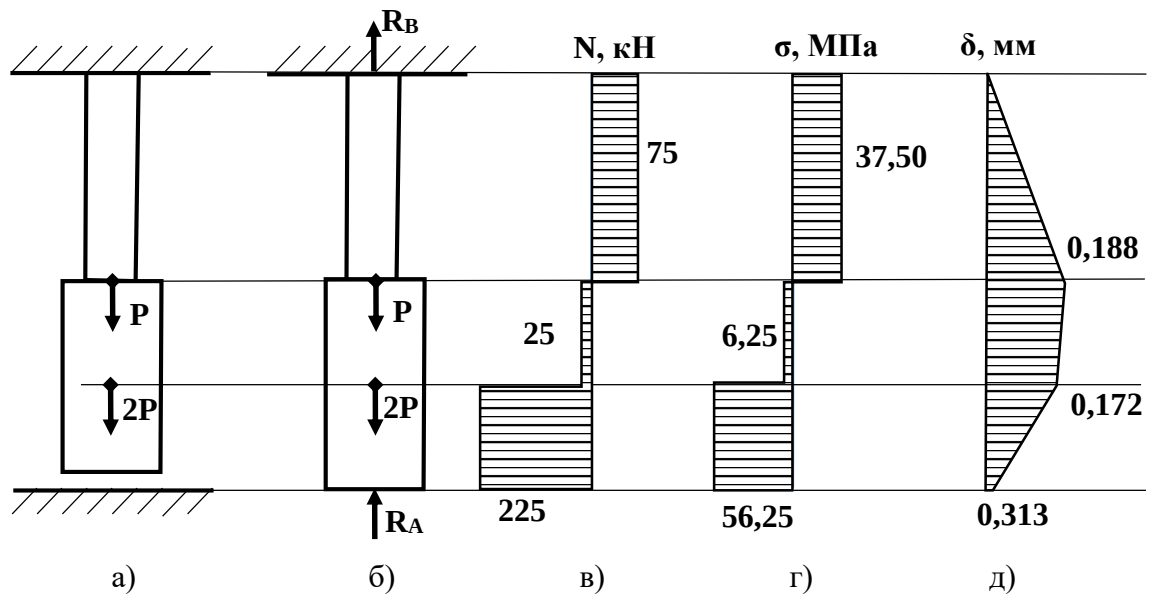
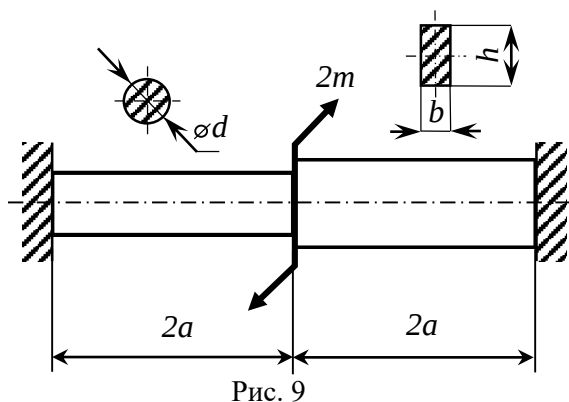


Рис. 8

3.2 КРУЧЕНИЕ

ЗАДАЧА 4



Для стального вала, работающего на кручение (рис. 9), подобрать размеры поперечного сечения исходя из условия его прочности, если:

$$m = 5 \text{ кНм};$$

$$[\tau] = 80 \text{ МПа};$$

$$a = 0,5 \text{ м};$$

$$G = 8 \cdot 10^4 \text{ МПа}.$$

Размеры поперечных сечений выражены через длину единичного отрезка c : $d = 2c$; $h = 3c$; $b = 1,5c$

При решении построить эпюры крутящих моментов M_k , касательных напряжений τ и угловых перемещений φ .

Решение:

1. Изображаем все внешние пары сил, действующие на брус (активные и реактивные) (рис. 10 а).

2. Составляем уравнение равновесия и решаем вопрос о статической определимости бруса: $\sum M_x = m_A + m_B - 2m = 0$

Задача один раз статически неопределима.

3. Раскрываем статическую неопределимость с помощью уравнения угловых перемещений: $\varphi_A = \sum(\varphi_i) = \varphi_1 + \varphi_2 = 0$.

Выразим угол закручивания каждого участка:

$$\varphi_1 = \frac{M_{k1} \cdot l_1}{G_1 \cdot I_{P1}} = \frac{m_A \cdot 2a}{G \cdot 1,60c^4}$$

$$I_{P1} = 0,1d^4 = 0,1(2c)^4 = 1,60c^4$$

$$\varphi_2 = \frac{M_{k2} \cdot l_2}{G_2 \cdot I_{P2}} = \frac{(m_A - 2m)2a}{G \cdot 2,32c^4}$$

$$I_{P2} = \beta b^3 h = 0,229(1,5c)^3 3c = 2,32c^4$$

Коэффициенты β и α определяем по таблице (Прил.3).

Подставляем результаты в уравнение перемещений:

$$\varphi_A = \frac{m_A \cdot 2a}{G \cdot 1,60c^4} + \frac{(m_A - 2m)2a}{G \cdot 2,32c^4} = 0$$

$$\frac{m_A}{1,60} + \frac{(m_A - 2m)}{2,32} = 0$$

$$m_A = 0,82 \text{ м}$$

После подстановки числового значения момента, получим:

$$m_A = 4,1 \text{ кНм}$$

4. Строим эпюру крутящих моментов (рис. 10 б):

$$M_{K1} = m_A = 4,1 \text{ кНм}$$

$$M_{K2} = m_A - 2m = 4,1 - 10 = -5,9 \text{ кНм}$$

5. Определяем положение опасного участка:

$$\tau_1 = \frac{M_{K1}}{W_{P1}} = \frac{4,1 \cdot 10^3}{1,60c^3} = \frac{2,56 \cdot 10^3}{c^3}$$

$$W_{P1} = 0,2d^3 = 0,2(2c)^3 = 1,60c^3$$

$$\tau_2 = \frac{M_{K2}}{W_{P2}} = \frac{-5,9 \cdot 10^3}{1,66c^3} = \frac{-3,55 \cdot 10^3}{c^3}$$

$$W_{P2} = \alpha b^2 h = 0,246(1,5c)^2 3c = 1,66c^3$$

Опасным является второй участок, т.к. напряжение на этом участке по модулю имеет большее значение. Дальше расчет выполняем для этого участка.

6. Определяем значение полярного момента сопротивления сечения, требуемое для обеспечения прочности на опасном участке:

$$[W_{P2}] = \frac{|M_{K2}|}{[\tau]} = \frac{5,9 \cdot 10^3}{80 \cdot 10^6} = 73,75 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 = 73,75 \text{ см}^3$$

7. Определяем размер единичного отрезка c , при котором полярный момент сопротивления принимает требуемое значение: $W_{P2} = [W_{P2}]$

$$1,66c^3 = [W_{P2}]$$

$$c = \sqrt[3]{\frac{[W_{P2}]}{1,66}} = \sqrt[3]{\frac{73,75}{1,66}} = \sqrt[3]{44,43} = 3,55 \text{ см} = 3,55 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

8. Определяем напряжения с учетом полученного значения размера единичного отрезка c и строим эпюру (рис.10в):

$$\tau_1 = \frac{M_{K1}}{W_{P1}} = \frac{2,56 \cdot 10^3}{(3,55 \cdot 10^{-2})^3} = 57,62 \cdot 10^6 \text{ Па} = 57,62 \text{ МПа}$$

$$\tau_2 = \frac{M_{K2}}{W_{P2}} = \frac{3,55 \cdot 10^3}{(3,55 \cdot 10^{-2})^3} = 79,90 \cdot 10^6 \text{ Па} \approx 80 \text{ МПа}$$

9. Для построения эпюры угловых перемещений определяем значения углов поворота в сечениях на границах участков (А-А; С-С; В-В):

$$\varphi_{A-A} = 0$$

$$\varphi_{C-C} = \varphi_1 = \frac{M_{K1} \cdot 2a}{G \cdot 1,60 c^4} = \frac{4,1 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 0,5}{8 \cdot 10^{10} \cdot 1,60 (3,55 \cdot 10^{-2})^4} = 0,02 \text{ рад}$$

$$\varphi_{B-B} = \varphi_1 + \varphi_2 = \varphi_{C-C} + \frac{M_{K2} \cdot 2a}{G \cdot 2,32 c^4} = 0,02 + \frac{-5,9 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 0,5}{8 \cdot 10^{10} \cdot 2,32 (3,55 \cdot 10^{-2})^4} = 0 \text{ рад}$$

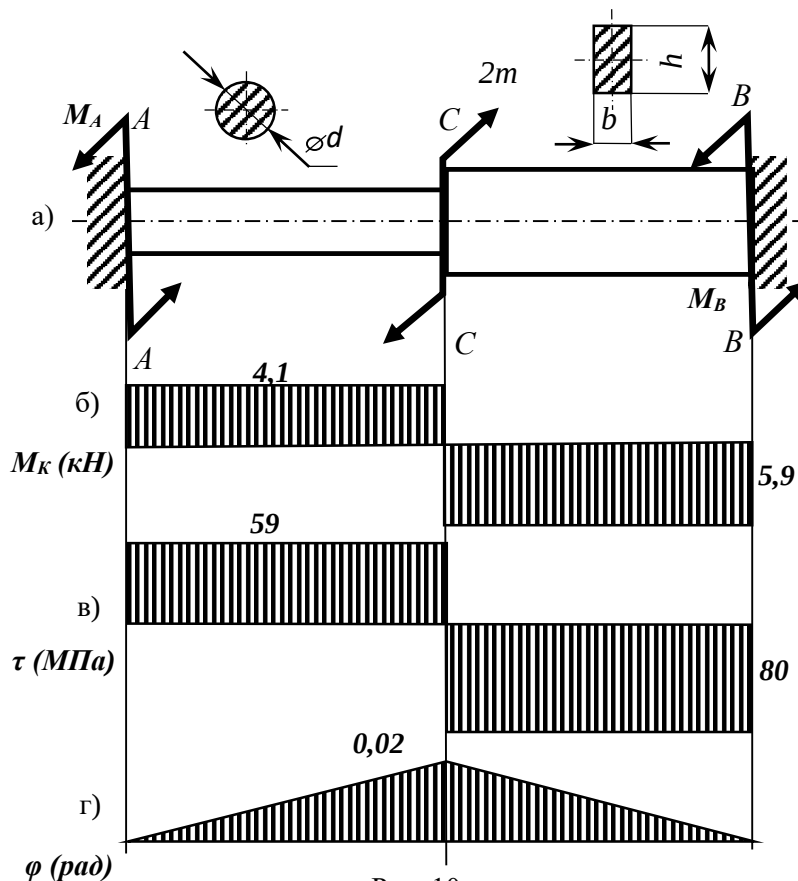


Рис. 10

Задача решена верно т.к. сечение В–В жестко заделано и не имеет возможности поворачиваться и расчетное значение угла поворота в этом сечении оказалось равным нулю.

Строим эпюру угловых перемещений (рис.10г).

3.3 ПОПЕРЕЧНЫЙ ИЗГИБ

ЗАДАЧА № 5

Построить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов для балки, шарнирно закрепленной в точках А и В. К балке приложены сила P , пара сил m и распределенная нагрузка интенсивностью q (рис. 11).

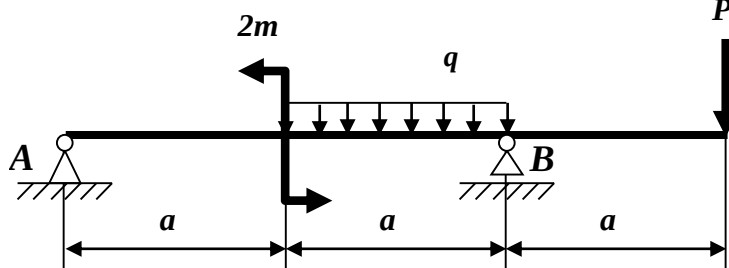


Рис. 11

Использовать соотношения между силовыми характеристиками:

$$m = Pa = qa^2.$$

Решение. Кроме перечисленных сил, на балку действуют еще две реактивные силы R_A и R_B .

Изобразим реактивные силы на расчетной схеме, предварительно считая их направленными вверх (рис.12а). Определим их значение, составив уравнения моментов относительно точек А и В:

$$\sum M_A = 2m + R_B 2a - P 3a - qa \frac{3a}{2} = 0,$$

$$R_B = \frac{3Pa + \frac{3}{2}qa^2 - 2m}{2a} = \frac{5}{4}P.$$

$$\sum M_B = 2m - R_A 2a - Pa + qa \frac{a}{2} = 0,$$

$$R_A = \frac{-Pa + \frac{qa^2}{2} + 2m}{2a} = \frac{3}{4}P.$$

Обе реактивные силы оказались положительными, значит их направления соответствуют предварительно выбранным. (Если реактивная сила после решения уравнения равновесия будет иметь отрицательный знак, то действительное ее направление будет противоположно выбранному и его следует изменить.)

Так как теперь нам известны значения всех сил, приложенных к балке, то расчет любого участка можно выполнять как слева направо, так и справа налево. Можно менять направление расчета в пределах решения одной задач.

Рассчитаем эюру Q .

Первый и второй участки рассчитаем слева направо:

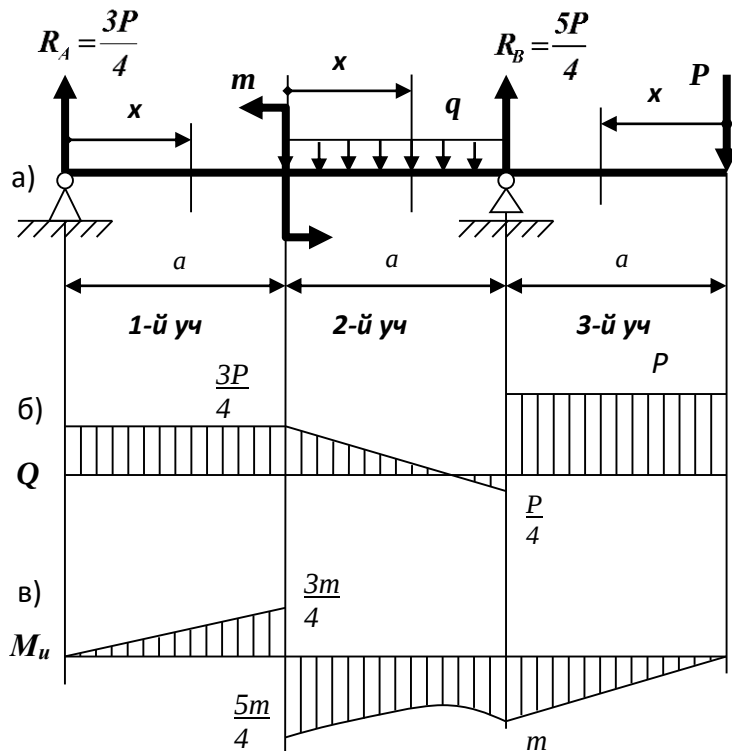


Рис. 12

$$Q_1 = R_A = \frac{3P}{4}$$

$$Q_2 = R_A - qx$$

границы изменения
координаты x на 2-м
участке:

$$0 \leq x \leq a,$$

$$x = 0; \quad Q_2 = R_A = \frac{3P}{4},$$

$$x = a; \quad Q_2 = R_A - qa = -\frac{P}{4}$$

Третий участок рассчитаем
справа налево:

$$Q_3 = P$$

Рассчитаем эюру M_u .

Сохраним прежнее направление расчета

$$\text{Первый участок:} \quad M_{u1} = R_A x, \quad 0 \leq x \leq a,$$

$$x = 0; \quad M_{u1} = 0,$$

$$x = a; \quad M_{u1} = R_A a = \frac{3Pa}{4} = \frac{3m}{4}.$$

$$\text{Второй участок:} \quad M_{u2} = R_A(a+x) - 2m - qx \frac{x}{2}, \quad 0 \leq x \leq a,$$

$$x = 0; \quad M_{u1} = R_A a - 2m = \frac{3Pa}{4} - 2m = \frac{3m}{4} - 2m = -\frac{5m}{4},$$

$$x = a; \quad M_{u1} = R_A 2a - 2m - qa \frac{a}{2} = \frac{3P2a}{4} - 2m - \frac{qa^2}{2} = \frac{3m}{2} - 2m - \frac{m}{2} = -m.$$

Зависимость момента от координаты квадратичная, эпюра должна иметь вид параболы. Судя по знаку слагаемого, задающего квадратичную зависимость, ветви параболы идут вниз.

Третий участок (справа налево): $M_{из} = -Px$, $0 \leq x \leq a$,

$$x = 0; \quad M_{из} = 0,$$

$$x = a; \quad M_{из} = -Pa = -m.$$

Строим эпюры Q и M_u .

При расчете жестко заделанных балок реактивные силы не определяют, но расчет ведут в одном направлении – от свободного конца в сторону заделки.

ЗАДАЧА № 6

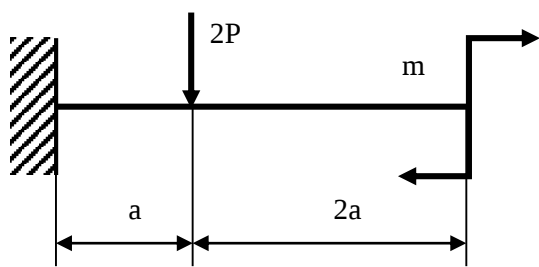


Рис. 13

Для стальной балки (рис.13), подобрать размеры поперечных сечений, обеспечив ее прочность. Рассмотреть следующие формы поперечных сечений: сплошное круглое; прямоугольное с соотношением сторон $h/b = 2$; кольцевое с

соотношением диаметров $d/D = 0,8$; двутавровое по ГОСТу 8239-89. Для наиболее рациональной балки проверить прочность по касательным напряжениям и определить прогиб в точке К.

Дано: $P = 10$ кН; $m = 10$ кНм; $[n] = 2$; $a = 1$ м; $\sigma_T = 250$ МПа; $[\tau] = 85$ МПа

Решение:

1. Построим эпюры поперечных сил Q и изгибающих моментов M_u (рис. 14 б, в).

Опасным является сечение в заделке т.к. момент в этом сечении по модулю максимален.

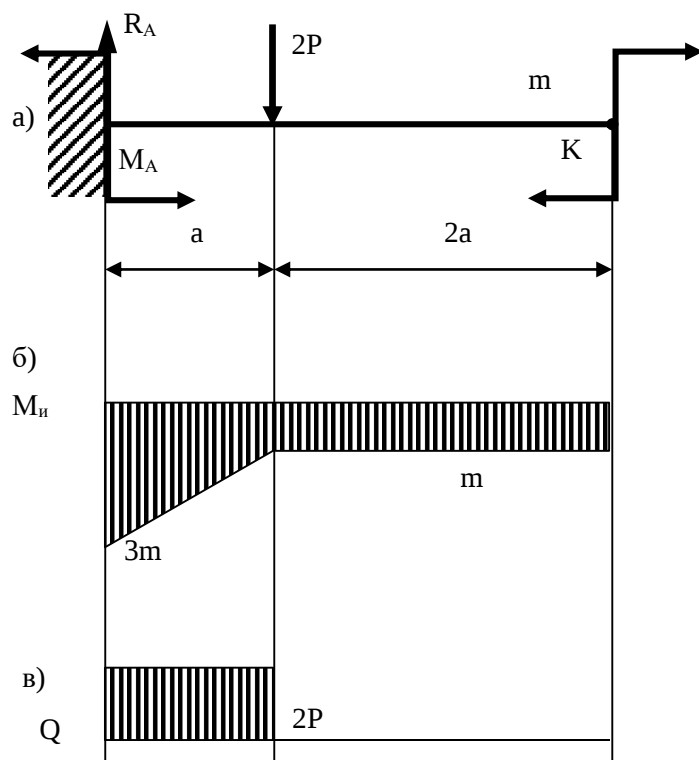


Рис. 14

2. Из условия прочности балки по нормальным напряжениям определяем требуемое значение осевого момента сопротивления в опасном сечении:

$$|M_u| = 3m = 3 \cdot 10 \text{ кНм} = 30 \text{ кНм}$$

$$[\sigma] = \frac{\sigma_m}{[n]} = \frac{250 \text{ МПа}}{2} = 125 \text{ МПа}$$

$$[W] = \frac{|M_u|}{[\sigma]} = \frac{30 \cdot 10^3}{125 \cdot 10^6} = 240 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 = 240 \text{ см}^3$$

3. Определяем размеры сечений.

Прямоугольное сечение

Уточняем формулу для определения осевого момента сопротивления прямоугольного сечения с учетом соотношения сторон ($h/b = 2$) и приравниваем к требуемому значению:

$$W = \frac{bh^2}{6} = \frac{b(2b)^2}{6} = \frac{2b^3}{3} = [W]$$

Тогда размер сечения, обеспечивающий прочность балки будет:

$$b = \sqrt[3]{\frac{3[W]}{2}} = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 240}{2}} = 7,14 \text{ см}$$

$$h = 2b = 14,28 \text{ см}$$

Круглое сечение

Формулу для определения осевого момента сопротивления круглого сечения приравниваем к требуемому значению:

$$W = 0,1d^3 = [W]$$

Тогда размер сечения, обеспечивающий прочность балки будет:

$$d = \sqrt[3]{\frac{[W]}{0,1}} = \sqrt[3]{\frac{240}{0,1}} = 13,41 \text{ см}$$

Кольцевое сечение

Уточняем формулу для определения осевого момента сопротивления кольцевого сечения с учетом соотношения диаметров ($d/D=0,8$) и приравниваем к требуемому значению:

$$W = 0,1 \frac{D^4 - d^4}{D} = 0,1 \frac{D^4 - (0,8D)^4}{D} \approx 0,06D^3 = [W]$$

Тогда размер сечения, обеспечивающий прочность балки будет:

$$D = \sqrt[3]{\frac{[W]}{0,06}} = \sqrt[3]{\frac{240}{0,06}} = 15,84 \text{ см}$$

$$d = 0,8D = 12,67 \text{ см}$$

Двутавровое сечение

Для выбора двутаврового сечения используем Приложение 1. Выбираем двутавр, у которого осевой момент сопротивления W_x имеет значение наиболее близкое к требуемому $[W]$ (или чуть большее).

Прочность двутавровой балки обеспечит двутавр № 24 (Прил.1), для которого $W_x=289,0 \text{ см}^3$; $A=34,8 \text{ см}^2$; $I_x=3460 \text{ см}^4$; $S_x=163,0 \text{ см}^3$.

4. Решаем вопрос о рациональности форм поперечных сечений, сопоставляя площади просчитанных сечений.

Площадь прямоугольного поперечного сечения

$$A_{пр} = b \cdot h = 7,14 \cdot 14,28 = 101,96 \text{ см}^2$$

Площадь круглого поперечного сечения

$$A_{кр} = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot (13,41)^2}{4} = 141,17 \text{ см}^2$$

Площадь кольцевого поперечного сечения

$$A_{кл} = \frac{\pi (D^2 - d^2)}{4} = \frac{3,14 (15,84^2 - 12,67^2)}{4} = 70,95 \text{ см}^2$$

Площадь двутаврового поперечного сечения по сортаменту

$$A = 34,8 \text{ см}^2$$

Наиболее рациональной является двутавровая балка.

5. Проверяем прочность двутавровой балки по касательным напряжениям: $Q = 20 \text{ кН}$; $I_x = 3460 \text{ см}^4$; $S_x = 163,0 \text{ см}^3$; $b = 5,6 \text{ мм}$

$$\tau_{\max} = \frac{Q}{b} \frac{S_x}{I_x} = \frac{20}{5,6} \frac{10^3}{10^3} \frac{163,0}{3460} \frac{10^6}{10^8} = 24,75 \cdot 10^6 \text{ Па} = 16,82 \text{ МПа}$$

Условие прочности выполняется $\tau_{\max} \leq [\tau]$

6. Прогиб в точке К определим с помощью метода начальных параметров.

Начальные параметры: $y_0 = 0$; $\alpha_0 = 0$.

Обобщенное уравнение прогибов:

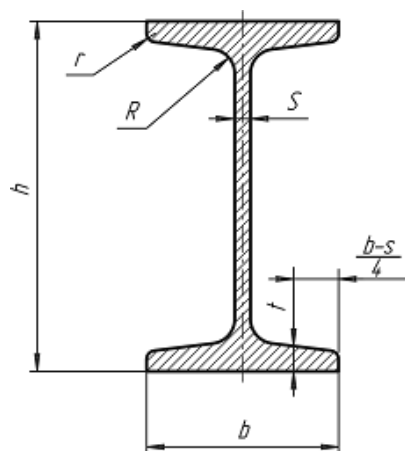
$$\begin{aligned} EI y_K &= EI y_0 + EI \alpha_0 x_K - M_A \frac{(x_K - 0)^2}{2} + R_A \frac{(x_K - 0)^3}{6} - 2P \frac{(x_K - a)^3}{6} = \\ &= -3m \frac{(3a)^2}{2} + 2P \frac{(3a)^3}{6} - 2P \frac{(2a)^3}{6} \\ y_K &= \frac{3m \frac{9a^2}{2} + 2P \frac{27a^3}{6} - 2P \frac{8a^3}{6}}{EI} = \\ &= \frac{30}{2} \frac{10^3}{10^{11}} \frac{4,50}{3460} \frac{1 + 20}{10^8} \frac{4,50}{10^3} \frac{1}{10^8} \frac{20}{10^3} \frac{1,33}{10^3} \frac{1}{10^8} = 0,0104 \text{ м} \end{aligned}$$

Сечение К перемещается вниз на 10,4 мм.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Приложение 1

ДВУТАВРЫ СТАЛЬНЫЕ ГОРЯЧЕКАТАНЫЕ СОРТАМЕНТ ГОСТ 8239-89



I — момент инерции;
 W — момент сопротивления;
 S — статический момент полусечения;
 i — радиус инерции.

Номер двутавра	Размеры						Площадь поперечного сечения, см ²	Масса 1 м, кг	Справочные значения для осей						
	h	b	s	t	R	r			X – X				Y – Y		
					не более				I _x , см ⁴	W _x , см ³	i _x , см	S _x , см ³	I _y , см ⁴	W _y , см ³	i _y , см
					мм										
10	100	55	4,5	7,2	7,0	2,5	12,0	9,46	198	39,7	4,06	23,0	17,9	6,49	1,22
12	120	64	4,8	7,3	7,5	3,0	14,7	11,50	350	58,4	4,88	33,7	27,9	8,72	1,38
14	140	73	4,9	7,5	8,0	3,0	17,4	13,70	572	81,7	5,73	46,8	41,9	11,50	1,55
16	160	81	5,0	7,8	8,5	3,5	20,2	15,90	873	109,0	6,57	62,3	58,6	14,50	1,70
18	180	90	5,1	8,1	9,0	3,5	23,4	18,40	1290	143,0	7,42	81,4	82,6	18,40	1,88
20	200	100	5,2	8,4	9,5	4,0	26,8	21,00	1840	184,0	8,28	104,0	115,0	23,10	2,07
22	220	110	5,4	8,7	10,0	4,0	30,6	24, 00	2550	232,0	9,13	131,0	157,0	28,60	2,27
24	240	115	5,6	9,5	10,5	4,0	34,8	27,30	3460	289,0	9,97	163, 0	198,0	34,50	2,37
27	270	125	6,0	9,8	11,0	4,5	40,2	31,50	5010	371,0	11,20	210,0	260,0	41,50	2,54
30	300	135	6,5	10,2	12,0	5,0	46,5	36,50	7080	472,0	12,30	268,0	337,0	49,90	2,69
33	330	140	7,0	11,2	13,0	5,0	53,8	42,20	9840	597,0	13,50	339,0	419,0	59,90	2,79
36	360	145	7,5	12,3	1 4,0	6,0	61,9	48,60	13380	743,0	14,70	423,0	516,0	71,10	2,89
40	400	155	8,3	13,0	15,0	6,0	72,6	57,00	19062	953,0	16,20	545,0	667,0	86,10	3,03
45	450	160	9,0	14,2	16,0	7,0	84,7	66,50	27696	1231,0	18,10	708,0	808,0	101,00	3,09
50	500	170	10,0	15,2	17,0	7,0	100,0	78,50	39727	1589,0	19,90	919,0	1 043,0	123,00	3,23
55	550	180	11,0	16,5	18,0	7,0	118,0	92,60	55962	2035,0	21,80	1181,0	1356,0	151,00	3,39
60	600	190	12,0	17,8	20,0	8,0	138,0	108,00	76806	2560,0	23,60	1491,0	1725,0	182, 00	3,54

Приложение 2

ЗНАЧЕНИЯ МОДУЛЕЙ УПРУГОСТИ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

E – модуль продольной упругости

G – модуль сдвига

μ – коэффициент Пуассона

Материал	E , МПа	G , МПа	μ
Чугун серый, белый	1,13–1,57	4,4	0,23–0,27
Ковкий чугун	1,52	–	–
Углеродистые стали	1,96–2,06	7,85–7,94	0,24–0,28
Легированные стали	2,06–2,16	7,85–7,94	0,25–0,30
Вольфрам	4,12	16,3	0,26
Медь прокатная	1,08	3,92	0,31–0,34
Бронза марганцовистая катаная	1,08	3,92	0,35
Латунь холоднотянутая	0,89–0,97	3,43–3,63	0,32–0,42
Дюралюминий катаный	0,7	2,65	–
Лед	0,1	0,67–0,29	–
Стекло	0,55	2,16	0,25
Гранит	0,48	–	–
Мрамор	0,55	–	–
Кирпичная кладка	0,026–0,029	–	–
Бетон при прочности 20 МПа	0,178–0,228		0,16–0,18
Дерево вдоль волокон	0,1–0,12	0,1–0,12	–
Дерево поперек волокон	0,005–0,01	–	–
Каучук	0,00008	–	0,47
Текстолит	0,06–0,1	–	–

Приложение 3

ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ α , β и γ ДЛЯ РАСЧЕТА НА КРУЧЕНИЕ ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ

Коэффици- циент	Отношение большей стороны h сечения к меньшей b								
	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	6,0	8,0	10,0
α	0,208	0,231	0,246	0,258	0,267	0,282	0,299	0,307	0,313
β	0,141	0,214	0,229	0,249	0,263	0,281	0,299	0,307	0,313
γ	1,000	0,859	0,795	0,766	0,753	0,745	0,743	0,742	0,742

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература

1. Ицкович Г.М., Минин Л.С., Винокуров А.И. Руководство к решению задач по сопротивлению материалов – М.: Высш. шк., 2008. – 592 с.
2. Эрдеди Н.А., А.А. Эрдеди. Сопротивление материалов: учебное пособие — М.: КНОРУС, 2012. — 160 с.

Дополнительная литература

3. Миролубов И.Н., Алмаметов Ф.З., Курицын Н.А. Сопротивление материалов: пособие к решению задач – СПб.: Издательство «Лань», 2007. – 512 с.
4. Головина Н.Я. Краткий курс лекций по сопротивлению материалов – Тюмень: Изд. ТюмГНГУ, 2008. – 70 с.

СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

Методические указания по выполнению расчетно-графических и контрольных работ студентами направления 21.03.01 «Нефтегазовое дело» всех форм обучения

Автор: к.т.н. Головина Н.Я.

Подписано к печати
Заказ №
Формат 60×84 1/16
Отпечатано

Бум. писч.
Уч. изд. л.
Усл. печ. л.
Тираж

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Тюменский государственный нефтегазовый университет»
филиал ТюмГНГУ в г. Сургуте
628400, г. Сургут, Тюменская обл., ул. Энтузиастов, 38
Отпечатано ООО «Авиаграфия»
628400, г. Сургут, ул. Профсоюзов, 37