

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Учебные задания
по курсам «Сопроотивление материалов»
и «Механика материалов и конструкций»

Методические указания
к самостоятельной работе студентов

Часть II

A9 - 49

Москва 2004

Методические указания предназначены для выполнения студентами расчетно-графических работ (учебных заданий) по курсам «Сопротивление материалов» и «Механика материалов и конструкций» по темам: «Расчёт статически неопределимых систем», «Расчёт упругих систем на изгиб с кручением». Разработка содержит условия задач, расчетные схемы и таблицы числовых данных, обеспечивающих выдачу индивидуального задания каждому студенту.

В конце каждого задания приводятся контрольные тематические вопросы и задачи, которые могут быть использованы студентами для самостоятельной работы, подготовки к практическим занятиям, зачету или экзамену, а также и преподавателями для проверки уровня знаний студентов.

Методические указания рассмотрены и утверждены
кафедрой «Сопротивление материалов»:
протокол № 6 от 11.06 2004г.

Составители: П.Т. Богдыль, доц.; А.А. Захаров, проф.;
В.Н. Скопинский, проф.

Рецензент: В.Н. Белокуров, проф.

Подготовлено на кафедре «Сопротивление материалов»

Редактор: К.В. Шмат

ЛР № 020407 от 12.02.97

Подписано в печать 12.04.01

Сдано в производство 16.04.01

Формат бум. 60x90/16

Бум. множ.

Усл. печ. л. 2,5

Уч.-изд. л. 2,5

Тем. план 2001г., № 2-02

Тираж 500

Заказ №

РИЦ МГИУ, 115280, Москва, Автозаводская, 16

Требования к выполнению и оформлению расчетно-графических работ

1. Задание рекомендуется выполнять на листах формата 11 (А4) с одной стороны листа.

2. Расчетная схема изображается в масштабе с указанием необходимых геометрических параметров (длин участков, площадей и т.д.) и заданной нагрузки. Направление нагрузки должно соответствовать индивидуальному варианту.

В начале каждой задачи *в соответствии с вариантом задания обязательно привести все исходные данные*: размеры, нагрузки, используемые материалы и их характеристики, необходимые для расчетов (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 преподавателем выдается студентам индивидуальный шифр, согласно которому выбирается расчетная схема упругой системы (фермы, рамы, балки, вала) и исходные данные задачи.

2. При определении линейных размеров поперечных сечений бруса (стержня, балки, вала) полученные значения необходимо округлить в соответствии с рядом нормальных линейных размеров (*Приложение 3*).

Расчётно-графическое задание №4

Расчет статически неопределимых систем

Во всех задачах задания номер расчетной схемы берется по первой цифре индивидуального шифра задания. Номера вариантов исходных данных в таблицах выбираются по последующим цифрам шифра.

При расчете статически неопределимых систем по методу сил необходимо придерживаться следующей последовательности.

1. Определить степень статической неопределимости системы.
2. Выбрать основную систему (О.С.)
3. Получить эквивалентную систему (Э.С.)
4. Записать каноническое уравнение или систему канонических уравнений метода сил и определить коэффициенты этих уравнений.
5. Решить уравнение или систему канонических уравнений.
6. Найти усилия во всех элементах исходной системы (или построить эпюры внутренних силовых факторов).
7. Выполнить проверку расчёта статически неопределимой системы.
8. Выполнить расчёт на прочность.
9. Определить необходимые перемещения заданных сечений системы по указанным направлениям.

Статически неопределимые шарнирно-стержневые системы

1. Выполнить расчёт стержневой системы (рис. 4.1)

1.1. Определить параметр F и соответствующие площади поперечных сечений стержней при заданной нагрузке P .

Геометрические параметры F_i, I_i ($i = 1, 2, 3$) стержней выбираются из табл. 4.1 в соответствии с тремя цифрами шифра индивидуального задания. Каждая из этих цифр, начиная со второй, определяет номер варианта, по которому выбираются геометрические параметры первого, второго и третьего стержней. Нумерация стержней в системе произвольная. Стержни выполнены из одного материала. Допускаемые напряжения для материала стержней: $[\sigma]_p = 60$ МПа, $[\sigma]_c = 140$ МПа.

1.2. Вычислить напряжения в стержнях от силовой нагрузки (P).

1.3. Определить перемещение общего узла системы в направлении, перпендикулярном силе P .

1.4. Определить температурные усилия и напряжения в стержнях при изменении температуры. Величина изменения температуры Δt_i ($i = 1, 2, 3$) каждого стержня выбирается из табл. 4.1 в соответствии с тремя цифрами шифра задания, начиная со второй.

1.5. Используя принцип суперпозиции, найти напряжения в стержнях при термосиловом нагружении, т.е. при совместном действии силы P (п.1.2) и изменении температуры стержней (п.1.4).

При расчётах принять: $P = 10$ кН; $l = 0,5$ м; $E = 100$ ГПа; $\alpha_T = 10^{-5}$ 1/град.

2. Выполнить расчёт стержневой системы (рис. 4.2)

2.1. Из расчёта на прочность определить допускаемое значение силы $P_{доп}$. Балку считать абсолютно жёсткой. Геометрические параметры стержней F_i , l_i ($i = 1, 2$) выбираются по табл. 4.1 в соответствии с двумя цифрами шифра задания, начиная со второй. Стержни выполнены из одного материала.

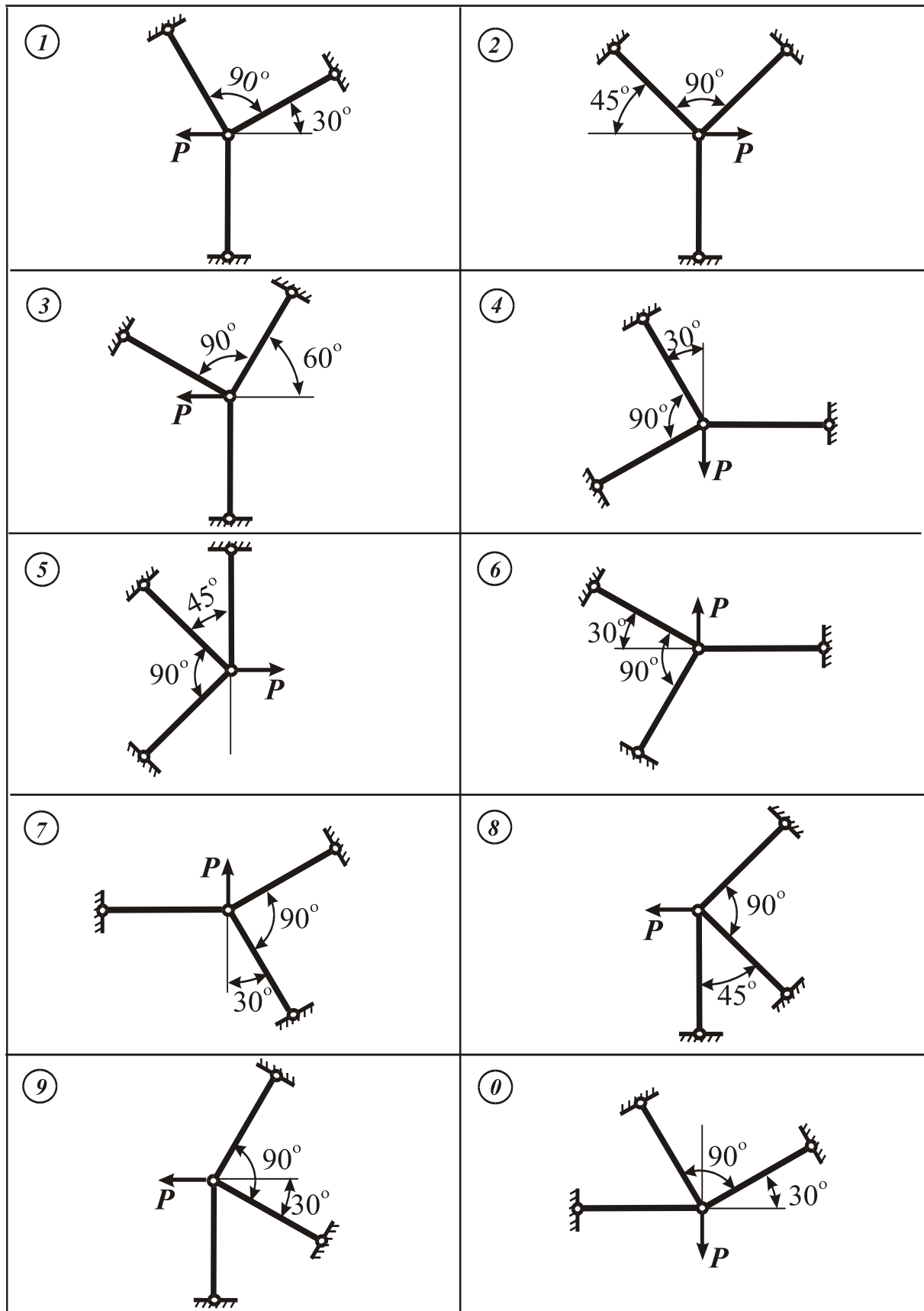
2.2. Определить угол поворота жёсткой балки.

При расчетах принять: $\sigma_T = 360$ МПа; $n_T = 2$; $F = 1$ см²; $a = 0,5$ м; $l = 0,8$ м;
 $E = 200$ ГПа.

Таблица 4.1

Геометрические параметры и изменение температуры стержней

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
F_i	$1,2F$	$1,4F$	$1,6F$	$1,8F$	$2,0F$	$2,2F$	$2,4F$	$2,6F$	$2,8F$	$3,0F$
l_i	$2,8l$	$2,4l$	$2,2l$	$1,4l$	$1,2l$	$2,6l$	$1,8l$	$2,5l$	$2,0l$	$1,5l$
$\Delta t_i, ^\circ\text{C}$	30	40	50	60	0	- 30	- 40	- 50	- 60	0



Puc. 4.1

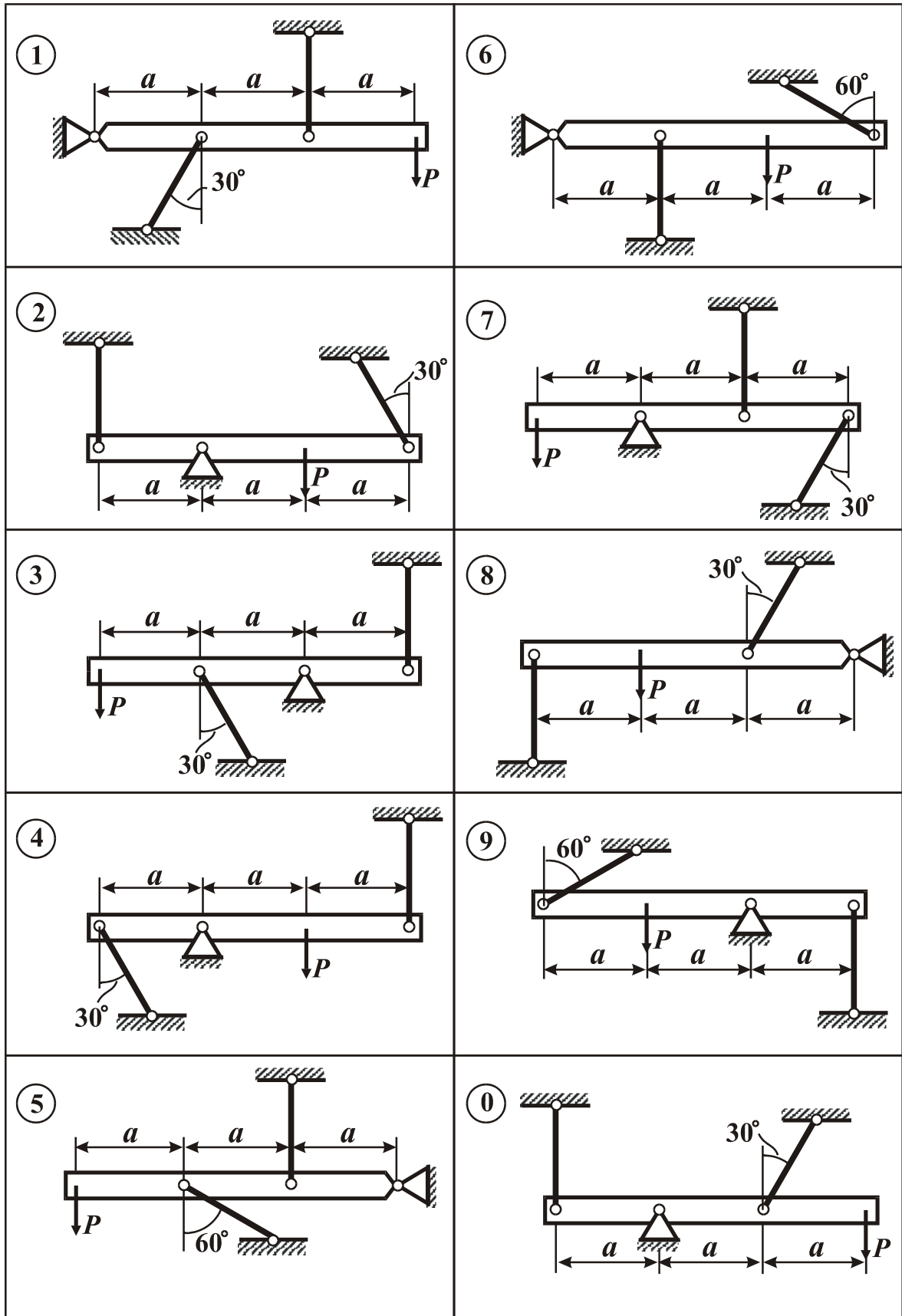


Рис. 4.2

Статически неопределимые балки и рамы

Нагрузки и длины участков балок и рамы выбираются из табл. 4.2–4.4 в соответствии с шифром задания.

3. Выполнить расчет балки постоянного сечения (рис. 4.3)

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

3.2. Из расчёта на прочность определить размеры прямоугольного поперечного сечения ($b \times h$) балки.

3.3. Определить прогиб сечения K .

При расчетах принять: $h = 2b$; $\sigma_T = 650$ МПа; $n_T = 2,5$; $E = 200$ ГПа.

4. Выполнить расчет балки постоянного сечения (рис. 4.4)

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

4.2. Из расчёта на прочность по сортаменту прокатных профилей (см. Приложение 1) подобрать номер двутавра.

4.3. Определить угол поворота сечения A .

При расчетах принять: $[\sigma] = 160$ МПа; $E = 200$ ГПа.

Длина участка l_1 и значение силы P

Таблица 4.2

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$l_1, \text{ м}$	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7
$P, \text{ кН}$	17	16	15	14	13	11	12	10	9	8

Длина участка l_2 и значение момента M_0

Таблица 4.3

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$l_2, \text{ м}$	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7
$M_0, \text{ кН}\cdot\text{м}$	5,8	5,6	5,4	5,2	5,0	4,8	4,6	4,4	4,2	4,0

Длина участка l_3 и интенсивность нагрузки q

Таблица 4.4

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$l_3, \text{ м}$	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7
$q, \text{ кН/м}$	20	18	16	14	12	10	8	6	5	4

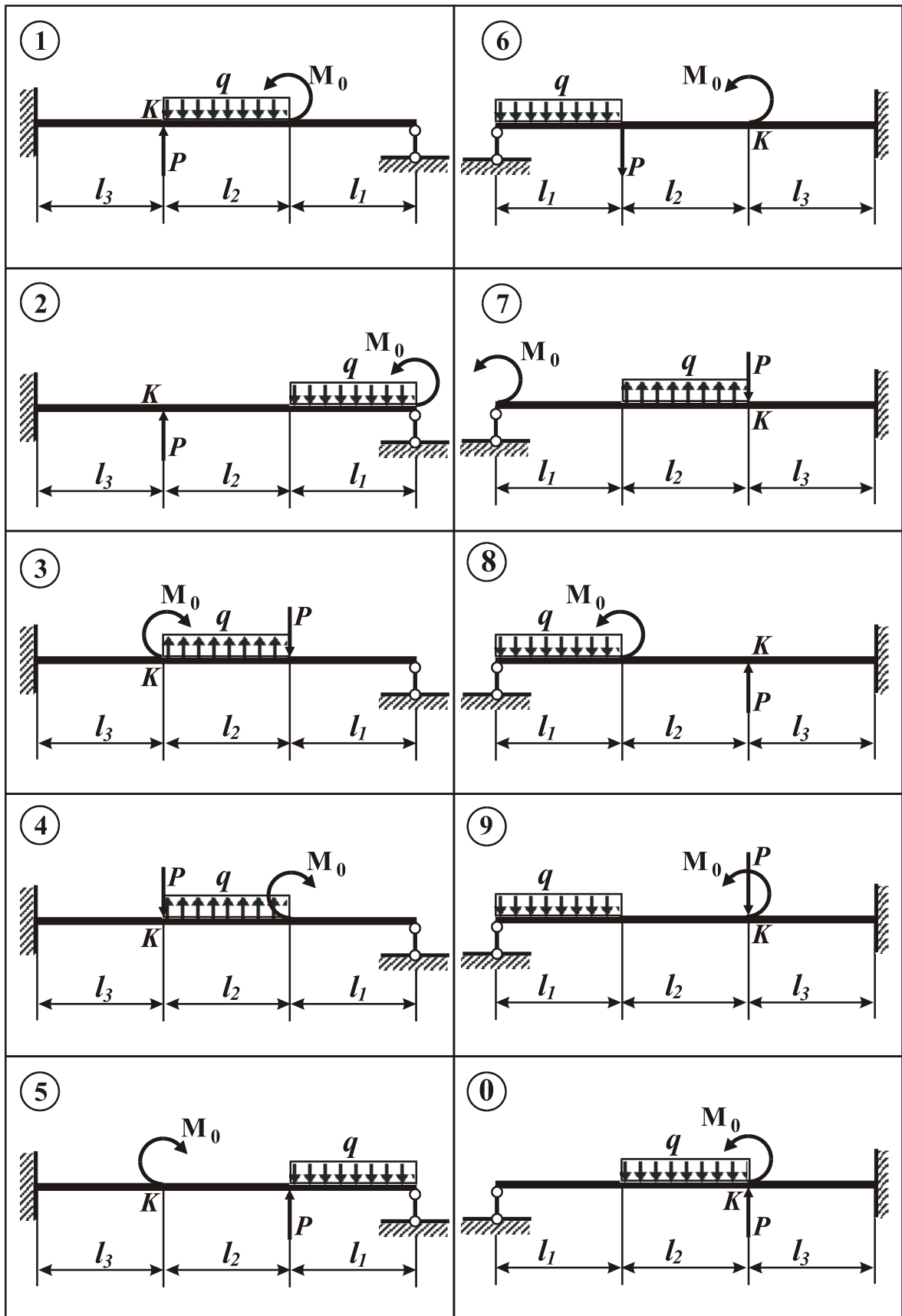
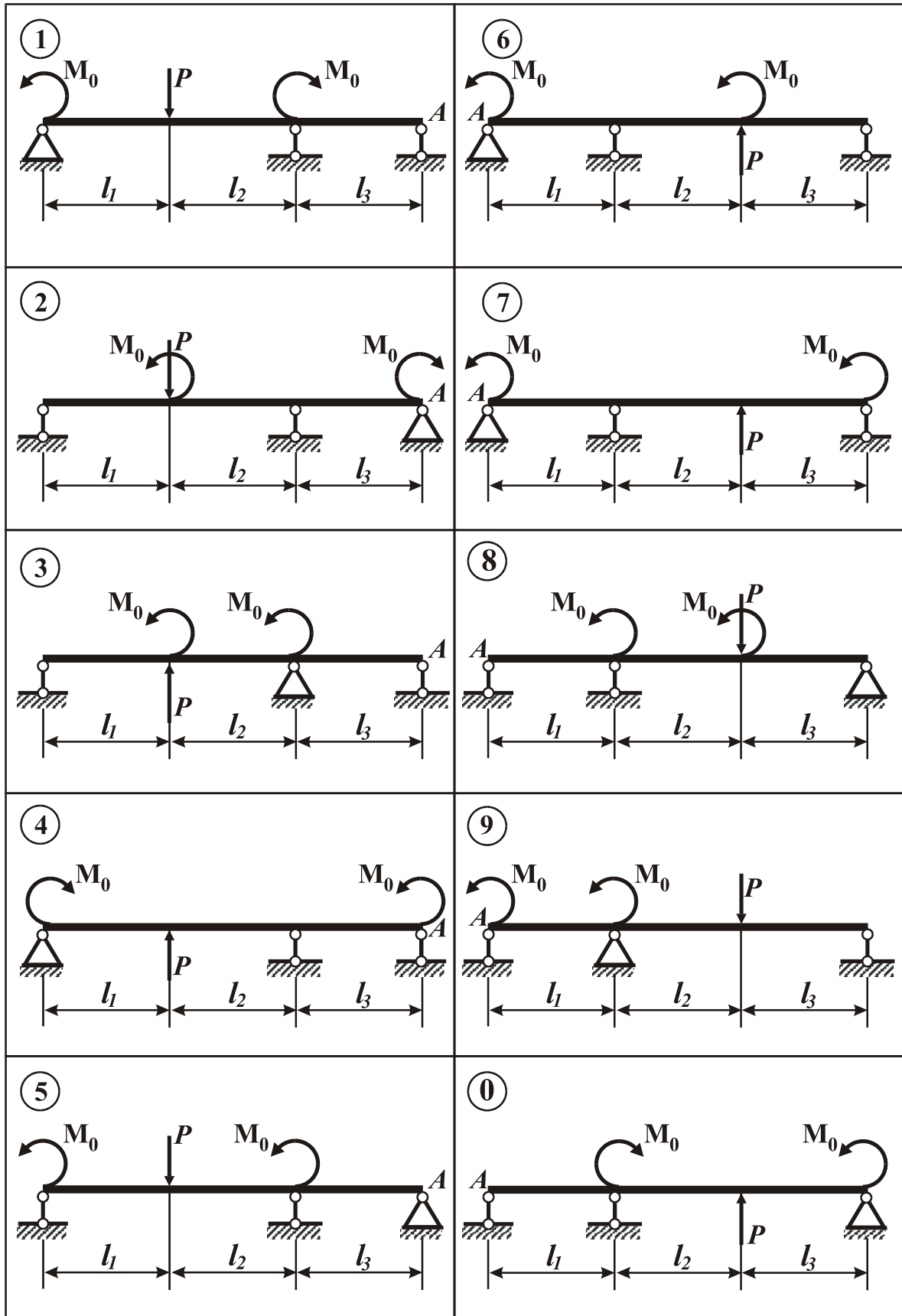


Рис. 4.3



Puc. 4.4

5. Выполнить расчет рамы (рис. 4.5)

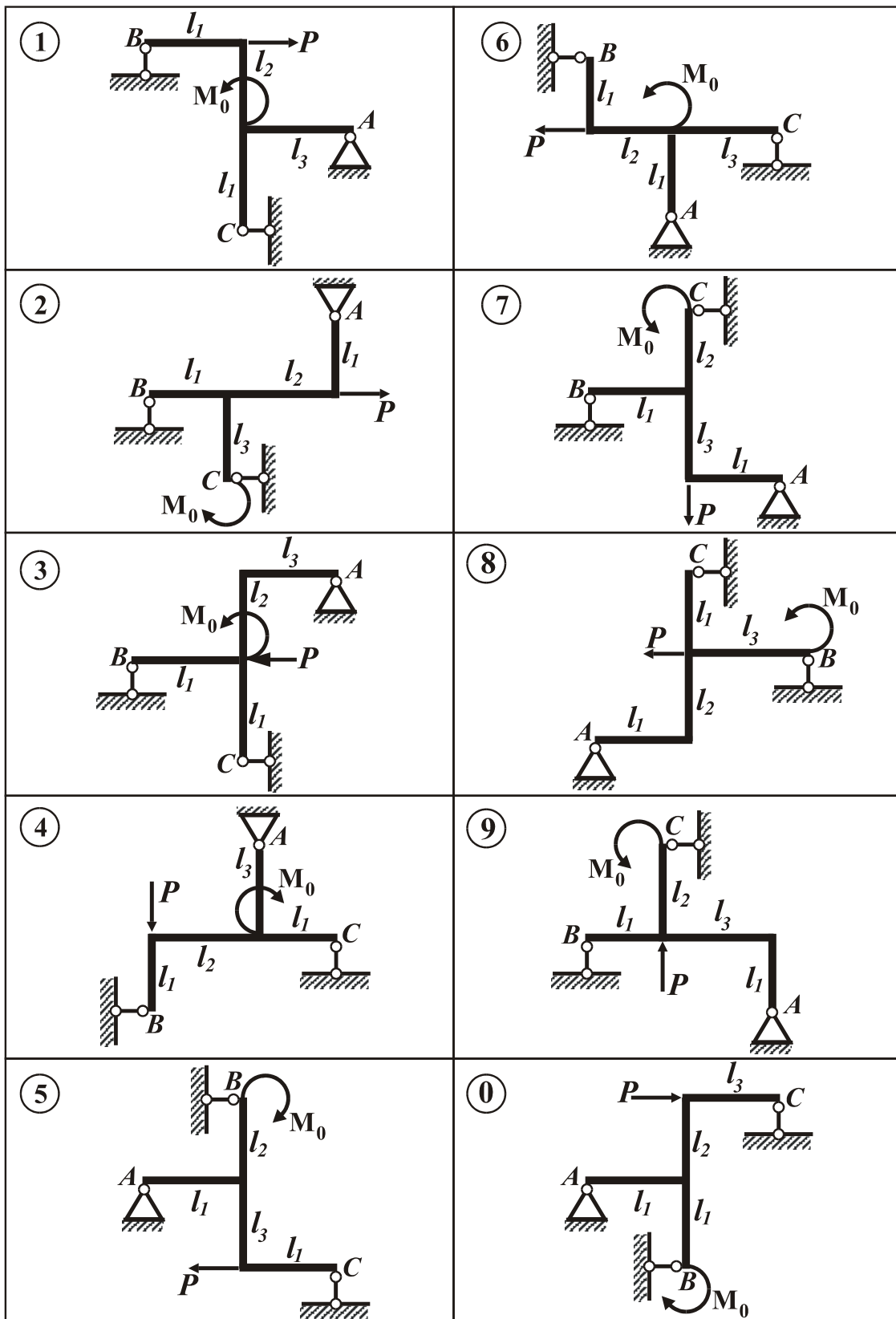
Рама состоит из участков различной жёсткости: горизонтальные участки выполнены из одинарного швеллера, вертикальные участки - из двойного швеллера (того же номера).

5.1. Построить суммарную эпюру изгибающих моментов M .

5.2. Из расчёта на прочность по сортаменту прокатных профилей выбрать номер швеллера (см. Приложение 1).

5.3. Определить угол поворота сечения A .

При расчетах принять: $[\sigma] = 180$ МПа; $E = 200$ ГПа.



Puc. 4.5

Примерные тематические вопросы к заданию № 4

1. Какая система называется статически неопределимой? Как определяется степень статической неопределимости такой системы?
2. Какие связи называются необходимыми, а какие лишними (дополнительными)?
3. В чем заключается процедура расчёта статически неопределимых систем по методу сил?
4. Что называется основной системой в методе сил? Показать на примерах многообразие основных систем.
5. Что называется эквивалентной системой в методе сил? На примере показать эквивалентные системы, соответствующие различным основным системам.
6. Каков физический смысл канонических уравнений метода сил? Показать на примерах два раза статически неопределимую систему - стержневую систему, балку, раму.
7. Как определяются коэффициенты канонических уравнений для стержневой системы, балки или рамы? Каков физический смысл этих коэффициентов?
8. Какие способы можно применять для получения суммарных усилий в стержневой системе?
9. Какие способы можно применять для построения суммарной эпюры изгибающих моментов в балках и рамах?
10. Каким образом осуществляется проверка расчета статически неопределимых систем?
11. Как выполняется расчет на прочность статически неопределимых стержневых систем, балок и рам?
12. Каким образом определяются перемещения в статически неопределимых системах?
13. Как учитывается изменение температуры при расчете статически неопределимых стержневых систем? Что такое температурные напряжения?

Дополнительные задачи к заданию № 4

1. Для стержневых систем (рис. 4.6, 4.7) определить усилия в стержнях.

Геометрические параметры стержней выбираются по данным табл. 4.1. Расчёт на прочность, определение перемещений, температурных напряжений осуществляется по указанию преподавателя.

2. Для балок (рис. 4.8) построить эпюры Q и M . Сделать проверку правильности построения эпюры M . Определить опасное сечение балки.

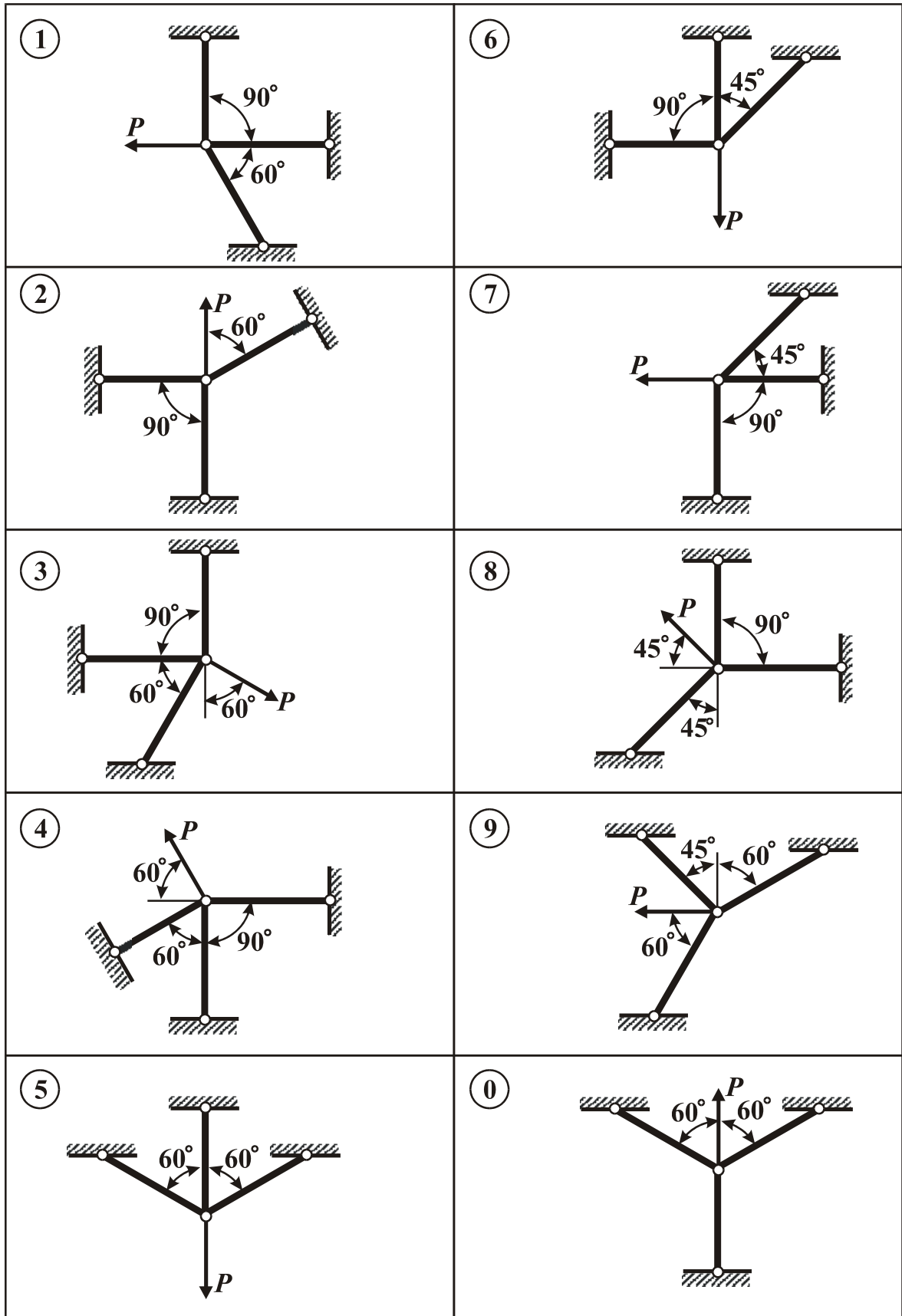
3. Для рам (рис. 4.9) построить эпюру M . Сделать проверку. Определить опасное сечение.

4. Для балок и рам (рис. 4.10) построить эпюры Q и M . Сделать проверку правильности построения эпюры M . Определить опасное сечение балки (рамы).

Нагрузка и длины участков рамы выбираются из табл. 4.3 - 4.6.

В задачах пп.2 - 4 расчёт на прочность и определение перемещений осуществляется по указанию преподавателя.

Дополнительные задачи могут использоваться студентами для самостоятельной подготовки к экзамену, а также и преподавателями для контроля знаний студентов по данной теме курса.



Puc. 4.6

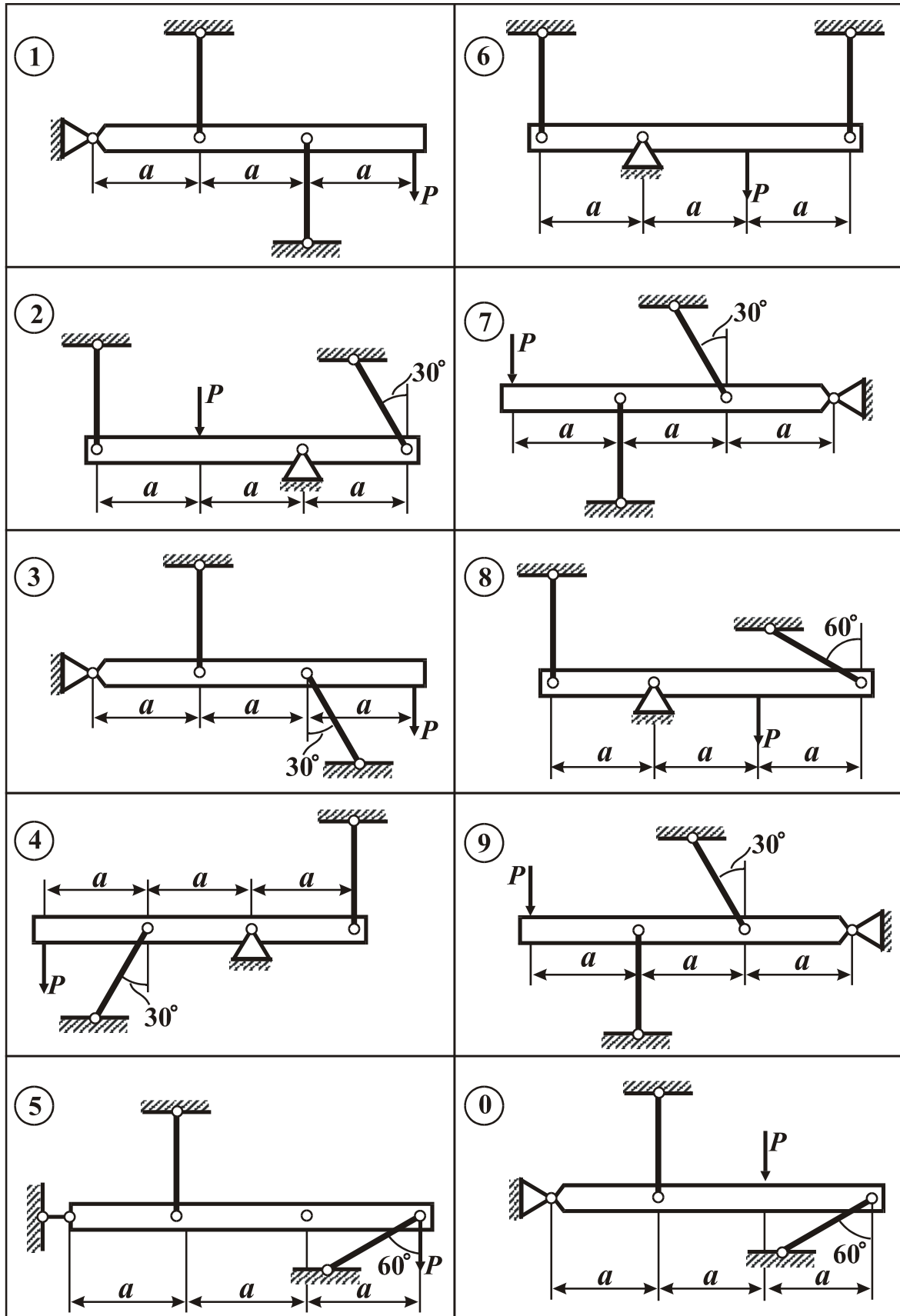


Рис. 4.7

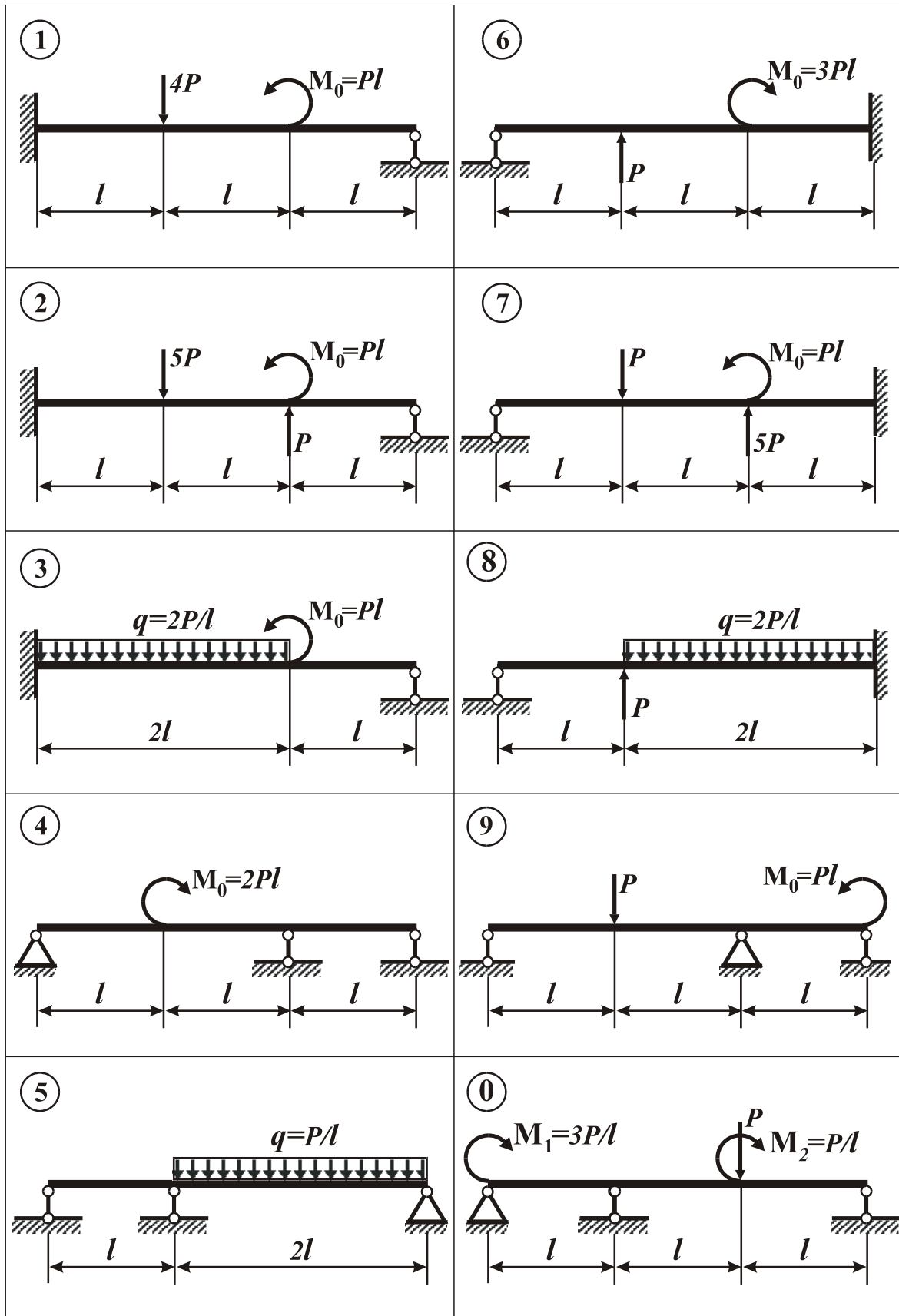
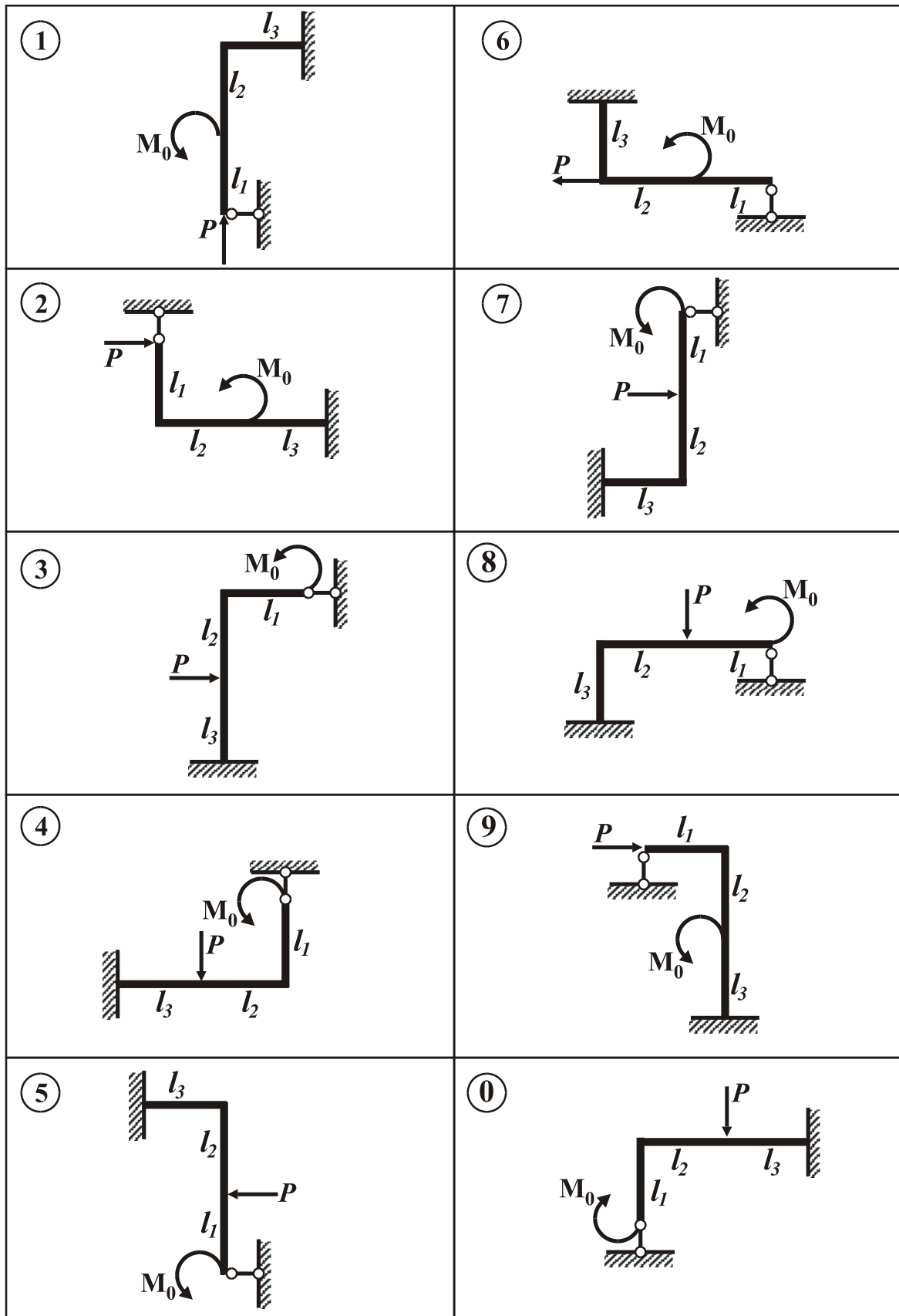


Рис. 4.8



Puc. 4.9

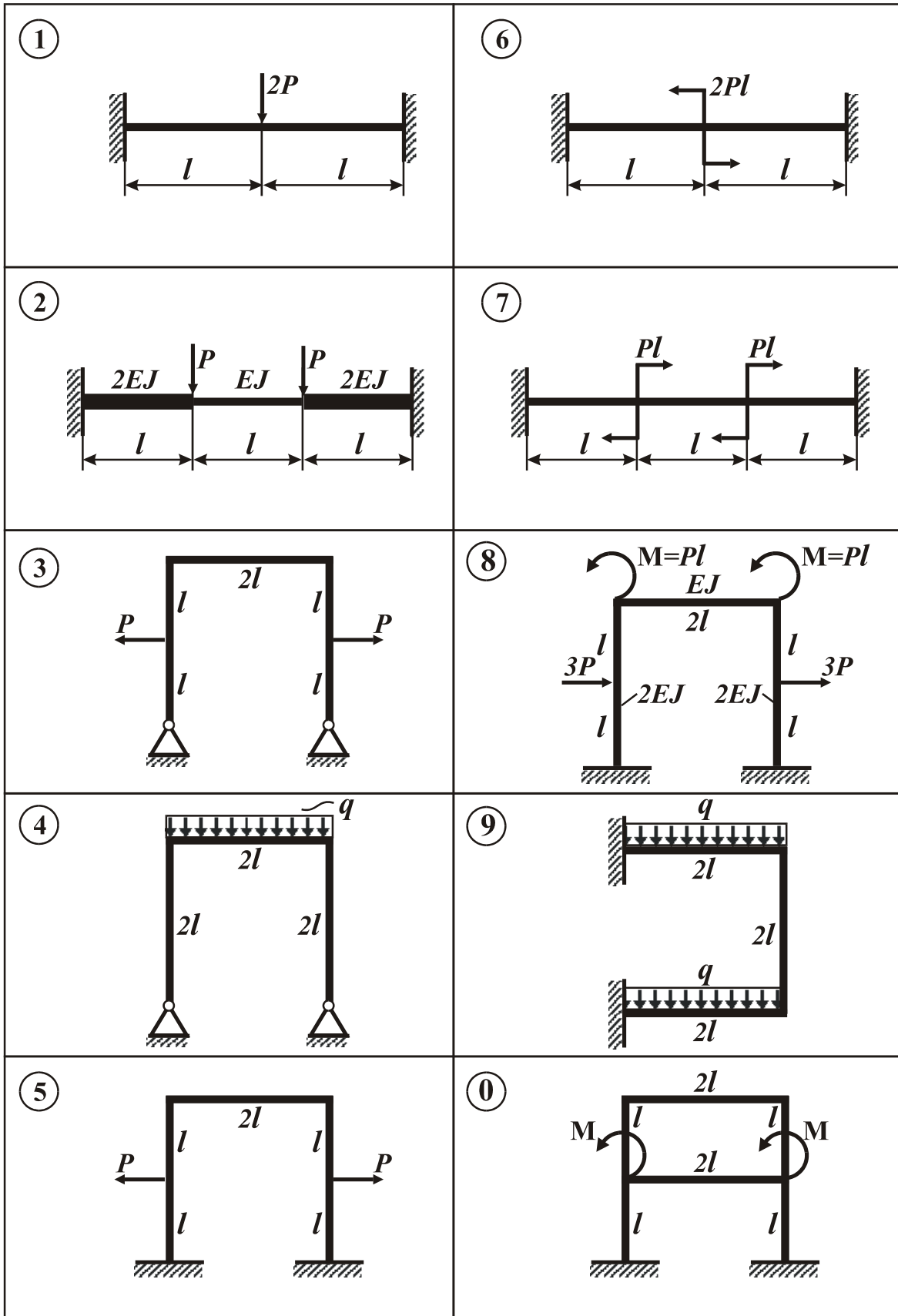


Рис. 4.10

Расчетно-графическое задание № 5

Расчет упругих систем на изгиб с кручением

1. Выполнить расчет пространственной рамы (рис. 5.1)

Номер расчетной схемы берется по первой цифре индивидуального шифра задания. Номера вариантов исходных данных из табл. 5.1 – 5.4 выбираются по последующим цифрам шифра.

1.1. Построить эпюры изгибающих и крутящих моментов.

1.2. Определить опасное сечение на каждом участке рамы.

Показать внутренние силовые факторы в опасном сечении и напряженное состояние в предположительно опасных точках сечения.

1.3. Из расчёта на прочность определить размеры поперечных сечений на участках рамы:

а) диаметр D круглого сечения на участках 1 и 2 ;

б) диаметры D и d кольцевого сечения на участке 3 ;

в) стороны b и h для прямоугольного сечения на участке 4 .

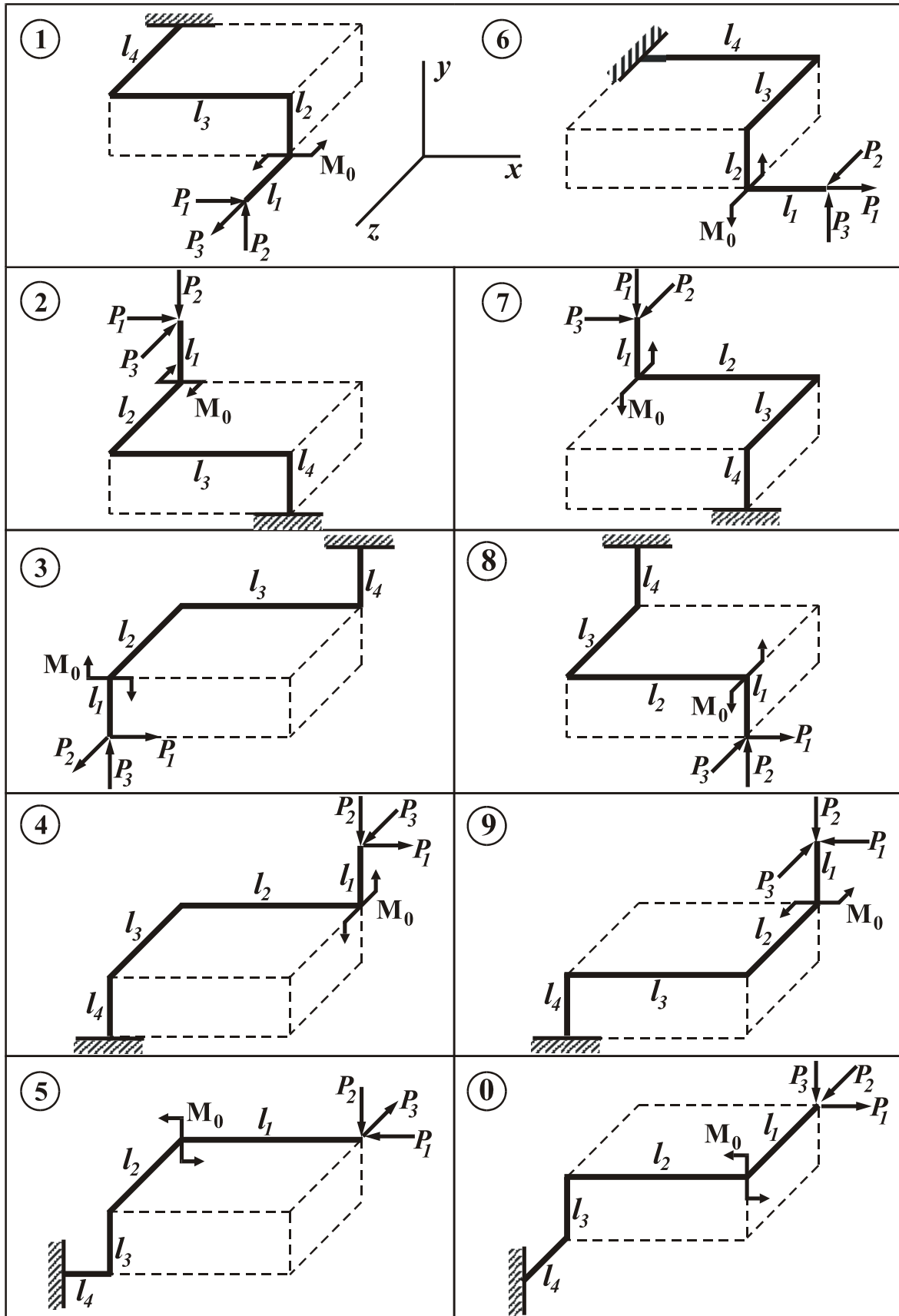
Примечание 1. Прямоугольное сечение расположить рациональным образом по отношению к действующим моментам. При расчете прямоугольного сечения воспользоваться данными из *Приложения 2*.

Примечание 2. При определении размеров сечений полученные значения округлить в соответствии с рядом нормальных линейных размеров (см. *Приложение 3*).

1.4. Определить значения нормальных, касательных и эквивалентных напряжений в опасной точке каждого сечения.

1.5. Определить заданное перемещение сечения K рамы (δ_x , δ_y или δ_z , см. табл. 5.4).

При расчётах принять: $E = 200$ ГПа; $G = 80$ ГПа.



Puc. 5.1

Таблица 5.1

Значения длины участка l_1 и силы P_1

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
l_1 , м	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3
P_1 , кН	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1

Таблица 5.2

Значения длины участка l_2 и силы P_2

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
l_2 , м	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
P_2 , кН	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1

Таблица 5.3

Значения длин участков l_3 , l_4 и нагрузки P_3 , M_0

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
l_3 , м	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8
P_3 , кН	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1
l_4 , м	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3
M_0 , кН·м	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5

Таблица 5.4

Параметры сечений, допускаемые напряжения, искомые перемещения

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d/D	0,8	0,75	0,85	0,9	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,7
h/b	1,25	1,5	1,75	2,0	2,25	2,5	2,75	3,0	3,25	3,5
$[\sigma]_p$, МПа	80	90	70	100	110	120	60	130	140	150
$[\sigma]_c$, МПа	160	180	140	200	220	240	120	260	280	300
δ	δ_x	δ_y	δ_z	δ_x	δ_y	δ_z	δ_x	δ_y	δ_z	δ_x

2. Выполнить расчет вала при статическом нагружении (рис. 5.2)

На сопряжённые детали, расположенные на валу, действуют нагрузки: 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 против часовой стрелки.

Исходные данные для расчета выбираются из табл. 5.5 - 5.7 в соответствии с шифром задания, начиная с первой цифры.

Характеристики стали выбираются из табл.1 *Приложения 4*.

2.1. Получить расчётную схему вала, считая одну из опор шарнирно-подвижной в осевом направлении, а другую - шарнирно-неподвижной. Определить величину и направление момента M_0 из условия равновесия вала.

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

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

Показать схематично внутренние силовые факторы в опасном сечении и напряженное состояние в опасной точке этого сечения.

2.4. Определить диаметр вала из расчета на прочность, используя соответствующую теорию прочности.

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

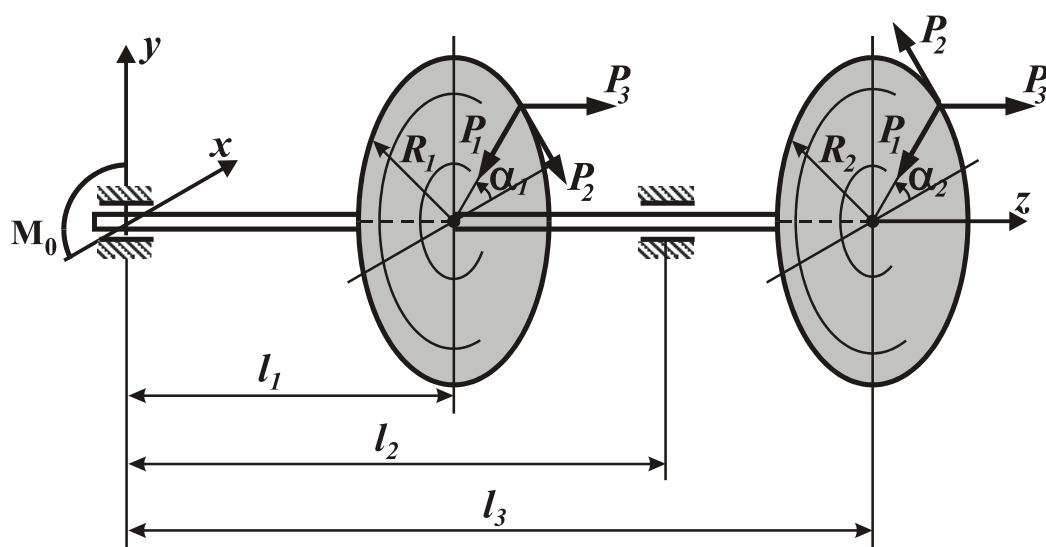


Рис. 5.2

Таблица 5.5

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 5.6

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 5.7

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	12XH3	45	35

3. Выполнить расчет вала при циклически изменяющихся напряжениях

Провести расчет на усталостную прочность для вала, статический расчет которого выполнен в предыдущем разделе.

Принимается, что при вращении вала нормальные напряжения σ и касательные напряжения τ в опасном сечении изменяются по гармоническому закону $\sigma(t) = \sigma_m + \sigma_a \cdot \sin \omega t$, $\tau(t) = \tau_m + \tau_a \cdot \sin \omega t$ 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 табл. 5.8, 5.9.

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

3.2. Определить расчетные параметры циклов (координаты рабочих точек в диаграммах предельных амплитуд) для нормальных напряжений (σ_a^* , σ_m^*) и касательных напряжений (τ_a^* , τ_m^*).

Учесть влияние на усталостную прочность вала концентрации напряжений, абсолютных размеров и качества обработки поверхности вала. (При расчёте использовать данные таблиц 2-5 и рис. 1 *Приложения 4.*)

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

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 выбираются как наименьшее значение из коэффициентов запаса усталостной прочности и по пределу текучести.

3.4. Определить графическим способом коэффициенты запаса усталостной прочности n_σ и n_τ , используя схематизированные диаграммы предельных амплитуд для материала при изгибе и при кручении, а также данные из табл. 1, 6 *Приложения 4.*

Значения коэффициентов запаса, полученные графоаналитическим способом, сравнить с соответствующими расчетными значениями из п.3.3.

3.5. Вычислить общий коэффициент запаса усталостной прочности n_R .

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

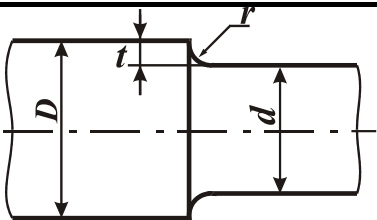
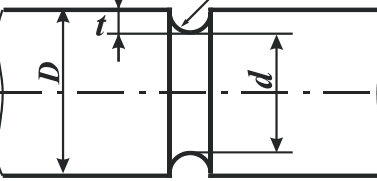
Таблица 5.8

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 5.9

Параметры концентраторов

Вариант	Тип концентратора	t/r	r/d
1	 <p>Галтель</p>	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	 <p>Кольцевая канавка</p>	2,0	0,03
7		1,0	0,02
8		0,5	0,03
9		1,0	0,03
0		0,5	0,02

Примерные тематические вопросы к заданию № 5

1. Как определить опасное сечение рамы или вала при одновременном изгибе с кручением?
2. Как определяется положение опасной точки в круглом или кольцевом поперечном сечении рамы или вала при изгибе с кручением? Какое напряженное состояние имеет место в этой точке?
3. Как определяются величины нормальных и касательных напряжений в опасной точке вала круглого поперечного сечения при изгибе с кручением?
4. Какой порядок нахождения опасной точки при изгибе с кручением бруса прямоугольного поперечного сечения?
5. Какое напряженное состояние получается в потенциально опасных точках бруса прямоугольного сечения? Какие формулы используются для определения нормальных и касательных напряжений в этих точках?
6. Объяснить, как нужно расположить брус прямоугольного сечения при различных значениях изгибающих моментов M_x и M_y .
7. Что называется главными напряжениями? Главными площадками? Какие виды напряжённого состояния в точке различаются?
8. Что называется эквивалентным напряжением? Как записывается условие прочности при сложном напряженном состоянии?
9. Как определяются эквивалентные напряжения по III - V теориям прочности? Какова область применимости каждой из этих теорий прочности?
10. Как определяются эквивалентные напряжения по III-V теориям прочности при изгибе с кручением для вала круглого сечения?
11. Что понимается под усталостной прочностью деталей? Что такое предел выносливости материала?
12. Какие основные параметры цикла рассматриваются при повторно-переменном изменении напряжений? Что понимается под коэффициентом асимметрии цикла? Какие циклы называются симметричным и пульсационным?
13. Как влияет концентрация напряжений на усталостную прочность деталей? Что называется эффективным коэффициентом концентрации напряжений? Какие конструктивные способы применяются для снижения концентрации напряжений?

14. Каким образом влияют абсолютные размеры поперечного сечения деталей на усталостную прочность?

15. Каким образом влияет состояние поверхности детали на усталостную прочность? Какие технологические методы поверхностного упрочнения деталей применяются для повышения их усталостной прочности?

16. Как находится рабочая точка цикла на диаграмме предельных амплитуд? Как определяется коэффициент запаса усталостной прочности детали по схематизированной диаграмме?

Дополнительные задачи к заданию № 5

Расчет пространственных рам (рис. 5.3)

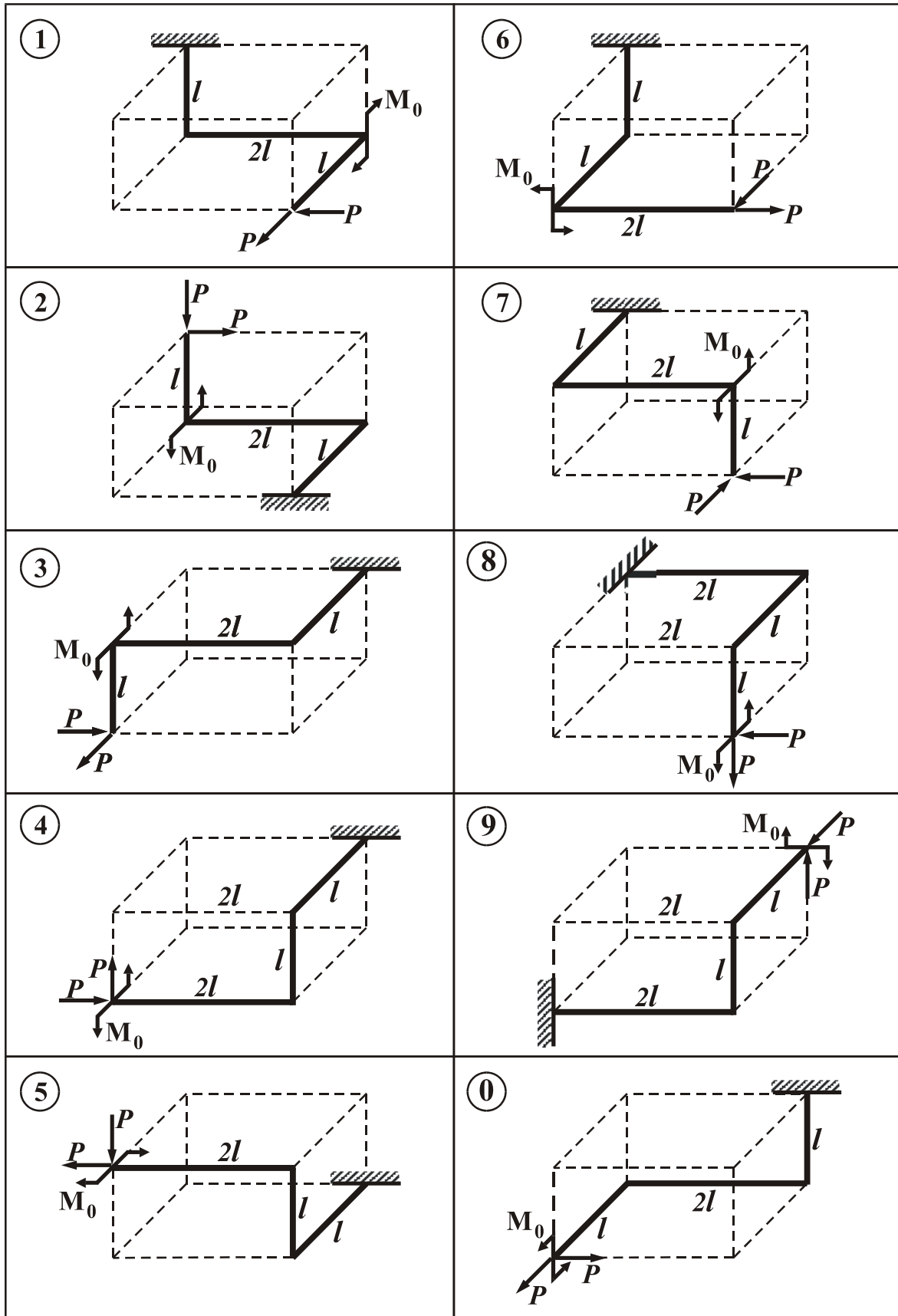
1. Построить эпюры изгибающих и крутящих моментов.
2. Показать схематично внутренние силовые факторы в опасном сечении (форма сечения задается преподавателем).
3. Показать схематично напряженное состояние в опасных точках.
4. Определить размеры поперечного сечения из условия прочности.
5. Найти заданное перемещение сечения (по указанию преподавателя).

При расчетах принять: $[\sigma] = 160$ МПа; $l = 1$ м; $P = 20$ кН; $M_0 = 8$ кН·м;
 $E = 200$ ГПа; $G = 80$ ГПа.

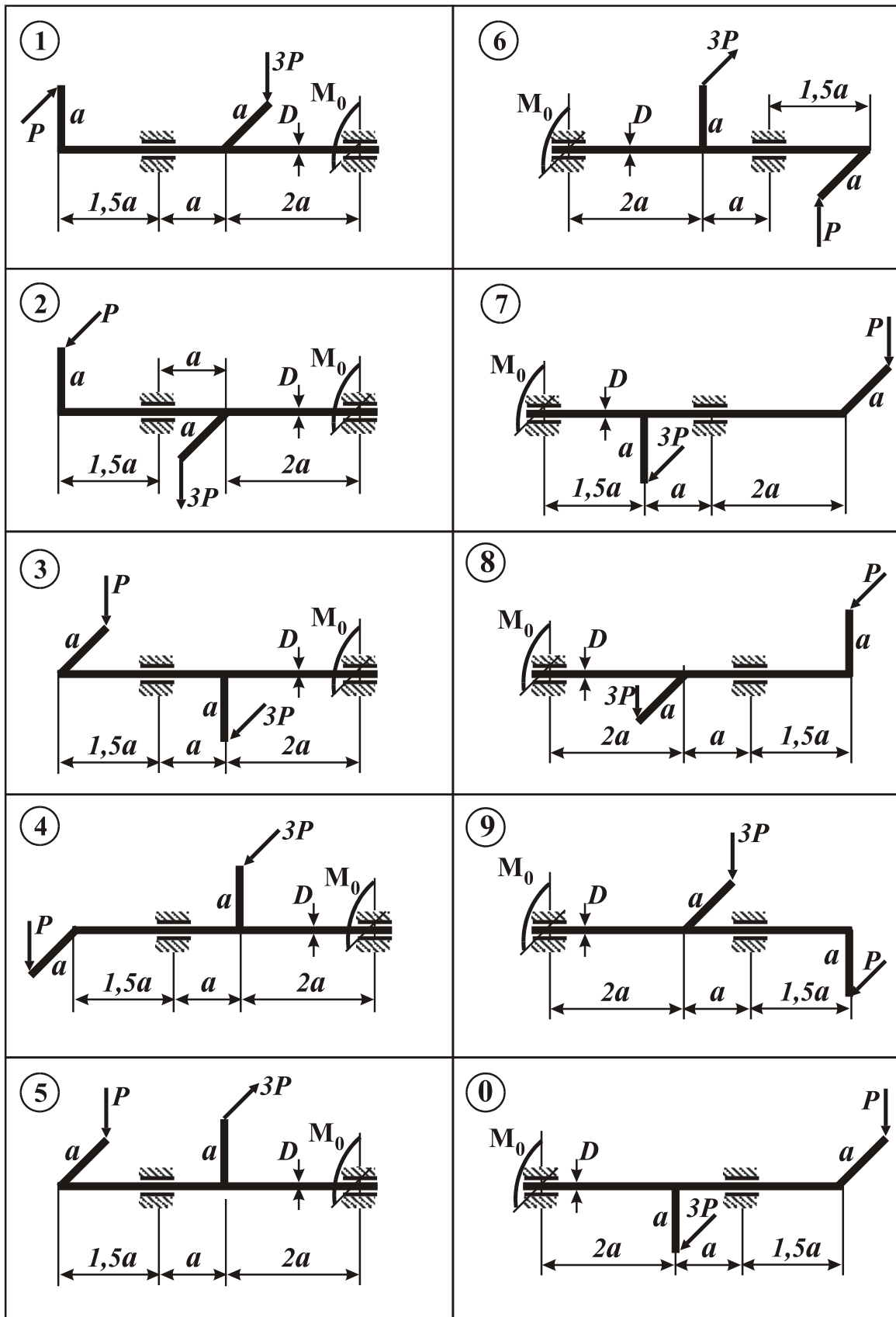
Расчет вала (рис. 5.4)

1. Построить эпюры изгибающих и крутящих моментов.
2. Показать схематично внутренние силовые факторы в опасном сечении вала.
3. Показать схематично напряженное состояние в опасной точке.
4. Определить допустимое значение параметра нагрузки $P_{дон}$.

При расчетах принять: $\sigma_T = 360$ МПа; $n_T = 2$; $a = 10$ см; $D = 5$ см.

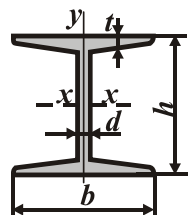


Puc. 5.3



Puc. 5.4

Сталь горячекатаная. Балки двутавровые (по ГОСТ 8239-72):



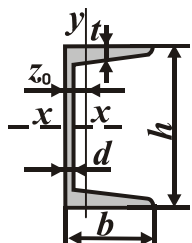
h - высота балки;
 b - ширина полки;
 d - толщина стенки;
 t - средняя толщина полки;

I - момент инерции;
 W - момент сопротивления;
 i - радиус инерции;
 S_x - статический момент полусечения

№ проф.	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

Сталь горячекатаная. Швеллеры (по ГОСТ 8240-72):

Таблица 2



h - высота швеллера;
 b - ширина полки;
 d - толщина стенки;
 t - средняя толщина полки;
 z_0 - расстояние от оси y до наружной грани стенки

I - момент инерции;
 W - момент сопротивления;
 i - радиус инерции;
 S_x - статический момент полусечения;

№ проф.	Размеры, мм				F , см ²	$J_{x,y}$, см ⁴	$W_{x,y}$, 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

Приложение 2

**Коэффициенты для определения геометрических характеристик
прямоугольного сечения бруса при кручении**

$W_k = \alpha ab^2$ - момент сопротивления сечения при кручении;

$I_k = \beta ab^3$ - момент инерции сечения при кручении;

a, b - большая и малая стороны прямоугольного сечения.

Значения коэффициентов α, β в зависимости от отношения сторон (a/b) приведены в таблице.

Значения коэффициентов для прямоугольного сечения

a/b	1.0	1.5	1.75	2.0	2.5	3.0	4.0	6.0	8.0	10.0	∞
α	0.208	0.231	0.239	0.246	0.258	0.267	0.282	0.299	0.307	0.313	0.333
β	0.141	0.196	0.214	0.229	0.249	0.263	0.281	0.299	0.307	0.313	0.333
η	1.0	0.859	0.820	0.795	0.766	0.753	0.745	0.743	0.742	0.742	0.742

Для определения коэффициентов α, β можно воспользоваться и приближёнными формулами ($t = b/a, t \leq 1$):

$$\alpha = \frac{1}{3 + 1,8t}; \quad \beta = \frac{1}{3 + 2(t + t^2)}.$$

Приложение 3

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_B , МПа	σ_T , МПа	τ_T , МПа	$\sigma_{-1,p}$, МПа	$\sigma_{-1,и}$, 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
12XН3А	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

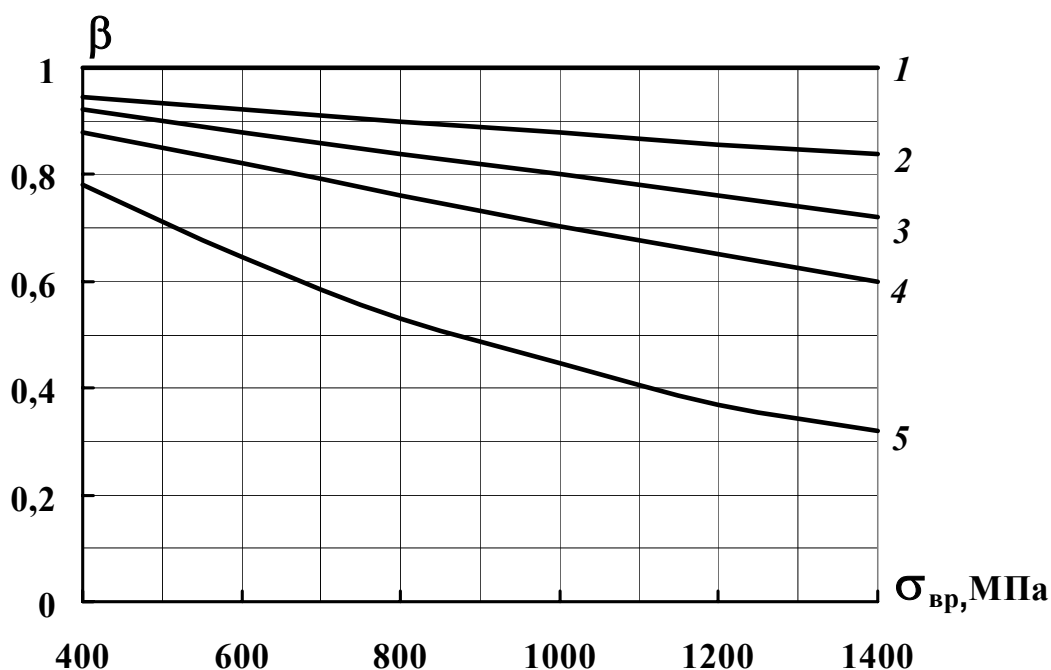


Рис. 1. Влияние состояния поверхности на предел выносливости:
 1 – полирование; 2 – шлифование; 3 – чистовое точение;
 4 – грубое точение; 5 – наличие окалины

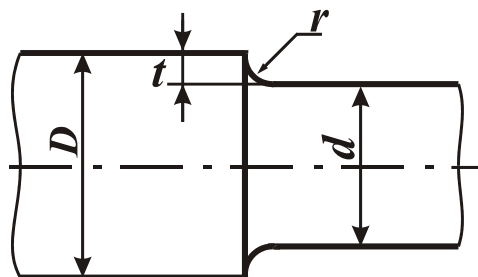
Таблица 3

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 .

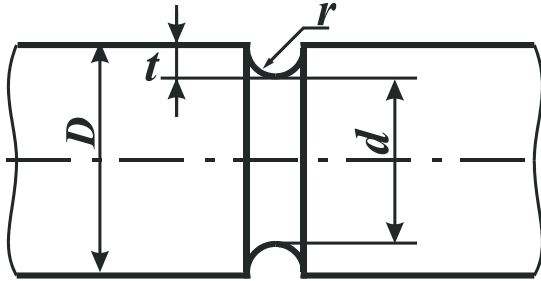
Эффективные коэффициенты концентрации напряжений
вблизи галтели



σ_B , 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_B , 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_B , 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