

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ИНСТИТУТ ДИСТАНЦИОННОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Утверждаю
Проректор по заочному
(дистанционному) обучению

_____ Ю.Н. Демин

«___» _____ 2003г.

СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

Учебные задания

для самостоятельной работы студентов

направления **653200**

«Транспортные машины и транспортно-технологические комплексы»

специальности **150100** «Автомобиле- и тракторостроение»

Составитель В.Н. Скопинский, профессор, д.т.н.

Москва 2003

Учебные задания предназначены для самостоятельной работы студентов по курсу «Сопротивление материалов». Содержат курсовые работы по темам: «Растяжение и сжатие», «Кручение», «Изгиб», «Расчет вала на изгиб с кручением» и «Прочность вала при действии переменных напряжений». Задания включают условия задач, расчетные схемы и таблицы числовых данных для индивидуального задания каждому студенту.

В конце каждого задания приводятся вопросы для самопроверки по темам заданий и дополнительные задачи, которые могут быть использованы студентами для самостоятельной работы, подготовки к практическим занятиям, экзамену, а также и преподавателями для проверки уровня знаний студентов.

Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании кафедры «Сопротивление материалов»: протокол № 6 от 21.04.03г.

Рецензент: А.А. Захаров, проф.

Подготовлено на кафедре «Сопротивление материалов»

Редактор Н.А. Киселева

Подписано в печать
Формат бум. 60х90/16

Усл. печ. л.

Тираж 500

Уч.-изд. л.

Заказ №

Сдано в производство

Бум. множ.

Тем. план 2003г., № 4-50/03

Требования к выполнению и оформлению расчетно-графических работ

1. Задание рекомендуется выполнять на листах формата 11 (A4) с одной стороны листа.

2. Расчетная схема изображается в масштабе с указанием необходимых геометрических параметров (длин участков, площадей и т.д.) и заданной нагрузки. Величина и направление нагрузки должны соответствовать исходным данным согласно варианту задания.

В начале каждой задачи обязательно привести все исходные данные: размеры, нагрузки, используемые материалы и их характеристики, необходимые для расчета (предел текучести, пределы прочности при растяжении и сжатии, модуль упругости и др).

3. Все вычисления выполняются в системе единиц СИ.

Рекомендуется следующий порядок оформления расчётов: после записи расчетной формулы в общем виде сделать подстановку числовых значений входящих в формулу величин и полученный результат округлить до трех значащих цифр.

Примечания

1. Для выполнения задания преподаватель выдает студентам индивидуальный шифр, согласно которому выбирается расчетная схема бруса (стержня, вала, балки) или стержневой системы и исходные данные задачи.

2. При определении линейных размеров поперечных сечений бруса (стержня, вала, балки) полученные значения необходимо округлить в соответствии с рядом нормальных линейных размеров (см. Приложение 2).

Курсовая работа №1

Тема 1. Расчеты стержней и стержневых систем при растяжении и сжатии

Во всех задачах по этой теме номер расчетной схемы стержня или стержневой системы соответствует первой цифре индивидуального шифра задания. Номера вариантов исходных данных в таблицах выбирать по последующим цифрам шифра: для первой таблицы – по второй цифре, для второй таблицы – по третьей цифре и т.д., в зависимости от количества таблиц, используемых в задаче. Исходные данные расположены в соответствующих столбцах таблицы.

1. Выполнить расчёт стержня (рис. 1.1)

Исходные данные – материал стержня, коэффициент запаса, нагрузку $P_i = k_i P$ ($P_1 = k_1 P$, $P_2 = k_2 P$, $P_3 = k_3 P$) и длины участков l_1 , l_2 , l_3 – выбрать из таблиц 1.1, 1.2 и 1.3.

Прочностные и упругие характеристики материалов взять из *Приложения 1* (табл. 1), вид термообработки выбрать самостоятельно.

Порядок расчета

1.1. Построить эпюры нормальных (продольных) сил N , нормальных напряжений σ и осевых перемещений w .

1.2. Определить из расчета на прочность необходимые значения площади F_i поперечных сечений стержня на каждом участке.

Площади сечений F_i , выраженные через общий параметр F , указаны на расчетной схеме стержня над каждым участком.

1.3. Определить величину удлинения Δl (или укорочения) стержня.

При расчёте принять: $P = 20$ кН, $l = 0,3$ м.

Таблица 1.1

Материал стержня и коэффициент запаса

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
сталь	20	50	30	40	40X	30XM	45	40XH	50Г	20X
коэф-т запаса n_T	1,5	1,8	2,0	1,4	1,6	2,0	1,5	1,8	1,4	2,0

Таблица 1.2

Коэффициенты нагрузки ($P_i = k_i P$)

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
k_1	1,0	1,0	2,0	2,5	3,5	3,0	2,0	2,0	3,0	2,0
k_2	3,5	2,5	3,0	2,0	2,0	2,0	4,5	3,0	2,5	2,5
k_3	6,0	5,0	6,0	7,0	7,0	6,5	3,5	7,0	6,5	5,0

Таблица 1.3

Длины участков стержня

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
l_1	l	$2l$	l	$1,2l$	$1,3l$	$1,3l$	$1,5l$	$1,5l$	$1,8l$	$2l$
l_2	$1,2l$	$1,4l$	$1,5l$	$1,5l$	$1,5l$	$2l$	$2l$	l	$1,5l$	l
l_3	$2l$	$2l$	$3l$	$2l$	l	l	$1,2l$	$2l$	l	$1,5l$

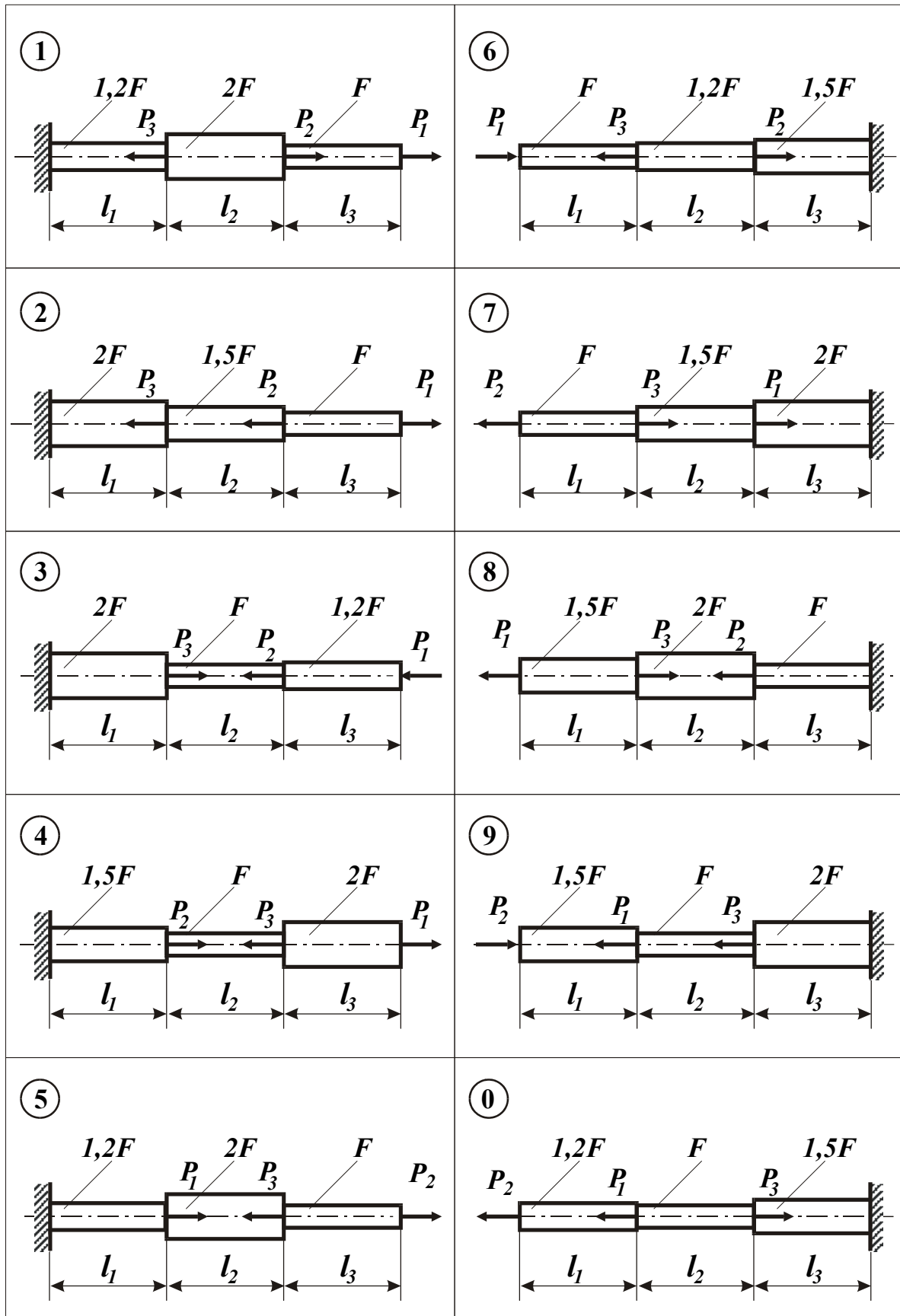


Рис. 1.1

2. Выполнить расчёт статически неопределимого стержня (рис. 1.2)

Исходные данные – материал стержня, коэффициент запаса, нагрузку $P_i = k_i P$ ($i = 1, 2$), площади поперечных сечений и длины участков стержня – выбрать из таблиц 1.4-1.7. Изобразить стержень, учитывая площади F_i .

2.1. Раскрыть статическую неопределимость стержня.

2.2. Построить эпюры нормальных сил N , нормальных напряжений σ и осевых перемещений w .

2.3. Определить допускаемое значение параметра нагрузки $P_{\text{доп}}$ из расчета на прочность.

При расчете принять: $F = 2 \text{ см}^2$, $l = 0,3 \text{ м}$.

Таблица 1.4

Материал стержня и коэффициент запаса

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
материал	Д6	Д16	АМг6	АК6	В95	ВТ5	ОТ4	ВТ5	ВТ20	БрА5
коэф-т запаса n_T	2,1	2,8	3,0	2,4	1,9	2,2	1,8	1,7	2,5	3,5

Таблица 1.5

Коэффициенты нагрузки ($P_i = k_i P$)

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
k_1	1,0	1,2	1,4	1,5	1,8	2,0	2,5	2,0	2,5	3,0
k_2	3,0	2,5	2,0	2,5	1,0	3,0	1,5	1,0	1,0	2,0

Таблица 1.6

Площади сечений на участках стержня

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
F_1	$2F$	$1,5F$	F	$1,4F$	$1,5F$	$1,6F$	F	$1,2F$	F	$1,2F$
F_2	$1,6F$	F	$1,5F$	$1,2F$	$2,5F$	F	$1,2F$	F	$2F$	$2F$
F_3	F	$2F$	$2F$	F	F	$1,4F$	$1,5F$	$1,5F$	$1,5F$	$1,5F$

Таблица 1.7

Длины участков стержней

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
l_1	l	l	l	$1,3l$	$1,2l$	$1,2l$	$1,4l$	$1,4l$	$1,5l$	$1,5l$
l_2	$1,5l$	$2l$	$1,5l$	$1,2l$	$1,6l$	$2l$	$1,5l$	$2l$	l	$2l$
l_3	$2l$	$1,2l$	$2l$	$1,5l$	$2l$	l	$2l$	l	$2l$	$1,5l$

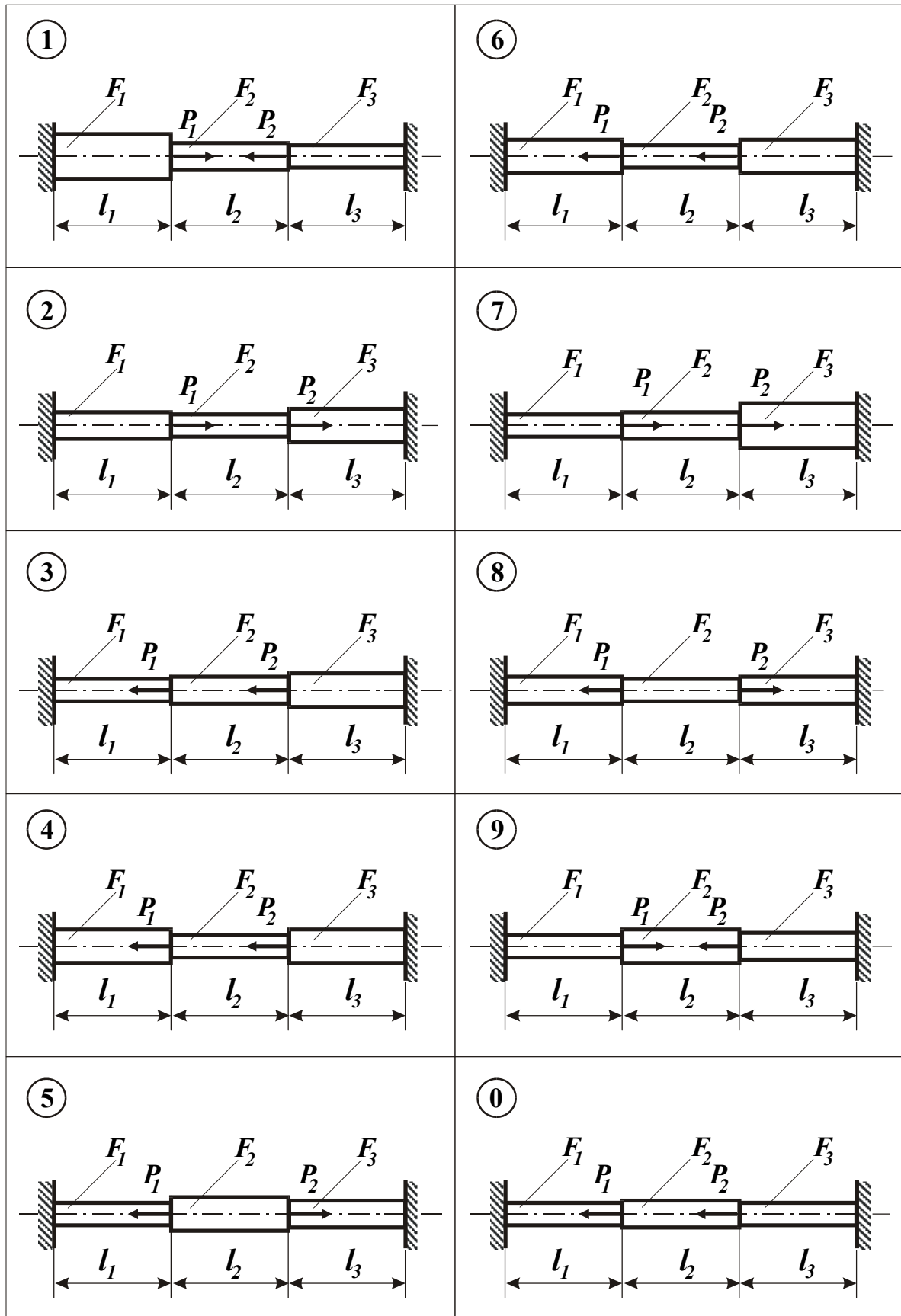


Рис. 1.2

3. Выполнить расчет стержневой системы (рис. 1.3)

Исходные данные – значение углового параметра β , задающего направление силы P , искомое перемещение узла, длины и площади поперечных сечений стержней – выбрать из таблиц 1.8 и 1.9.

Порядок расчета

3.1. Изобразить расчетную схему стержневой системы, используя конкретное значение угла β .

3.2. Найти выражения для нормальных сил в стержнях.

3.3. Определить из расчета на прочность допускаемую нагрузку $P_{\text{доп}}$.

3.4. Определить горизонтальное (u_c) или вертикальное (v_c) перемещение узла C .

При расчетах принять: $F = 2 \text{ см}^2$, $[\sigma]_p = 250 \text{ МПа}$, $[\sigma]_c = 350 \text{ МПа}$,
 $E = 110 \text{ ГПа}$, $l = 0,5 \text{ м}$.

Примечание. После нахождения нормальных сил в стержнях для заданной системы и для единичной системы обязательно сделать проверку правильности полученных значений сил, составив дополнительно любое новое уравнение равновесия.

Таблица 1.8

Угловой параметр нагрузки и определяемое перемещение

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
β	0	30°	60°	90°	0	30°	60°	90°	60°	30°
перемещение	u_c	u_c	v_c	v_c	u_c	u_c	v_c	v_c	v_c	u_c

Таблица 1.9

Длины стержней и площади сечений

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
l_1	l	$1,2l$	$1,4l$	$1,5l$	$1,8l$	$2,0l$	$2,0l$	$1,5l$	l	$1,2l$
l_2	$2l$	$1,5l$	$2l$	$2l$	$2l$	l	$1,5l$	l	$1,2l$	l
F_1	F	$1,5F$	$2F$	$2F$	F	$2F$	$2F$	$1,5F$	F	$2F$
F_2	$2F$	$3F$	$3F$	$1,2F$	$2F$	$1,5F$	$3F$	$2F$	$2F$	$3F$

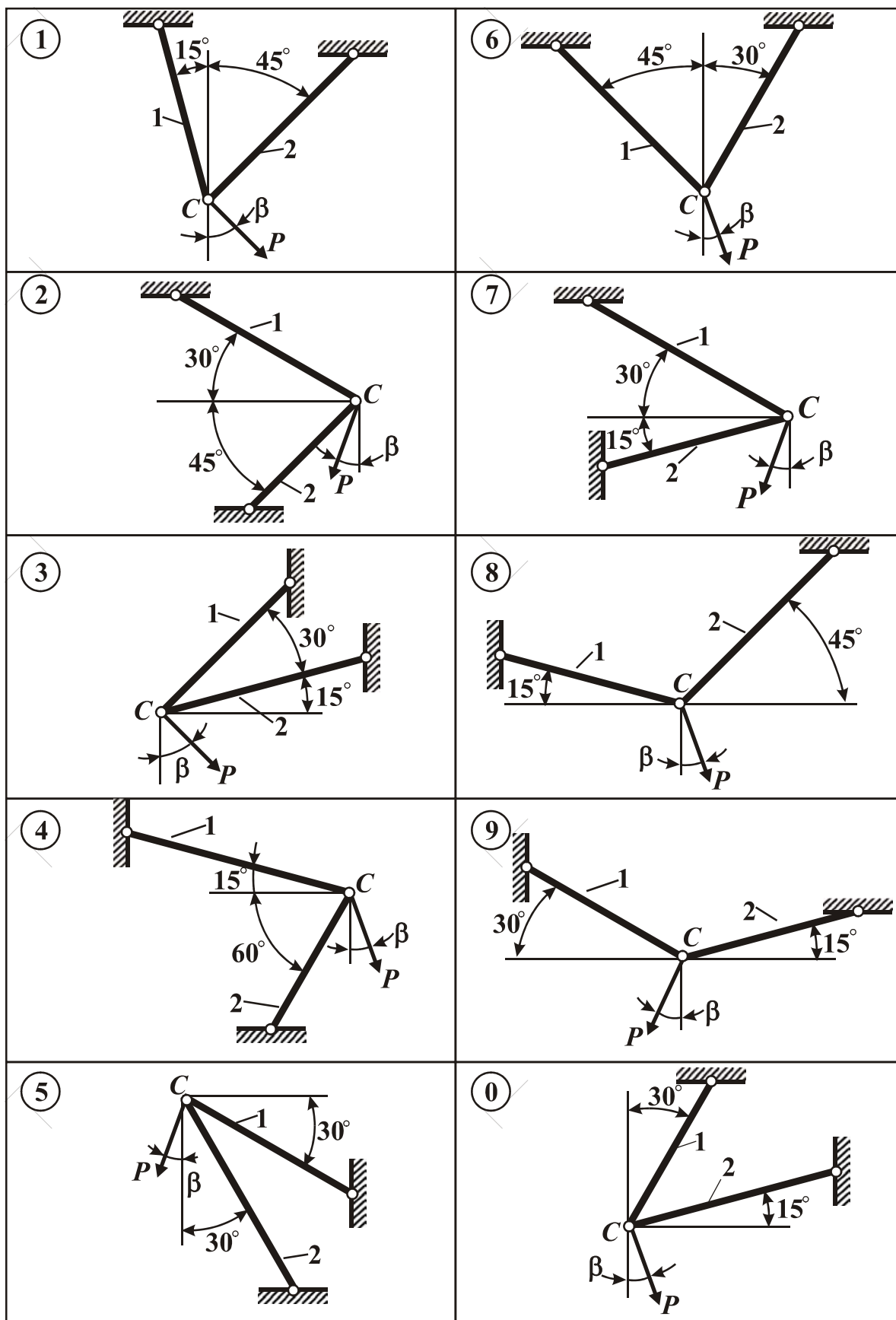


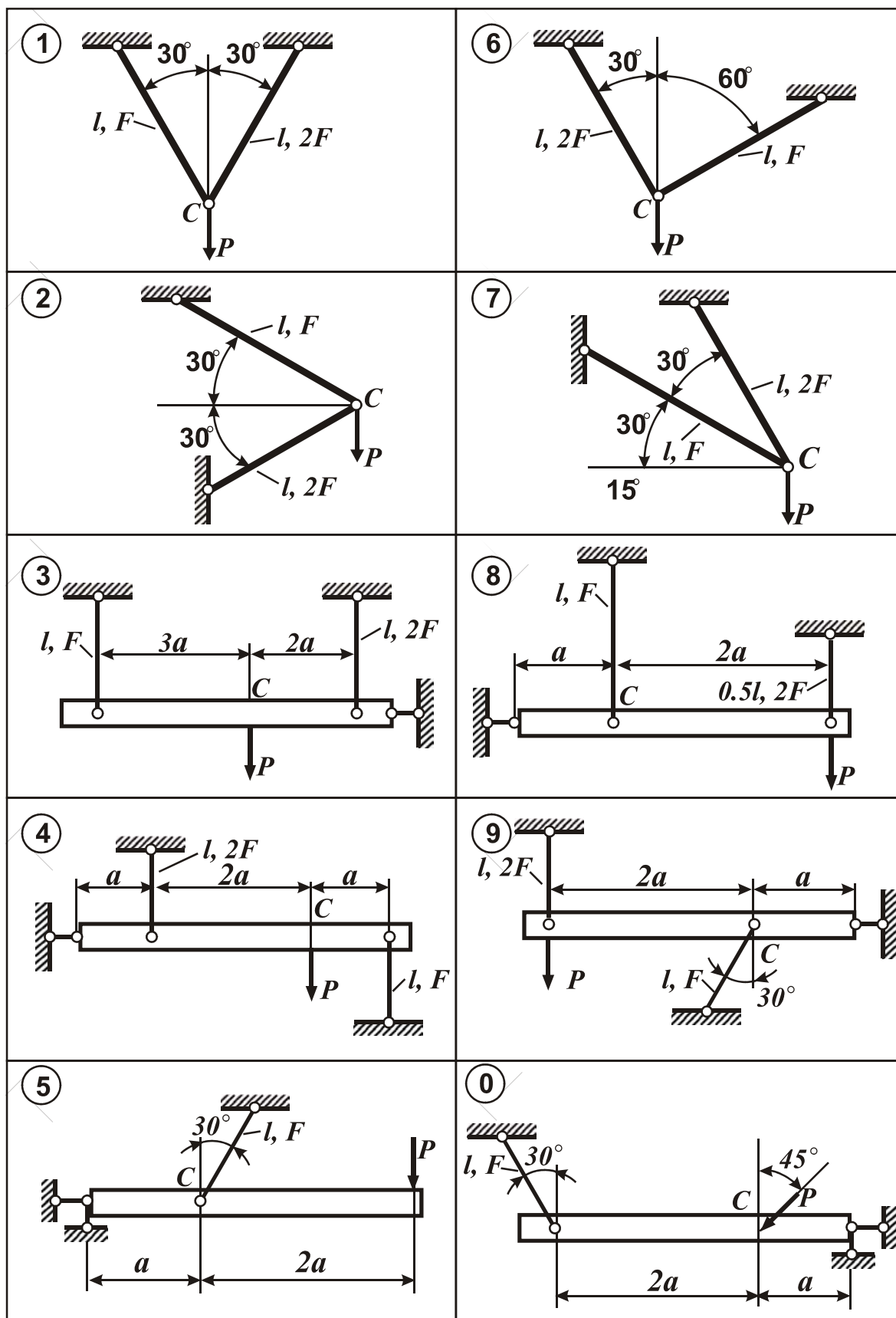
Рис. 1.3

Вопросы для самопроверки по теме «Растяжение и сжатие»

1. Что такое продольная (нормальная) сила? Какой порядок ее определения в произвольном поперечном сечении бруса (стержня) или стержневой системы?
2. Как определяются нормальные напряжения в стержне? Как определяются максимальные нормальные напряжения в ступенчатом стержне? в стержневой системе?
3. Как определяются продольные деформации в стержне?
4. Сформулировать закон Гука для материала и записать его.
5. Как связаны продольная и поперечная деформации в стержне при растяжении (сжатии)? Назвать упругие характеристики материала.
6. Сформулировать закон Гука для участка стержня и записать его.
7. Как определяются продольные перемещения сечений в стержне?
8. Записать условия прочности для стержня или стержневой системы из пластичного и хрупкого материалов. Какие основные задачи решаются на основе условий прочности?
9. Какие напряжения принимаются в качестве предельных для хрупкого и пластичного материалов?
10. Что называется жесткостью стержня на растяжение-сжатие?
11. Как определяются перемещения узлов в стержневой системе?
12. Какие задачи называются статически определимыми? Как определяются усилия в стержнях и реакции связей в статически определимой стержневой системе?
13. Какие задачи называются статически неопределимыми? Как определяются усилия в стержне с жестко закреплёнными концами?

Дополнительные задачи по теме «Растяжение и сжатие»

Для стержневых систем (рис. 1.4) определить усилия и напряжения в стержнях. Вычислить горизонтальное перемещение узла *С* (для схем 1, 2, 6, 7), вертикальное перемещение точки *С* (для схем 3, 4, 5) или угол поворота жесткой балки (для схем 8, 9, 0).



Puc. 1.4

Тема 2. Расчет вала при кручении

4. Выполнить расчет статически определимого вала (рис. 2.1)

Расчётная схема вала строится с использованием рис. 2.1 и данных из таблиц 2.1 – 2.5. Номера вариантов исходных данных в таблицах выбрать по соответствующим цифрам шифра задания: для первой таблицы – по первой цифре, для второй таблицы – по второй цифре и т.д.

Передаваемые мощности $N_i = |k_i| \cdot N_0$ ($i = 1, 2, 3$) вычислить с использованием значений коэффициентов k_i из табл. 2.1. Принять $N_0 = 20$ кВт.

При отрицательном значении коэффициента k_i направление соответствующего момента M_i изменить на противоположное.

Из Приложения 1 (табл. 1) выбрать необходимые прочностные и упругие характеристики материала вала: предел текучести τ_t , модуль Юнга E и коэффициент Пуассона μ .

Вариант сечений и соотношения размеров сечений для участков вала выбрать с использованием рис. 2.1,б и данных в таблицах 2.3, 2.4.

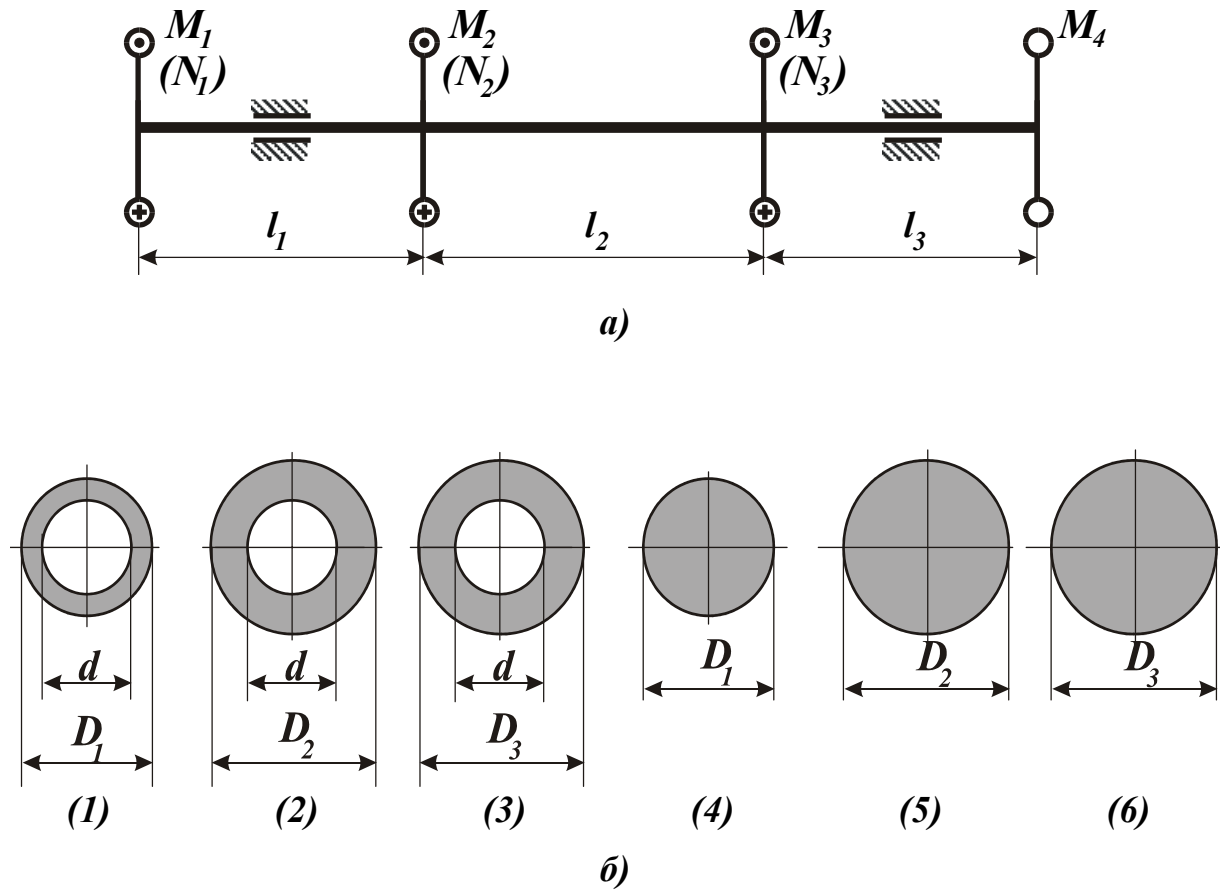


Рис. 2.1

Пример изображения расчетной схемы вала

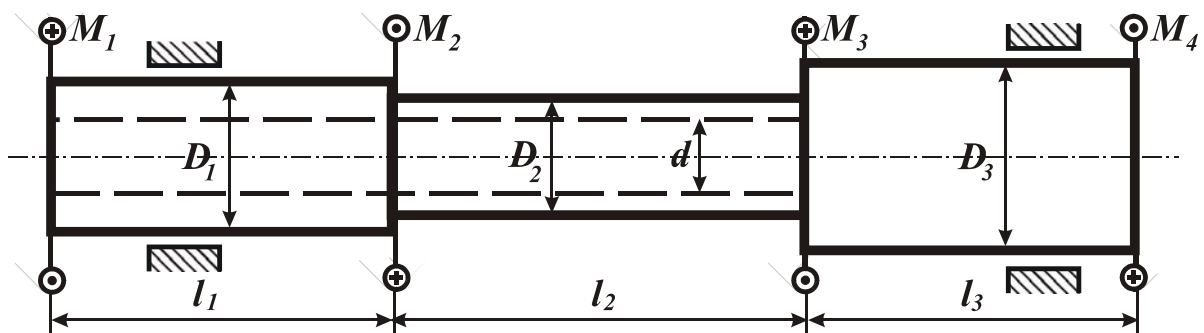


Рис. 2.2

Расчетная схема вала показана при таких значениях исходных данных:

$k_1 = -1$, $k_2 = 2$, $k_3 = -3$; сечения 1-2-6 (см. рис. 2.1,б) на участках вала;

$D_1 = 1,3d$, $D_2 = 1,2d$, $D_3 = 1,5d$; $l_1 = 0,4$ м, $l_2 = 0,5$ м, $l_3 = 0,3$ м.

Таблица 2.1

Коэффициенты для мощности N_i

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
k_1	1,0	1,2	1,4	-1,6	1,8	-2,0	2,2	2,4	-2,6	2,8
k_2	2,0	-0,8	2,2	2,5	-2,4	1,2	-0,8	-1,3	1,5	-4,0
k_3	-1,5	1,6	-0,6	-3,0	1,9	3,5	-3,2	0,8	3,4	2,4

Таблица 2.2

Расчётные параметры и материал вала

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
n , об/мин	500	700	1000	900	800	1200	800	600	1100	1300
n_T	4,0	4,5	6,5	4,2	4,0	5,5	5,0	4,8	5,0	6,0
$[\varphi']$, °/м	1,2	1,5	2,3	1,3	1,1	1,8	0,8	1,6	1,9	2,5
сталь	20(н)	30(н)	40X(y)	40(н)	45(н)	45(y)	40(y)	30(y)	50Г(н)	60(н)

Таблица 2.3

Сечения участков вала

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
участок 1	1	4	1	4	1	4	1	4	1	4
участок 2	5	2	5	5	2	5	2	2	5	5
участок 3	3	3	6	3	6	3	3	6	3	6

Таблица 2.4

Соотношения размеров в сечениях участков вала

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
D_1/d	1,1	1,15	1,2	1,25	1,3	1,35	1,4	1,45	1,5	1,55
D_2/d	1,6	1,65	1,7	1,75	1,8	1,85	1,9	1,95	2,0	2,1
D_3/d	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	2,0

Таблица 2.5

Длины участков вала

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
l_1 , м	0,4	0,3	0,5	0,25	0,6	0,5	0,3	0,4	0,45	0,5
l_2 , м	0,3	0,5	0,4	0,35	0,4	0,3	0,6	0,6	0,25	0,35
l_3 , м	0,2	0,2	0,3	0,15	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,25

Порядок расчета

4.1. Изобразить расчетную схему вала с участками заданного сечения и приложенными внешними моментами согласно исходным данным задания (рекомендуется соблюдать масштабы длин участков и диаметров сечений).

Пример изображения расчетной схемы вала приведен на рис. 2.2.

4.2. Определить значения внешних моментов M_i по заданным значениям мощностей N_i (кВт) и частоте вращения вала n (об/мин) по формуле

$$M_i = 9550 \cdot N_i / n \text{ (Н·м)}, i = 1, 2, 3.$$

Величину и направление момента M_4 определить из условия равновесия вала.

4.3. Построить эпюру крутящих моментов M_k .

4.4. Определить необходимое значение параметра d из расчёта вала на прочность.

4.5. Определить необходимое значение параметра d из расчёта вала на жесткость.

Значение модуля сдвига G материала вычислить по значениям E и μ .

4.6. Определить размеры поперечных сечений (D_i) на всех участках вала по значению параметра d , удовлетворяющему условиям прочности и жесткости. При этом полученные значения размеров сечений на участках вала округлить до соответствующих значений из ряда нормальных линейных размеров (см. Приложение 2).

4.7. Для вала с выбранными размерами поперечных сечений построить эпюры:

- а) максимальных касательных напряжений τ^{max} в сечениях;
- б) относительных углов закручивания φ' ;
- в) углов поворота сечений φ , условно считая неподвижным одно из торцевых сечений вала.

4.8. Изобразить распределение касательных напряжений в поперечных сечениях вала на каждом участке.

Вопросы для самопроверки по теме «Кручение»

1. Как определяется внутренний крутящий момент в поперечном сечении вала? Какое правило знаков применяют для крутящего момента?
2. Что такое полярный момент инерции сечения? полярный момент сопротивления сечения?
3. Как распределяются касательные напряжения в круглом сечении вала? В чем преимущества использования полых валов?
4. Как определить касательное напряжение в произвольной точке круглого поперечного сечения вала?
5. Как определить максимальные касательные напряжения в круглом сечении вала и в каких точках сечения они действуют?
6. Записать условие прочности вала при кручении. Какие основные задачи решаются при расчёте вала на прочность?
7. Что такое относительный угол закручивания? Как он вычисляется и какова его размерность?
8. Как определить угол закручивания участка вала постоянного сечения?
9. Сформулировать условие жесткости для вала. Как определяется диаметр вала из условия жесткости? Какие задачи могут решаться при расчёте вала на жесткость?
10. Записать закон Гука при чистом сдвиге. Какая связь между модулем Юнга и модулем сдвига для изотропного материала?

Дополнительные задачи по теме «Кручение»

1. Построить эпюры $\mathcal{M}_k$, τ^{max} , φ' и φ для валов, расчетные схемы которых изображены на рис. 2.3.

Принять: $D = 1,2d$, $d_0 = 0,9d$.

2. Определить наибольшие касательные напряжения для вала и наибольший угол закручивания.

Принять: $M = 1$ кН·м, $d = 10$ см, $l = 0,3$ м, $G = 80$ ГПа.

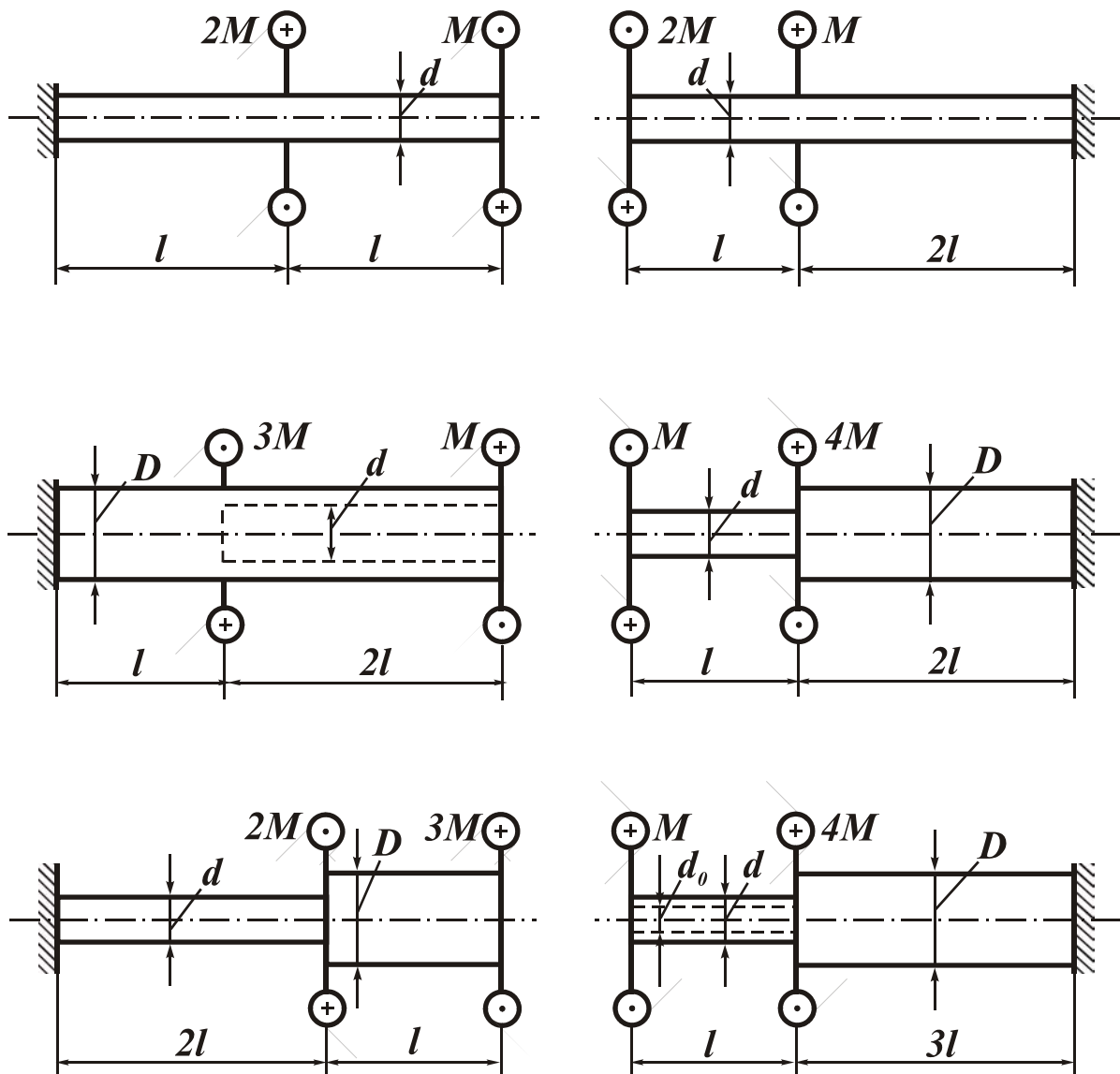


Рис. 2.3

Тема 3. Расчет балок на изгиб

Во всех задачах по этой теме номер расчетной схемы балки соответствует первой цифре индивидуального шифра задания. Номера вариантов исходных данных в таблицах выбрать по последующим цифрам шифра.

5. Выполнить расчёт консольной балки (рис. 3.1)

Расчётные данные для балки выбрать из таблиц 3.1, 3.2.

5.1. Построить эпюры поперечных сил Q и изгибающих моментов M .

5.2. Для балки стандартного профиля из расчета на прочность подобрать сечения по сортаменту прокатной стали (двутавр, два швеллера).

5.3. Построить эпюру нормальных напряжений σ для опасного сечения балки. Вычислить максимальные нормальные напряжения.

5.4. Определить прогиб концевого сечения балки.

При расчете принять: $P = 10$ кН, $l = 0,4$ м, $\sigma_T = 250$ МПа, $n_T = 1,8$.

Геометрические характеристики стандартных профилей выбрать из таблиц *Приложения 3*.

6. Выполнить расчёт двухопорной балки (рис. 3.2)

Расчётные данные для балки выбрать из табл. 3.2, 3.3, 3.4; стандартный профиль сечения выбрать из рис. 3.3 (по пятой цифре шифра).

6.1. Построить эпюры поперечных сил Q и изгибающих моментов M .

6.2. Из расчёта на прочность определить размеры сечения балки в виде круга, кольца (с коэффициентом полости $\alpha = d/D$), прямоугольника (с отношением сторон $\beta = h/b$) и подобрать сечение из стандартных профилей.

При расчете принять: $[\sigma] = 160$ МПа, $P = 10$ кН, $l = 0,3$ м.

Геометрические характеристики стандартных профилей выбрать из таблиц *Приложения 3*.

6.3. Сравнить массы (площади поперечных сечений) полученных балок и сделать вывод о рациональности каждой формы сечения балки.

6.4. Для каждого из сечений построить эпюру распределения нормальных напряжений по высоте сечения.

6.5. Определить угол поворота сечения C балки стандартного профиля.

Таблица 3.1

Длины участков консольной балки

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
l_1	$2l$	$1,5l$	$2,5l$	$1,3l$	$1,8l$	$2,2l$	$1,2l$	$2,5l$	$2,2l$	l
l_2	$1,5l$	$2,5l$	$3l$	$2,2l$	$2,5l$	$2,5l$	$2,5l$	$1,4l$	$2,5l$	$2,4l$

Таблица 3.2

Коэффициенты нагрузки ($P_1 = k_1P$, $M = k_2Pl$, $q = k_3P/l$)

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
k_1	1,0	1,2	1,4	1,5	1,8	2,0	2,5	2,2	2,0	1,5
k_2	2,0	1,0	1,5	2,0	2,5	1,5	2,0	2,5	2,0	3,0
k_3	2,0	1,0	2,0	1,5	2,0	2,5	1,0	2,0	1,0	2,0

Таблица 3.3

Геометрические параметры сечений

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$\alpha = d/D$	0,7	0,75	0,8	0,85	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,8
$\beta = h/b$	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	2,8	2,6	2,5	2,4

Таблица 3.4

Длины участков двухопорной балки

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
l_1	$2l$	$2,5l$	$2,5l$	$3l$	$3l$	$3l$	$2l$	$2,5l$	$2l$	$3l$
l_2	$2,5l$	$3,5l$	$3l$	$2l$	$2,5l$	$3,5l$	$3,5l$	$4l$	$5l$	$4l$
l_3	$3,5l$	$2l$	$2,5l$	$2,5l$	$2l$	$2l$	$2l$	$1,5l$	$2l$	$3l$

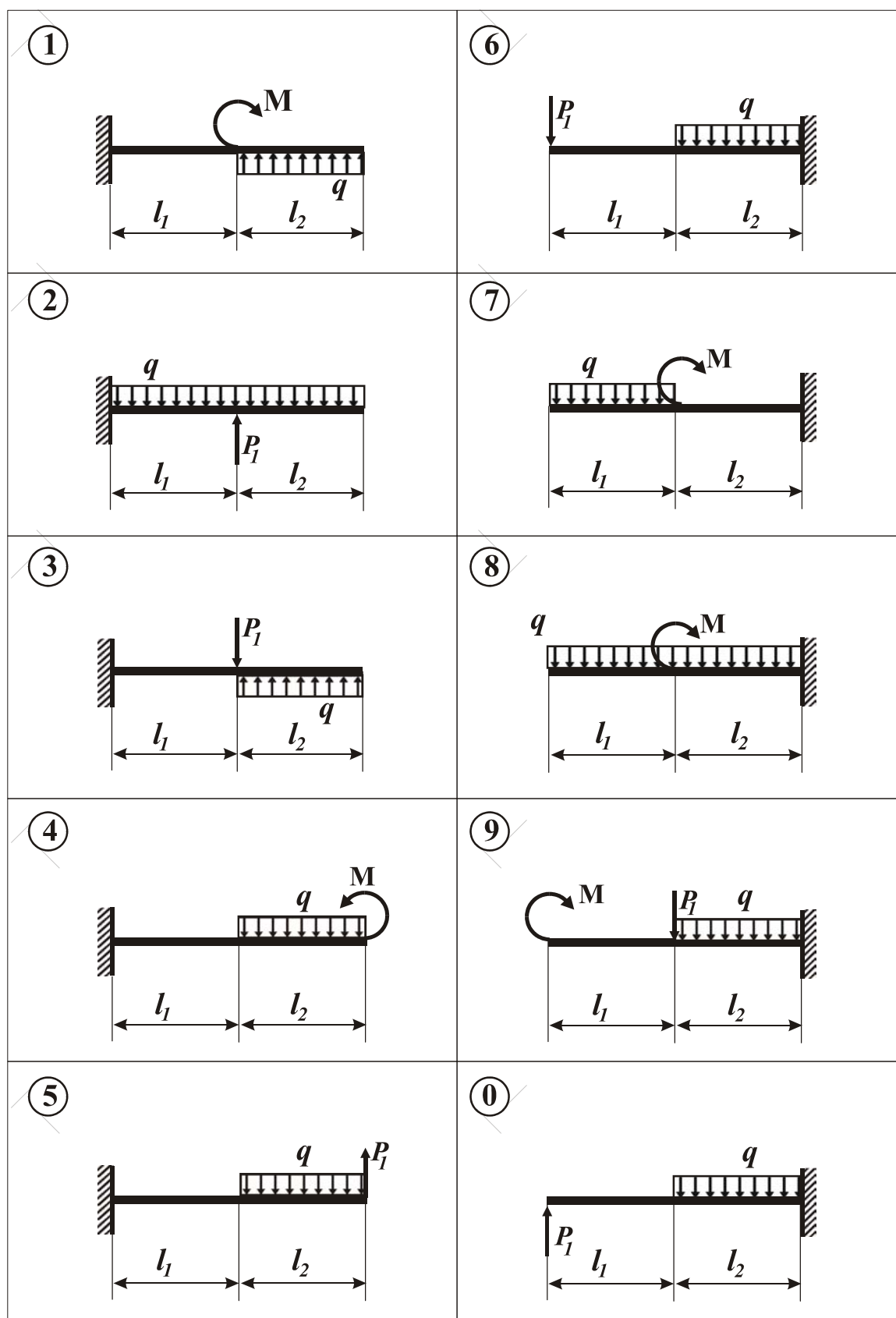


Рис. 3.1

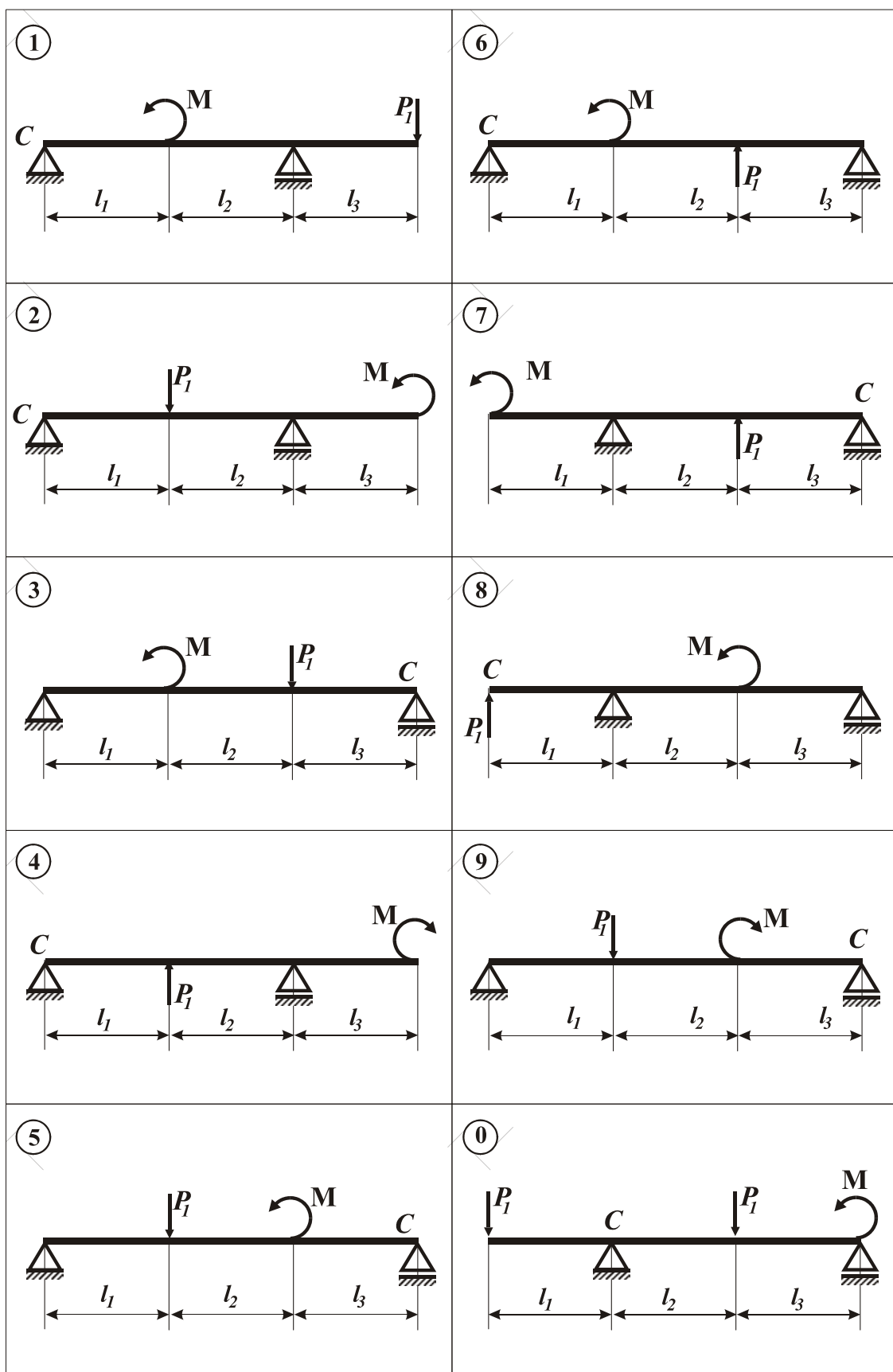
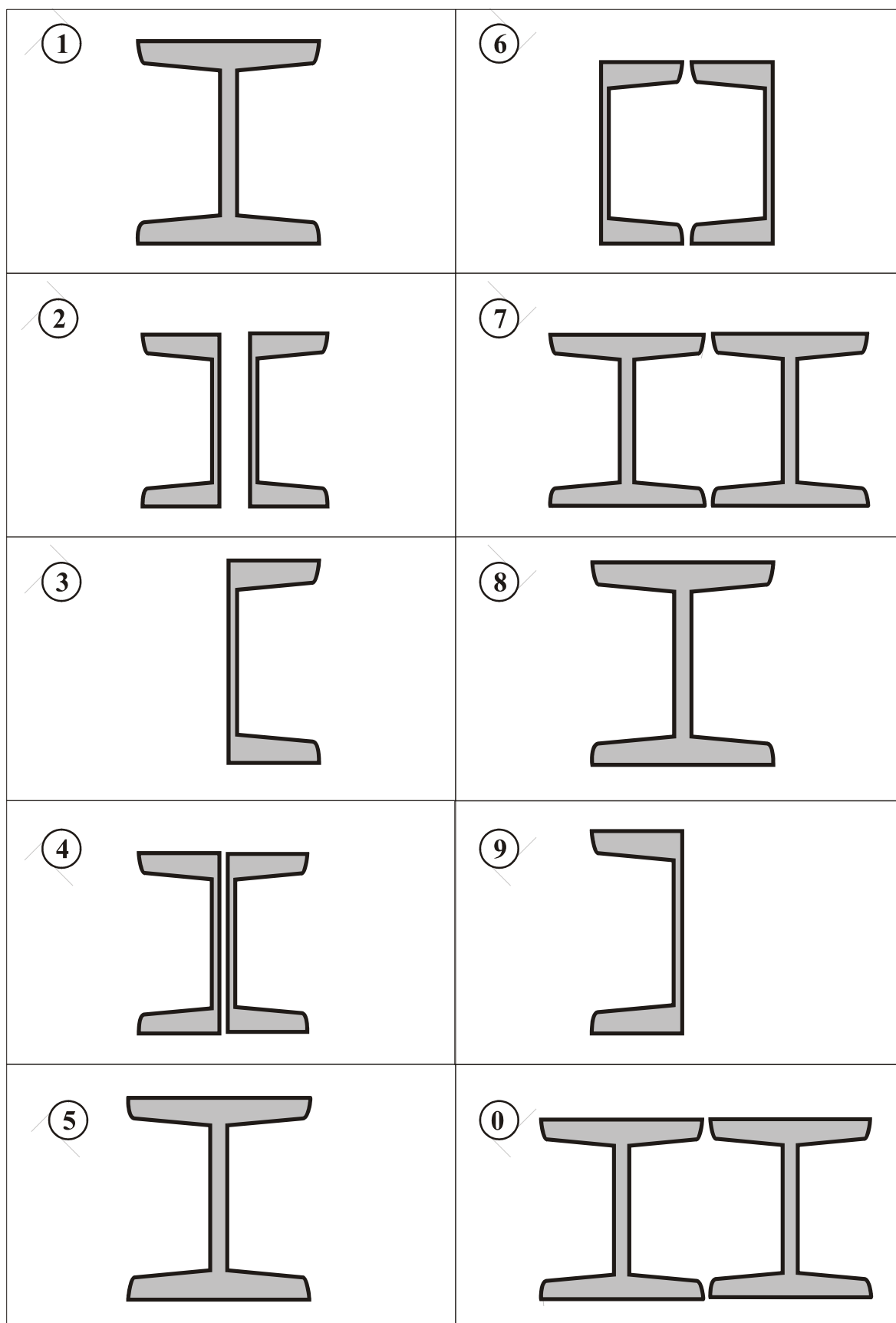


Рис. 3.2

*Рис. 3.3*

Вопросы для самопроверки по теме «Изгиб»

1. Какие внутренние силовые факторы возникают в поперечных сечениях балки при изгибе? Правило знаков при их определении.
2. Перечислить основные правила проверки эпюр Q и M .
3. Как определяются нормальные напряжения в произвольной точке сечения и максимальные напряжения? Какой вид имеет эпюра нормальных напряжений в сечении?
4. Что такое осевой момент инерции сечения и момент сопротивления сечения при изгибе? Чему равны моменты инерции и моменты сопротивления для прямоугольного, круглого и кольцевого сечений?
5. Каким образом определяют опасное сечение балки?
6. Как записывается условие прочности балки при изгибе? Перечислить задачи, решаемые на основе условия прочности.
7. Что понимается под рациональной формой сечения балки при изгибе? В чём преимущества применения балок стандартного профиля?
8. Какие перемещения рассматриваются при изгибе балок?
9. В чём заключается процедура определения перемещений сечений балок при изгибе по методу Максвелла-Мора (методу единичной нагрузки)?
10. Как определяют перемещения сечений балки с использованием способа Верещагина?

Дополнительные задачи по теме «Изгиб»

1. Построить эпюры поперечных сил Q и изгибающих моментов M для балок, изображенных на рис. 3.4. Определить опасное сечение.
При расчёте принять: $M = Pl$, $q = 2P/l$.
2. Определить прогиб концевого сечения консольной балки или промежуточного сечения (любого) двухопорной балки.
3. Определить угол поворота концевого сечения балки.

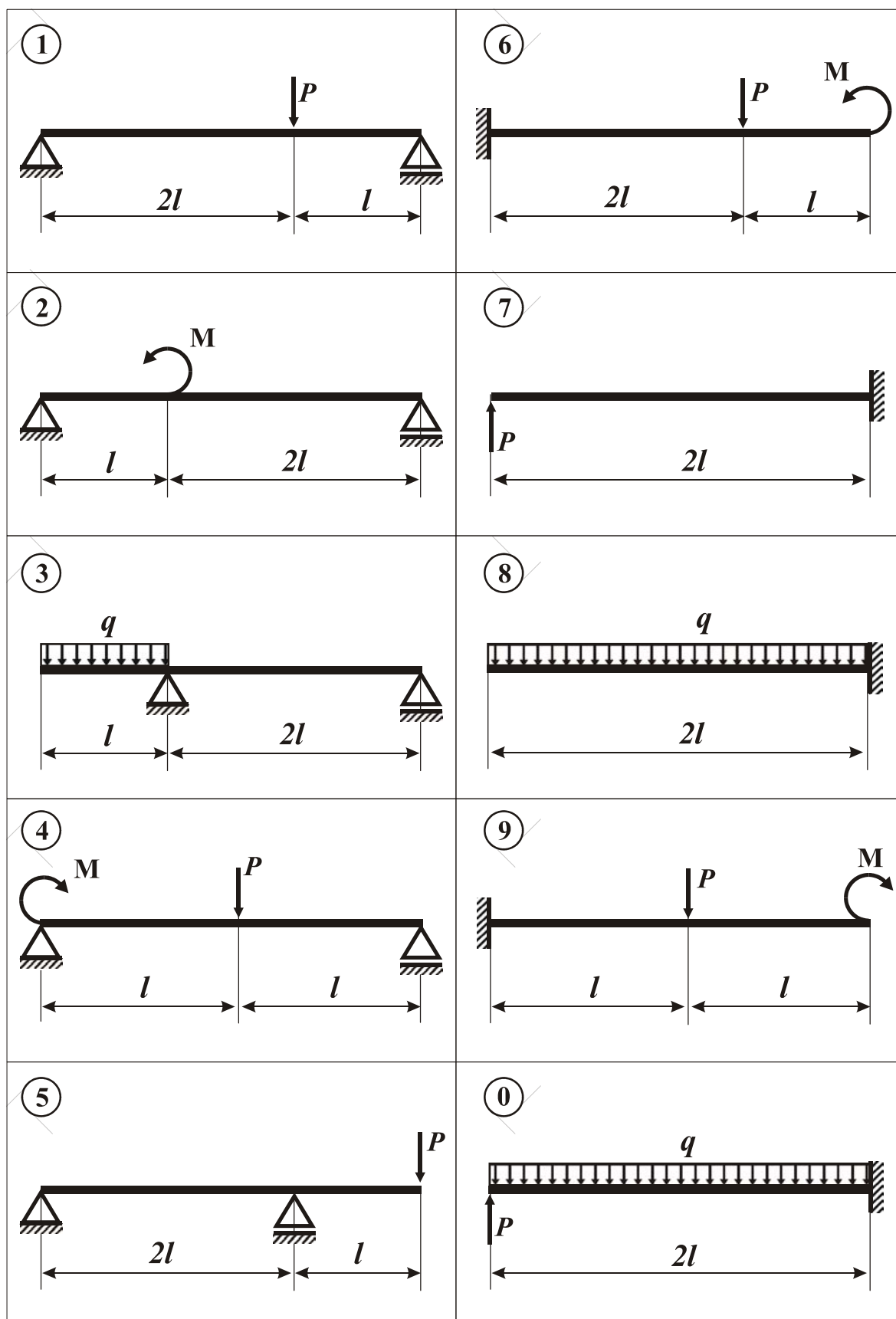


Рис. 3.4

Курсовая работа №2

Тема 4. Расчет вала на изгиб с кручением

Расчётную схему вала построить с использованием рис. 4.1 и данных из таблиц 4.1, 4.2, 4.3. Номера вариантов исходных данных в таблицах выбрать по соответствующим цифрам шифра задания: для первой таблицы – по первой цифре, для второй таблицы – по второй цифре и т.д.

1. Выполнить расчет вала при статическом нагружении (рис. 4.1)

На сопряжённые детали, расположенные на валу, действует нагрузка: P_1 – радиальная сила; P_2 – окружная сила; P_3 – сила, направленная параллельно оси вала. Положительные значения углов α_i ($i=1, 2$) откладываются от горизонтальной оси x против часовой стрелки.

Прочностные характеристики стали выбрать из табл.1 Приложения 4.

1.1. Изобразить расчётную схему вала, считая одну из опор шарнирно-подвижной в осевом направлении, а другую - шарнирно-неподвижной.

Обратить внимание на положение опор и деталей согласно значениям l_1, l_2, l_3 , а также точек приложения нагрузки согласно значениям α_1 и α_2 .

Определить величину и направление момента M_0 из условия равновесия вала.

Пример изображения расчетной схемы вала приведен на рис. 4.2.

1.2. Построить эпюры изгибающих моментов в вертикальной и горизонтальной плоскостях (эп. M_x и эп. M_y) и эпюру крутящих моментов M_k .

1.3. Определить опасное сечение вала и значение эквивалентного момента $M_{экв}^{max}$ в нем.

Схематично показать внутренние силовые факторы в опасном сечении вала и напряженное состояние в опасной точке этого сечения.

1.4. Определить диаметр вала из расчета на прочность, используя соответствующую теорию прочности. Значение диаметра принять согласно ряду **Ra40** нормальных линейных размеров (см. Приложение 2).

1.5. Найти значения максимальных нормальных, касательных и эквивалентных напряжений в опасной точке вала.

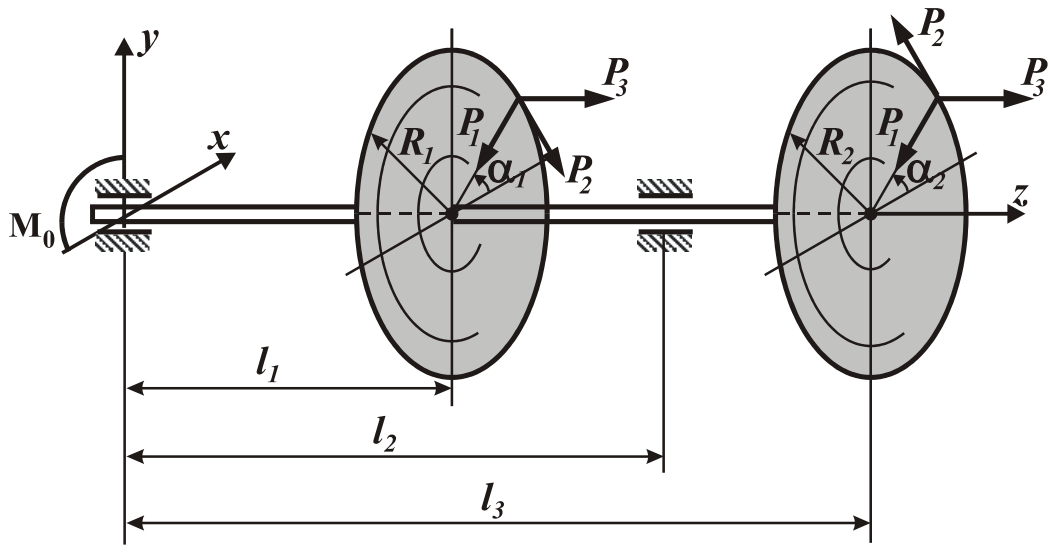


Рис. 4.1

Изображение расчетной схемы вала

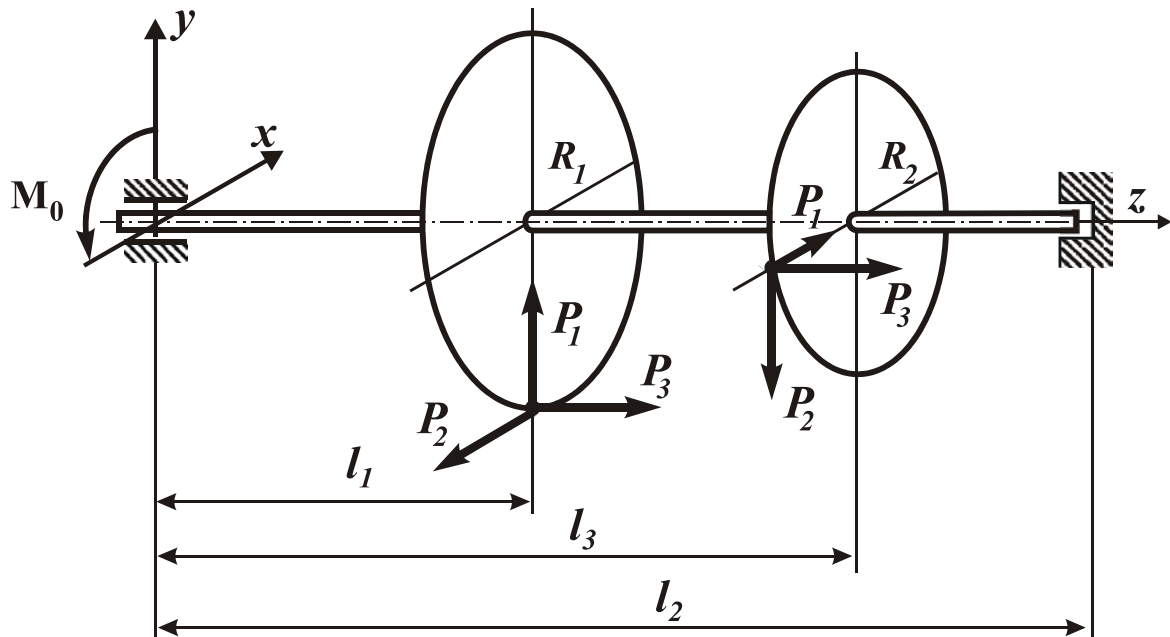


Рис. 4.2

Расчетная схема вала показана при исходных данных:

$l_1 = 30$ см, $l_2 = 75$ см, $l_3 = 50$ см; $\alpha_1 = -90^\circ$, $\alpha_2 = 180^\circ$; $R_1 = 15$ см, $R_2 = 12$ см.

Таблица 4.1

Значения углов α_i и радиусов R_i ($i=1, 2$)

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
α_1 , град.	0	90	0	90	180	-90	180	-90	0	90
R_1 , см	10	12	14	15	16	14	15	10	12	16
α_2 , град.	90	0	-90	180	90	0	-90	180	90	0
R_2 , см	15	14	12	10	14	16	12	14	15	15

Таблица 4.2

Значения сил P_1 , P_2 и длин участков l_1 , l_2

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
P_1 , кН	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5
P_2 , кН	8,5	8,0	7,5	7,0	6,5	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0
l_1 , см	20	30	25	36	35	32	28	22	24	34

Таблица 4.3

Значения силы P_3 , длины l_3 и данные для расчета на прочность

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
P_3 , кН	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5
l_2 , см	50	68	48	74	55	54	68	50	60	62
l_3 , см	70	50	64	60	72	70	50	75	74	50
n_T	2,5	3,5	2,8	3,2	2,6	2,8	3,0	2,6	3,2	3,0
Теория прочности	IV	IV	III	IV	III	III	III	IV	IV	III
Сталь	40XH	50	40X	30	30XM	40	20X	12XH3A	45	35

Тема 5. Прочность вала при действии переменных напряжений

2. Выполнить расчет вала при циклически изменяющихся напряжениях

Проверочный расчет вала на усталостную прочность провести, используя расчетные результаты, полученные в предыдущем разделе.

При вращении вала нормальные напряжения σ и касательные напряжения τ в опасном сечении изменяются по гармоническому закону

$$\sigma(t) = \sigma_m + \sigma_a \cdot \sin \omega t, \quad \tau(t) = \tau_m + \tau_a \cdot \sin \omega t$$

с коэффициентами асимметрии R_σ и R_τ , соответственно.

При этом за максимальные напряжения циклов (σ_{max} и τ_{max}) принимаются соответствующие наибольшие напряжения в опасной точке, полученные при статическом расчете.

Значения коэффициентов асимметрии циклов напряжений (R_σ , R_τ), тип концентратора и вид обработки поверхности вала взять из таблиц 4.4 и 4.5 (по четвертой и пятой цифрам шифра).

Порядок расчета

2.1. Для опасного сечения вала вычислить параметры циклов для номинальных значений нормальных и касательных напряжений. Изобразить графически полученные циклы изменения напряжений.

2.2. Определить значения коэффициента снижения предела выносливости материала K при изгибе и кручении.

Учесть влияние на усталостную прочность вала концентрации напряжений, абсолютных размеров и качества обработки поверхности вала.

При расчёте использовать данные таблиц 1-5 и рис. 1 Приложения 4.

2.3. Определить по аналитическим формулам значения коэффициентов запаса усталостной прочности n_σ и n_τ по нормальным и касательным напряжениям.

Значения коэффициентов ψ_σ и ψ_τ выбрать из таблицы 6 Приложения 4.

Если получаются значения $n_{\sigma} \leq 1.0$ или $n_{\tau} \leq 1.0$, то ввести какой-либо метод поверхностного упрочнения вала и вновь вычислить соответствующий коэффициент (n_{σ} или n_{τ}).

Действительные коэффициенты запаса прочности выбирать как наименьшее значение из коэффициентов запаса усталостной прочности и по пределу текучести.

2.4. Вычислить общий коэффициент запаса усталостной прочности n_R .

Сделать вывод о работоспособности вала. Допустимый коэффициент запаса усталостной прочности принять равным $[n] = 1,5 \div 2,5$.

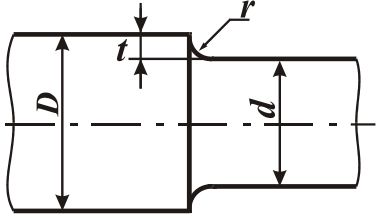
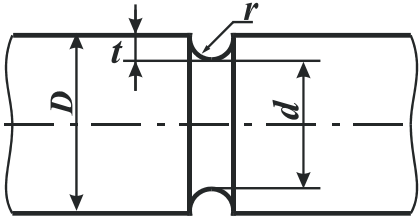
Таблица 4.4

Коэффициенты асимметрии циклов и обработка поверхности вала

Вариант	R_{σ}	R_{τ}	Обработка поверхности вала
1	0,2	- 0,4	Наличие окалины
2	- 0,6	0,2	Чистовое точение
3	- 0,5	- 0,8	Шлифование
4	0,3	- 0,6	Грубое точение
5	- 0,4	0,1	Азотирование
6	0,2	- 0,5	Шлифование
7	- 0,9	- 0,2	Дробеструйный наклеп
8	- 0,8	- 0,7	Закалка с нагревом ТВЧ
9	- 0,7	0,2	Обкатка роликом
0	- 0,3	- 0,9	Цементация

Таблица 4.5

Параметры концентраторов

Вариант	Тип концентратора	t/r	r/d
1	 Галтель	1,0	0,02
2		2,0	0,02
3		3,0	0,03
4		2,0	0,03
5		3,0	0,02
6	 Кольцевая канавка	2,0	0,03
7		1,0	0,02
8		0,5	0,03
9		1,0	0,03
0		0,5	0,02

Вопросы для самопроверки по темам работы

1. Как определить опасное сечение вала при одновременном изгибе с кручением?
2. Как определяется положение опасной точки в круглом или кольцевом поперечном сечении вала при изгибе с кручением? Какое напряженное состояние имеет место в этой точке?
3. Как определяются значения нормальных и касательных напряжений в опасной точке вала круглого поперечного сечения при изгибе с кручением?
4. Что называется эквивалентным напряжением? Как записывается условие прочности при сложном напряженном состоянии?
5. Как определяются эквивалентные напряжения по III-V теориям прочности при изгибе с кручением для вала круглого сечения?
6. Что понимается под усталостной прочностью деталей? Что такое предел выносливости материала?
7. Какой вид имеет кривая усталости для симметричных циклов?
8. Какие основные параметры цикла рассматриваются при повторно-переменном изменении напряжений? Что понимается под коэффициентом асимметрии цикла? Какие циклы называются симметричным и пульсационным?
9. Как влияет концентрация напряжений на усталостную прочность деталей? Что называется эффективным коэффициентом концентрации напряжений? Какие конструктивные способы применяются для снижения концентрации напряжений?
10. Каким образом влияют абсолютные размеры поперечного сечения деталей на усталостную прочность?
11. Каким образом влияет вид обработки поверхности детали на усталостную прочность? Какие технологические методы поверхностного упрочнения деталей применяются для повышения усталостной прочности?
12. Какой вид имеет схематизированная диаграмма предельных циклов?

**Дополнительные задачи по теме
«Расчет вала на изгиб с кручением»**

1. Построить эпюры изгибающих и крутящего моментов для вала (рис. 4.3).
 2. Определить наибольшее значение эквивалентного момента по третьей теории прочности.
 3. Из расчета на прочность вычислить диаметр вала.
- В расчете принять: $P = 2$ кН, $l = a = 0,2$ м, $[\sigma] = 150$ МПа.

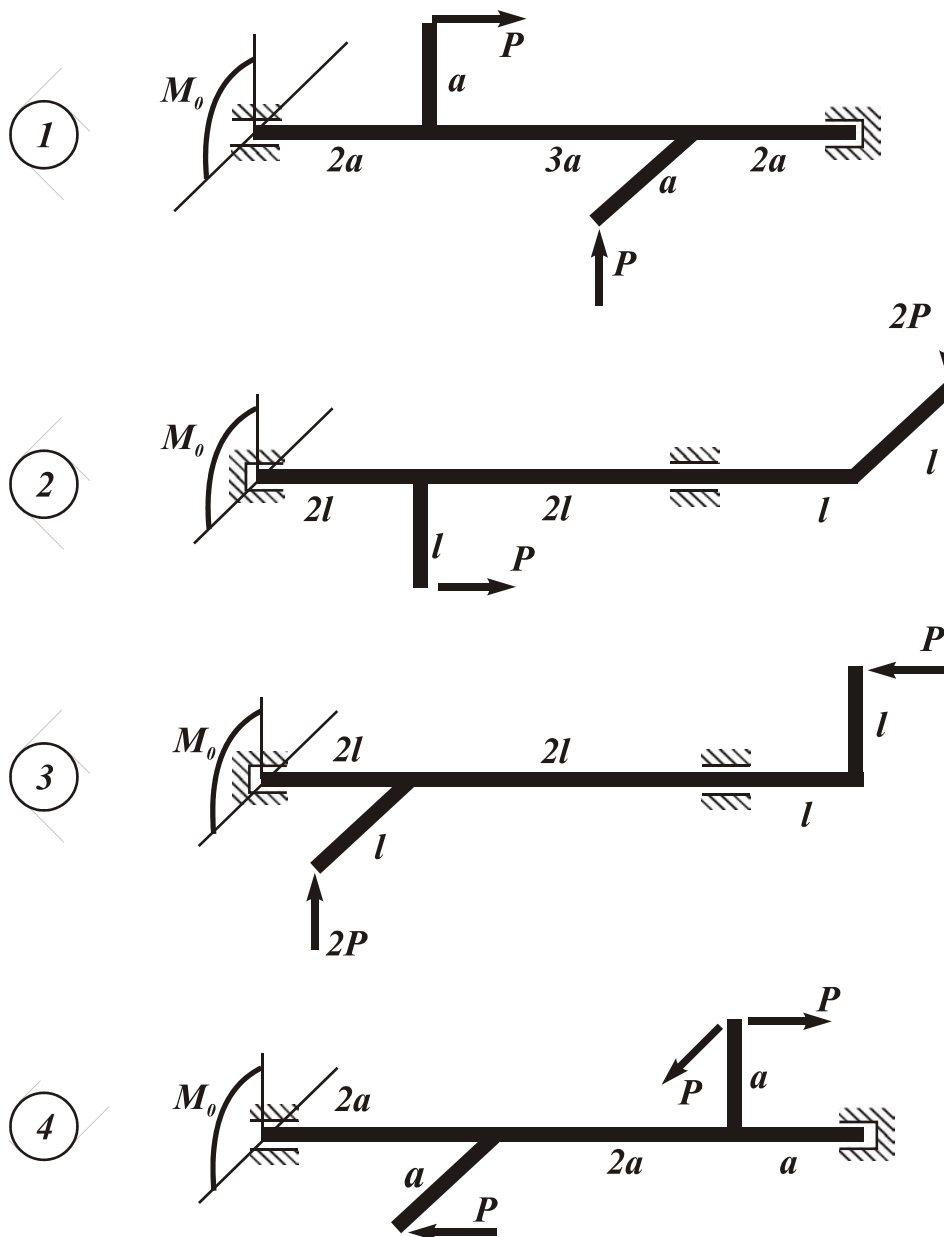


Рис. 4.3

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Таблица 1

Механические свойства сталей

№	Марка стали	Термообработка*	σ_r , МПа	σ_b , МПа	τ_r , МПа	δ , %	E , ГПа	μ
1	10	Н	210	340	140	31	210	0,24
2	20	Н	250	420	160	25	210	0,25
3	30	Н	330	530	180	21	210	0,25
4	30	У	400	600	220	18	210	0,26
5	40	Н	360	600	210	19	210	0,28
6	40	У	400	700	230	17	210	0,28
7	45	Н	360	610	210	17	200	0,29
8	45	У	450	750	270	13	200	0,29
9	45	М35	650	900	370	8	200	0,29
10	45	В48	950	1200	530	7	200	0,29
11	50	Н	380	640	215	14	200	0,29
12	60	Н	410	690	240	12	200	0,29
13	50Г	Н	400	660	230	13	200	0,30
14	50Г	В40	560	820	320	12	210	0,30
15	20Х	М59	630	850	380	11	210	0,29
16	40Х	У	650	800	380	11	210	0,30
17	40Х	М39	900	1100	520	10	210	0,30
18	30ХМ	М	750	950	420	12	220	0,30
19	35ХМ	МНВ270	850	1000	470	12	220	0,30
20	40ХН	Н	460	780	280	11	220	0,30
21	40ХН	М43	1000	1200	570	9	220	0,30
22	40ХФА	М30	750	900	420	10	220	0,30
23	30ХГСА	У	850	1100	480	10	210	0,30
24	12ХН3А	У	700	950	420	11	210	0,30
25	30ХН3А	У	860	1000	440	10	210	0,30
26	40ХНМА	У	950	1100	530	12	210	0,30

* Условные обозначения термообработки:

Н - нормализация; **У** - улучшение; **В** - закалка с охлаждением в воде; **М** - закалка с охлаждением в масле; **НВ** - твердость по Бринеллю; число после **М** и **В** - среднее значение твердости по Роквеллу (HRC).

Таблица 2

Механические свойства для отливок из чугуна

№	Марка чугуна	$\sigma_{вр}$, МПа	$\sigma_{вс}$, МПа	$\tau_{в}$, МПа	δ , %	E , ГПа	μ
1	СЧ10	100	500	150	0,2	75	0,28
2	СЧ15	150	650	240	0,6	85	0,28
3	СЧ18	180	700	260	1,0	90	0,28
4	СЧ20	200	750	280	0,4	110	0,28
5	СЧ25	250	850	300	0,5	120	0,28
6	СЧ30	300	1100	390	0,65	130	0,28
7	СЧ35	350	1200	410	0,9	145	0,28
8	СЧ40	400	1300	460	0,95	160	0,28
9	СЧ45	450	1400	500	1,0	170	0,28

Таблица 3

Механические свойства цветных и титановых сплавов

№	Материал	$\sigma_{0,2}$, МПа	$\sigma_{в}$, МПа	$\tau_{т}$, МПа	δ , %	E , ГПа	μ
<i>Цветные сплавы (твердые)</i>							
1	Д1	240	420	130	15	72	0,33
2	Д6	380	500	210	20	72	0,33
3	Д16	300	460	170	12	72	0,33
4	АМг6	180	350	110	18	71	0,33
5	АМц	180	220	100	18	71	0,33
6	АК6	300	420	170	12	72	0,33
7	В95	460	550	250	12	72	0,33
8	Л68	410	620	230	5	113	0,36
9	БрА5	490	785	270	4	110	0,35
10	БрОФ6	380	685	320	4	110	0,35
<i>Титановые сплавы</i>							
11	ВТ5	750	850	420	12	105	0,35
12	ОТ4	625	800	350	20	105	0,35
13	ВТ20	840	1050	470	11	105	0,35
14	ПТ7М	400	550	220	20	110	0,38
15	ПТ3В	600	800	330	11	110	0,38

Приложение 2**Нормальные линейные размеры от 1 до 950 мм (ГОСТ 6636-69)****Ряд Ra40**

1.0	1.05	1.1	1.15	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9
2.0	2.1	2.2	2.4	2.5	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8
4.0	4.2	4.5	4.8	5.0	5.3	5.6	6.0	6.3	6.7	7.1	7.5
8.0	8.5	9.0	9.5	10	10.5	11	11.5	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22	24	25	26	28	30
32	34	36	38	40	42	45	48	50	53	56	60
63	67	71	75	80	85	90	95	100	105	110	120
125	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	240
250	260	280	300	320	340	360	380	400	420	450	480
500	530	560	600	630	670	710	750	800	850	900	950

Приложение 4

Таблица 1

Механические характеристики сталей

Марка стали	σ_{σ} , МПа	σ_T , МПа	τ_T , МПа	$\sigma_{-1,p}$, МПа	$\sigma_{-1,н}$, МПа	$\tau_{-1,к}$, МПа
30	530	320	180	180	220	120
35	540	330	190	190	240	140
40	600	360	210	210	260	155
45	610	360	210	220	280	165
50	640	380	215	230	290	175
20X	850	630	380	240	380	190
40X	1000	750	380	250	360	225
30XM	950	750	420	370	360	230
40XH	1000	800	390	290	400	240
12XH3A	950	700	420	300	430	240

Таблица 2

Коэффициенты влияния абсолютных размеров деталей

Наименьший из диаметров d (мм), примыкающих к зоне концентрации	Материал детали и вид нагружения			
	Углеродистая сталь		Легированная сталь	
	Изгиб	Кручение	Изгиб	Кручение
	ϵ_{σ}	ϵ_{τ}	ϵ_{σ}	ϵ_{τ}
от 15 до 20 мм	0,95	0,87	0,87	0,89
от 20 до 30 мм	0,91	0,89	0,83	0,89
от 30 до 40 мм	0,88	0,81	0,77	0,81
от 40 до 50 мм	0,84	0,78	0,73	0,78
от 50 до 60 мм	0,81	0,76	0,70	0,76
от 60 до 70 мм	0,78	0,74	0,68	0,74
от 70 до 80 мм	0,76	0,73	0,65	0,73
от 80 до 100 мм	0,73	0,72	0,64	0,72
от 100 до 120 мм	0,70	0,70	0,62	0,70
от 120 до 150 мм	0,68	0,68	0,60	0,60

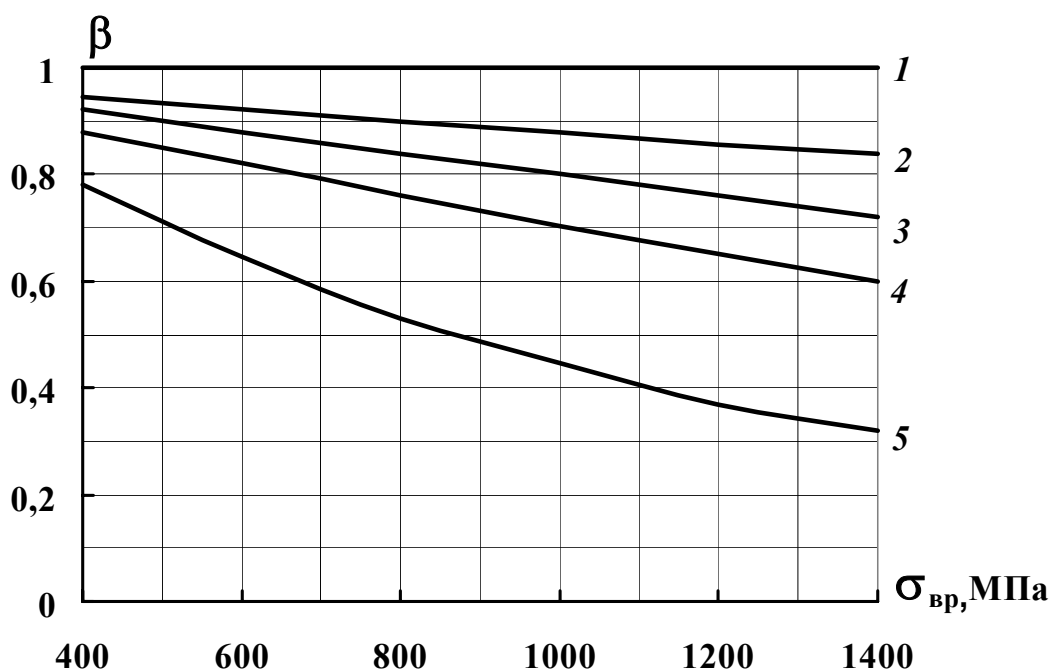


Рис. 1. Влияние состояния поверхности на предел выносливости:

1 - полирование; 2 - шлифование; 3 - чистовое точение;
4 - грубое точение; 5 - наличие окалины

Таблица 3

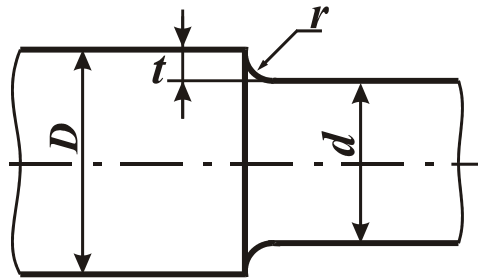
Коэффициенты упрочнения $\beta_{упр}$ при использовании
технологических методов поверхностного упрочнения вала

Виды обработки поверхности	σ_B , МПа (сердцевина)	Значения $\beta_{упр}$ для валов		
		гладких	при $K_\sigma < 1,5$	при $K_\sigma = 1,8 \div 2,0$
Закалка с нагревом ТВЧ	600 - 800	1,3 - 1,4	1,6 - 1,75	2,0 - 2,2
	800 - 1200	1,4 - 1,5	1,75 - 1,9	2,2 - 2,4
Азотирование	800 - 1200	1,1 - 1,25	1,5 - 1,7	1,7 - 1,9
Цементация	700 - 1200	1,2 - 1,4	1,5 - 1,9	1,8 - 2,1
Дробеструйный наклеп	600 - 1500	1,1 - 1,25	1,4 - 1,6	1,65 - 1,9
Обкатка роликами	600 - 1800	1,2 - 1,3	1,5 - 1,7	1,8 - 2,0

Примечание. При кручении следует рассматривать коэффициент K_τ вместо коэффициента K_σ .

Таблица 4

Эффективные коэффициенты концентрации напряжений
вблизи галтели



σ_θ , МПа	$t/r = 1$		$t/r = 2$		$t/r = 3$		$t/r = 5$	
	$r/d=0,02$	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03	0,01	0,02
	K_σ , при изгибе							
500	1,45	1,63	1,81	1,82	1,96	1,96	2,12	2,16
600	1,47	1,67	1,86	1,88	2,02	2,03	2,17	2,23
700	1,50	1,70	1,91	1,94	2,08	2,10	2,23	2,30
800	1,52	1,76	1,96	1,99	2,13	2,16	2,28	2,38
900	1,55	1,80	2,00	2,05	2,19	2,23	2,34	2,45
1000	1,57	1,84	2,06	2,11	2,35	2,30	2,39	2,52
1200	1,62	1,92	2,16	2,23	2,37	2,44	2,50	2,66
K_τ , при кручении								
500	1,35	1,40	1,55	1,54	1,62	1,65	2,18	2,08
600	1,36	1,42	1,58	1,57	1,66	1,68	2,24	2,12
700	1,37	1,44	1,59	1,59	1,69	1,72	2,30	2,17
800	1,37	1,45	1,61	1,61	1,72	1,74	2,37	2,22
900	1,38	1,47	1,62	1,64	1,75	1,77	2,42	2,26
1000	1,39	1,48	1,65	1,66	1,75	1,81	2,48	2,31
1200	1,48	1,52	1,68	1,71	1,86	1,88	2,60	2,40

Таблица 5

Эффективные коэффициенты концентрации напряжений
вблизи кольцевой канавки

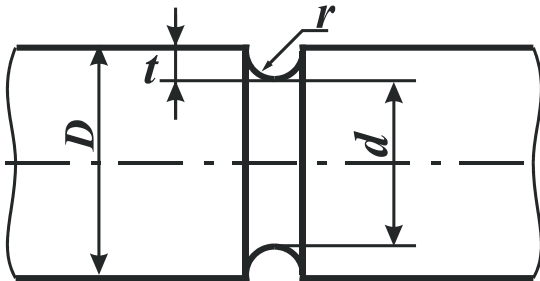
								
σ_θ , МПа	$t/r = 0,5$		$t/r = 1$		$t/r = 2$		$0,5 < t/r < 2$	
	$r/d=0,02$	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03
	K_σ , при изгибе						K_τ , при кручении	
500	1,84	1,77	2,05	1,97	2,25	2,16	1,60	1,52
600	1,89	1,82	2,15	2,03	2,32	2,22	1,69	1,60
700	1,95	1,87	2,17	2,08	2,38	2,28	1,77	1,67
800	2,00	1,92	2,23	2,14	2,45	2,35	1,86	1,75
900	2,06	1,97	2,28	2,19	2,51	2,41	1,94	1,82
1000	2,11	2,02	2,35	2,25	2,58	2,47	2,03	1,90
1200	2,22	2,12	2,49	2,36	2,71	2,59	2,20	2,05
1400	2,34	2,23	2,62	2,48	2,85	2,73	2,32	2,16

Таблица 6

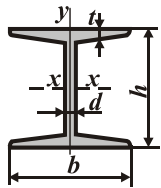
Значения коэффициентов ψ_σ и ψ_τ

σ_θ , МПа	ψ_σ	ψ_τ
500 - 750	0,1 - 0,15	0,05
750 - 1050	0,15 - 0,2	0,05 - 0,1
1050 - 1450	0,25 - 0,3	0,1 - 0,15

Приложение 3

Сталь горячекатанная. Балки двутавровые (по ГОСТ 8239-72)

Таблица 1



h - высота балки;

b - ширина полки;

d - толщина стенки;

t - средняя толщина полки;

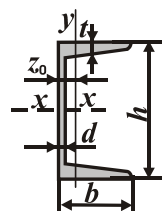
J - момент инерции;

W - момент сопротивления;

i - радиус инерции;

S_x - статический момент полусечения

№ профиля	Размеры, мм				F , см ²	J_x , см ⁴	W_x , см ³	i_x , см	S_x , см ³	J_y , см ⁴	W_y , см ³	i_y , см	Масса 1м, кг
	h	b	d	t									
10	100	55	4,5	7,2	12	198	39,7	4,06	23	17,9	6,49	1,22	9,46
12	120	64	4,8	7,3	14,7	350	58,4	4,88	33,7	27,9	8,72	1,38	11,5
14	140	73	4,9	7,5	17,4	572	81,7	5,73	46,8	41,9	11,5	1,55	13,7
16	160	81	5	7,8	20,2	873	109	6,57	62,3	58,6	14,5	1,7	15,9
18	180	90	5,1	8,1	23,4	1290	143	7,42	81,4	82,6	18,4	1,88	18,4
18a	180	100	5,1	8,3	25,4	1430	159	7,51	89,8	114	22,8	2,12	19,9
20	200	100	5,2	8,4	26,8	1840	184	8,28	104	115	23,1	2,07	21
20a	200	110	5,2	8,6	28,9	2030	203	8,37	114	155	28,2	2,32	22,7
22	220	110	5,4	8,7	30,6	2550	232	9,13	131	157	28,6	2,27	24
22a	220	120	5,4	8,9	32,8	2790	254	9,22	143	206	34,3	2,5	25,8
24	240	115	5,6	9,5	34,8	3460	289	9,97	163	198	34,5	2,37	27,3
24a	240	125	5,6	9,8	37,5	3800	317	10,1	178	260	41,6	2,63	29,4
27	270	125	6	9,8	40,2	5010	371	11,2	210	260	41,5	2,54	31,5
27a	270	135	6	10,2	43,2	5500	407	11,3	229	337	50	2,8	33,9
30	300	135	6,5	10,2	46,5	7080	472	12,3	268	337	49,9	2,69	36,5
30a	300	145	6,5	10,7	49,9	7780	518	12,5	292	436	60,1	2,95	39,2
33	330	140	7	11,2	53,8	9840	597	13,5	339	419	59,9	2,79	42,2
36	360	145	7,5	12,3	61,9	13380	743	14,7	423	516	71,1	2,89	48,6
40	400	155	8,0	13	71,4	18930	947	16,3	540	666	85,9	3,05	56,1
45	450	160	9	14,2	84,7	27696	1231	18,1	708	808	101	3,09	66,5
50	500	170	10	15,2	100	39727	1589	19,9	919	1043	123	3,23	78,5
55	550	180	11	16,5	118	55962	2035	21,8	1181	1356	151	3,39	92,6
60	600	190	12	17,8	138	76806	2560	23,6	1491	1725	182	3,54	108



h - высота швеллера;

b - ширина полки;

d - толщина стенки;

t - средняя толщина полки;

z_0 - расстояние от оси y до наружной грани стенки

J - момент инерции;

W - момент сопротивления;

i - радиус инерции;

S_x - статический момент полусечения;

№ профиля	Размеры, мм				F , см ²	J_x , см ⁴	W_x , см ³	i_x , см	S_x , см ³	J_y , см ⁴	W_y , см ³	i_y , см	z_0 , см	Масса 1м, кг
	h	b	d	t										
5	50	32	4,4	7	6,16	22,8	9,1	1,92	5,59	5,61	2,75	0,954	1,16	4,84
6,5	65	36	4,4	7,2	7,51	48,6	15	2,54	9	8,7	3,68	1,08	1,24	5,9
8	80	40	4,5	7,4	8,98	89,4	22,4	3,16	13,3	12,8	4,75	1,19	1,31	7,06
10	100	46	4,5	7,6	10,9	174	34,8	3,99	20,4	20,4	6,46	1,37	1,44	8,59
12	120	52	4,8	7,8	13,3	304	50,6	4,78	29,6	31,2	8,52	1,53	1,54	10,4
14	140	58	4,9	8,1	15,6	491	70,2	5,6	40,8	45,4	11	1,7	1,67	12,3
14a	140	62	4,9	8,7	17	545	77,8	5,66	45,1	57,5	13,3	1,84	1,87	13,3
16	160	64	5	8,4	18,1	747	93,4	6,42	54,1	63,6	13,8	1,87	1,8	14,2
16a	160	68	5	9	19,5	823	103	6,49	59,4	78,8	16,4	2,01	2	15,3
18	180	70	5,1	8,7	20,7	1090	121	7,24	69,8	86	17	2,04	1,94	16,3
18a	180	74	5,1	9,3	22,2	1190	132	7,32	76,1	105	20	2,18	2,13	17,4
20	200	76	5,2	9	23,4	1520	152	8,07	87,8	113	20,5	2,2	2,07	18,4
20a	200	80	5,2	9,7	25,2	1670	167	8,15	95,9	139	24,2	2,35	2,28	19,8
22	220	82	5,4	9,5	26,7	2110	192	8,89	110	151	25,1	2,37	2,21	21
22a	220	87	5,4	10,2	28,8	2330	212	8,99	121	187	30	2,55	2,46	22,6
24	240	90	5,6	10	30,6	2900	242	9,73	139	208	31,6	2,6	2,42	24
24a	240	95	5,6	10,7	32,9	3180	265	9,84	151	254	37,2	2,78	2,67	25,8
27	270	95	6	10,5	35,2	4160	308	10,9	178	262	37,3	2,73	2,47	27,7
30	300	100	6,5	11	40,5	5810	387	12	224	327	43,6	2,84	2,52	31,8
33	330	105	7	11,7	46,5	7980	484	13,1	281	410	51,8	2,97	2,59	36,5
36	360	110	7,5	12,6	53,4	10820	601	14,2	350	513	61,7	3,1	2,68	41,9
40	400	115	8	13,5	61,5	15220	761	15,7	444	642	73,4	3,23	2,75	48,3