

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНСТИТУТ ДИСТАНЦИОННОГО ОБРАЗОВАНИЯ

СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

Расчетно-графические работы

Методические указания

к самостоятельной работе студентов

направлений подготовки 190100, 150700, 151900

Составители: Скопинский В.Н.
Захаров А.А.

Москва 2011

Методические указания предназначены для самостоятельной работы студентов ИДО технических специальностей МГИУ, изучающих учебные дисциплины «Сопротивление материалов» или «Механика материалов и конструкций». В них приведены расчетно-графические работы (учебные задания) по основным темам «Растяжение и сжатие», «Кручение», «Изгиб» и «Изгиб с кручением», которые включают условия задач, расчетные схемы и таблицы числовых данных, обеспечивающих выдачу индивидуального задания каждому студенту.

В конце каждого задания приводятся контрольные тематические вопросы, которые могут быть использованы студентами для подготовки к тестированию.

Рецензент
Богдыль П.Т.,
к.т.н., доцент (МГИУ)

Рекомендовано к изданию
на заседании кафедры
сопротивления материалов:
протокол № 6 от 5.10.2011

Подготовлено на кафедре сопротивления материалов

ЛР № 020407 от		
Подписано в печать	Сдано в производство	
Формат бум. 60x90/16	Бум. множ.	
Усл. печ. л.	Уч.-изд. л.	Тем. план 2011г., поз.
Тираж 500	Заказ №	

Ротапринт МГИУ, 115280, Москва, Автозаводская, 16

Оглавление

Введение.....	4
Требования к выполнению и оформлению расчетно-графических работ	5
1. <i>Расчетно-графическая работа № 1.</i>	
Расчеты стержней и стержневых систем при растяжении и сжатии	6
1.1. Статически определимый стержень	6
1.2. Статически неопределимый стержень	8
1.3. Статически определимая шарнирно-стержневая система..	11
1.4. Примерные тематические вопросы к РГР № 1	14
2. <i>Расчетно-графическая работа № 2.</i>	
Расчеты валов при кручении.....	15
2.1. Статически определимый вал	15
2.2. Примерные тематические вопросы к РГР № 2.....	18
3. <i>Расчетно-графическая работа № 3.</i>	
Расчеты статически определимых балок	19
3.1. Консольная балка	19
3.2. Двухопорная балка.....	19
3.3. Примерные тематические вопросы к РГР № 3	23
4. <i>Расчетно-графическая работа № 4.</i>	
Расчет вала на изгиб с кручением	24
4.1. Расчет вала при статическом нагружении.....	24
4.2. Расчет вала при циклически изменяющихся напряжениях.....	26
4.3. Примерные тематические вопросы к РГР № 4.....	29
Список литературы.....	30
Приложение 1. Механические свойства материалов	31
Приложение 2. Нормальные линейные размеры	33
Приложение 3. Сталь горячекатаная. Балки двутавровые. Швеллеры	34
Приложение 4. Справочные данные для расчета деталей на усталостную прочность.	36
Приложение 5. Использование единиц СИ.....	40
Приложение 6. Форма титульного листа	43

Введение

При изучении учебной дисциплины «Сопротивление материалов» большое значение имеет практическое освоение курса студентами, связанное с изучением основных расчетных формул и методов расчета и их применением для решения различных задач. Для этого в учебно-методическом комплексе по дисциплине отводится значительный объем времени для самостоятельной работы студентов.

Одним из видов самостоятельной работы студентов является выполнение расчетно-графических работ (РГР) по основным тематическим разделам. Для студентов ИДО предлагаются РГР по четырем разделам: «Растяжение и сжатие», «Кручение», «Изгиб» и «Изгиб с кручением». Целью расчетно-графических работ является закрепление теоретических сведений и развитие навыков самостоятельных практических расчетов у студентов. В помощь студентам для выполнения РГР на кафедре сопротивления материалов МГИУ подготовлена и издана необходимая учебно-методическая литература: теоретические сведения и примеры расчетов приведены в учебных изданиях [1–3].

Представленные в данной методической разработке РГР являются упрощенными учебными заданиями, предназначенными для контроля минимально необходимых знаний студентов ИДО.

Требования к выполнению и оформлению расчетно-графических работ

Для выполнения РГР студент получает индивидуальный шифр, определяющий вариант учебного задания, согласно которому выбирается расчетная схема бруса (стержня, вала, балки) или стержневой системы и исходные данные задачи.

При выполнении и оформлении расчетно-графических работ (РГР) необходимо придерживаться определенных правил и требований.

1. РГР рекомендуется выполнять на листах формата А4 (11), которые следует заполнять с одной стороны. Форма титульного листа приведена в *приложении 6*.

2. В начале каждой задачи обязательно приводятся все исходные данные: геометрические параметры, нагрузка, используемые материалы и их характеристики, необходимые для расчетов (предел текучести, пределы прочности при растяжении и сжатии, модуль упругости и др.).

Расчетная схема изображается в масштабе в соответствии с исходными данными задачи согласно варианту задания, т.е. с учетом геометрических параметров (длин участков, размеров сечений), а также указывается заданное направление нагрузки.

Выбранные значения геометрических параметров и нагрузки должны быть показаны на расчетной схеме.

3. Все вычисления выполняются в системе единиц СИ (см. *приложение 5*).

4. Необходимо соблюдать следующий порядок оформления расчетов: после записи расчетной формулы в общем виде сделать подстановку значений входящих в формулу величин и полученный результат округлить до трех значащих цифр. Например,

$$a = \frac{b}{c} = \frac{2}{3} = 0,667.$$

Результаты вычислений могут записываться и в другом виде:

$$\frac{20}{3} = 6,67, \quad \frac{2}{30} = 6,67 \cdot 10^{-2}, \quad \frac{2000}{3} = 667, \quad \frac{2 \cdot 10^4}{3} = 6,67 \cdot 10^3 \text{ и т.д.}$$

При этом обязательно указывать единицы измерения полученной величины (в примере использованы безразмерные величины).

1. Расчетно-графическая работа № 1

РАСЧЕТЫ СТЕРЖНЕЙ И СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ И СЖАТИИ

Во всех задачах номер расчетной схемы стержня или стержневой системы соответствует первой цифре индивидуального шифра задания. Номера вариантов исходных данных в таблицах следует 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 представлены в соответствующих столбцах таблицы.

1.1. Статически определимый стержень

Расчетную схему стержня выбрать из рис. 1.1. Исходные данные – нагрузки $P_i = k_i P$ ($i = 1, 2, 3$) и длины участков – следует выбрать из табл. 1.1 и 1.2.

Материал стержня и нормативный коэффициент запаса выбрать из табл. 1.3. Характеристики материала стержня (модуль Юнга E и предел текучести σ_T) взять из приложения 1 (табл. 1, вид термообработки выбрать самостоятельно).

Таблица 1.1

Коэффициенты нагрузки ($P_i = k_i P$, $i=1,2,3$)

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

Таблица 1.2

Длины участков стержня

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

Таблица 1.3

Материал стержня и нормативный коэффициент запаса

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Сталь	20	50	30	40	40X	30XM	45	40XH	50Г	20X
$[n_T]$	1,5	1,8	2,0	1,4	1,6	2,0	1,5	1,8	1,4	2,0

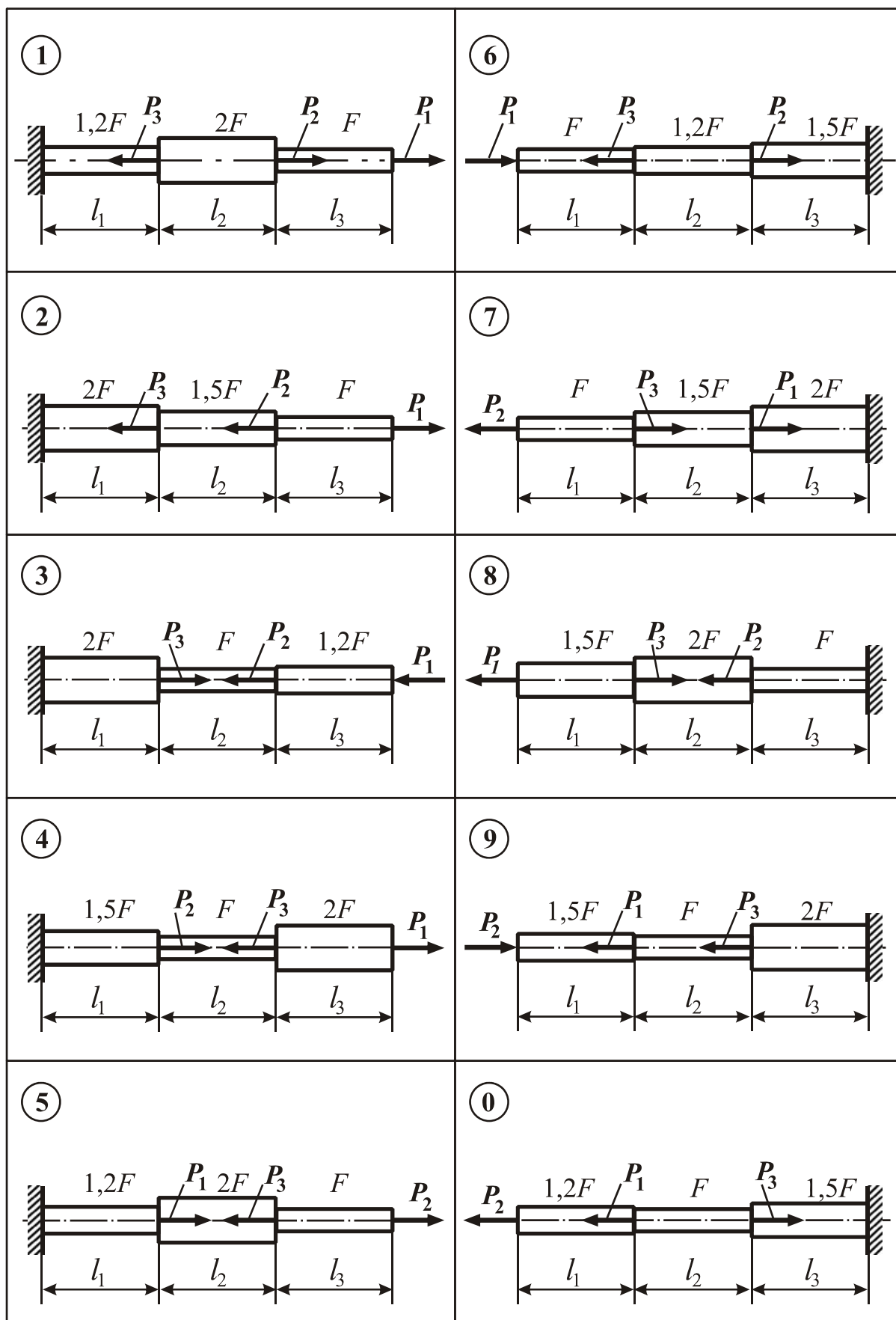


Рис. 1.1. Расчетные схемы статически определимого стержня

Перед расчетом исходные данные следует нанести на расчетную схему. В качестве примера для шифра 12345, используя первые три цифры шифра и учитывая пропорциональность длин участков, расчетная схема стержня показана на рис. 1.2.

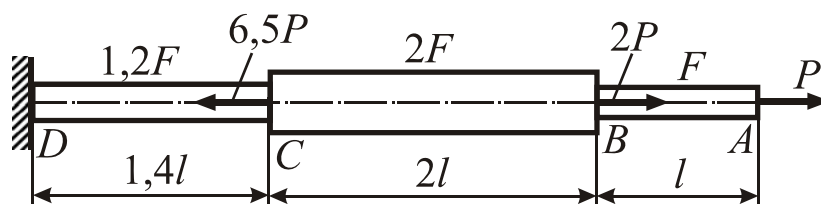


Рис. 1.2. Пример изображения расчетной схемы стержня

Порядок расчета

1. Построить эпюры нормальных (продольных) сил N , нормальных напряжений σ , продольных деформаций ε и осевых перемещений w , выражая соответствующие значения на эпюрах через параметры P , F , l , E .

2. Из условия прочности для всего стержня определить параметр F , а затем – значения площадей и диаметров поперечных сечений стержня на каждом участке. Полученные значения диаметров округлить до соответствующих значений из ряда нормальных линейных размеров (см. приложение 2).

3. Вычислить значения максимальной продольной деформации ε_{\max} , удлинения (или укорочения) ΔL стержня и максимального перемещения w_{\max} .

При расчетах принять: $P = 10$ кН, $l = 0,4$ м.

1.2. Статически неопределимый стержень

Расчетную схему стержня выбрать из рис. 1.3. Исходные данные – нагрузки $P_i = k_i P$ ($i = 1, 2$) и длины участков – следует выбрать из табл. 1.4 и 1.5.

Материал стержня и нормативный коэффициент запаса выбрать из табл. 1.6. Характеристики материала стержня (модуль Юнга E и условный предел текучести $\sigma_{0,2}$) взять из приложения 1 (табл. 3).

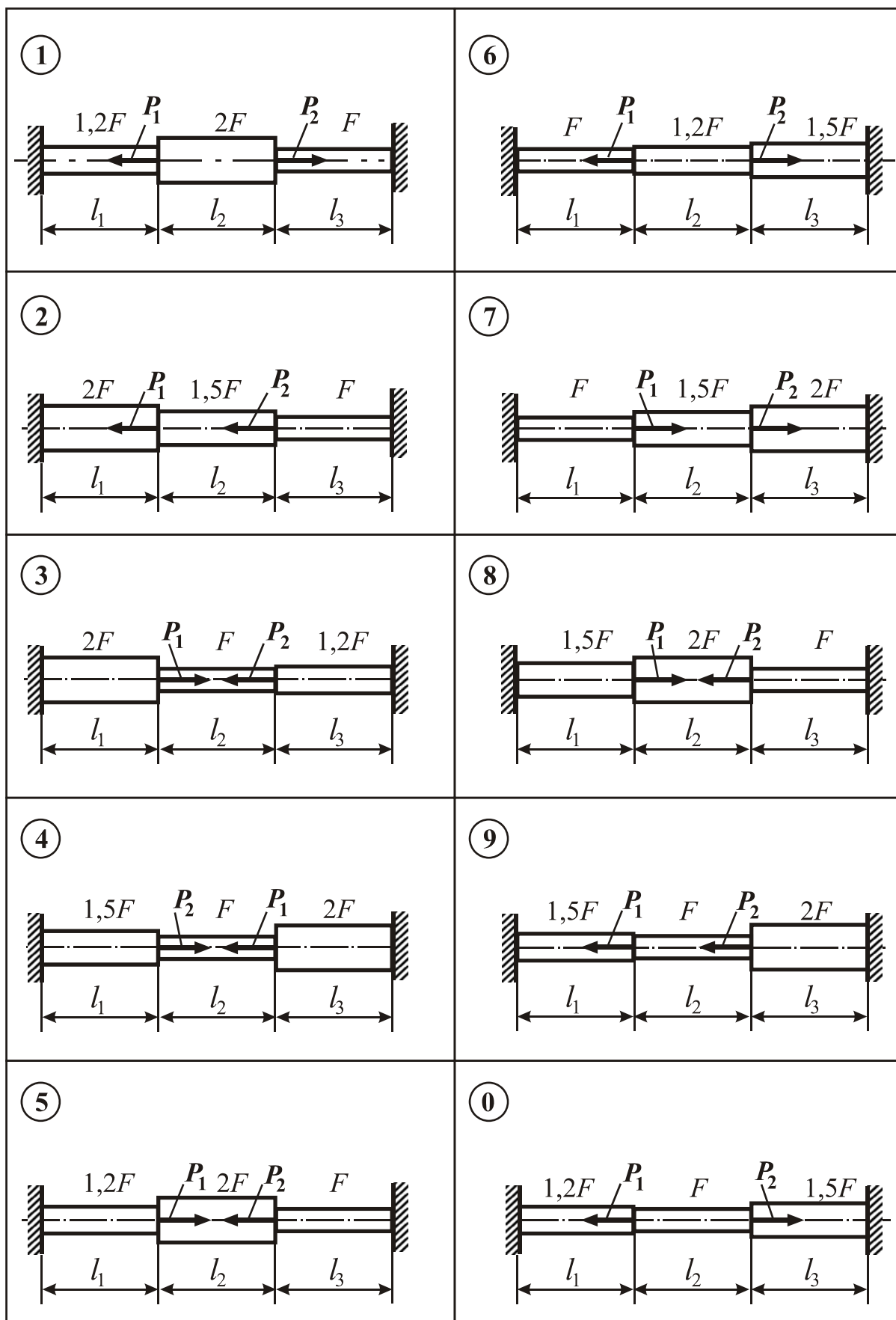


Рис. 1.3. Расчетные схемы статически неопределимого стержня

Таблица 1.4

Коэффициенты нагрузки ($P_i = k_i P$, $i=1,2$)

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

Таблица 1.5

Длины участков стержня

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

Таблица 1.6

Материал стержня и нормативный коэффициент запаса

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Материал	Д1	Д6	Д16	АМг6	АМц	АК6	В95	ОТ4	ВТ5	ВТ20
$[n_T]$	1,5	1,8	1,6	1,4	1,5	2,0	2,2	2,4	2,5	2,8

Как и в предыдущем примере (шифр 12345), расчетная схема стержня показана на рис. 1.4.

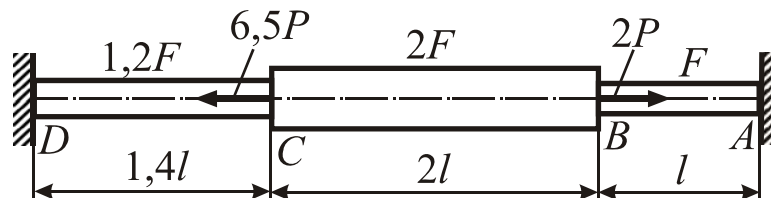


Рис. 1.4. Пример изображения расчетной схемы стержня

Порядок расчета

1. Раскрыть статическую неопределимость стержня, выразив реакцию одной из заделок через параметр нагрузки P .

2. Построить эпюры нормальных сил N , нормальных напряжений σ и осевых перемещений w , выражая соответствующие значения на эпюрах через параметры P , F , l , E .

3. Из условия прочности для всего стержня определить допускаемое значение параметра нагрузки $P_{\text{доп}}$.

4. Вычислить значение параметра нагрузки P_T , при котором максимальные напряжения в стержне достигают значения условного предела текучести $\sigma_{0,2}$.

При расчете принять: $F = 2 \text{ см}^2$, $l = 0,5 \text{ м}$.

1.3. Статически определимая стержневая система

Расчетную схему шарнирно-стержневой системы выбрать по рис. 1.5. Исходные данные – длины и площади поперечных сечений стержней, угловой параметр α , а также размеры a_1 , a_2 , a_3 (для расчетных схем 6–0 с абсолютно жесткой балкой) – следует выбрать из табл. 1.7–1.9 и нанести их на расчетную схему.

Изобразить расчетную схему в соответствии с выбранными параметрами. Примеры изображения расчетных схем статически определимых стержневых систем представлены на рис. 1.6.

Таблица 1.7

Площади поперечных сечений стержней

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

Таблица 1.8

Длины стержней

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

Таблица 1.9

Угловой параметр и значения размера a_i

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
α , град	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
a_1	a	$2a$	a	$2,5a$	a	$2a$	a	$0,5a$	$1,5a$	$1,5a$
a_2	a	$0,5a$	a	$0,5a$	$1,5a$	a	$0,5a$	a	a	$0,5a$
a_3	a	$1,5a$	$2a$	a	$1,5a$	$2a$	$2,5a$	$2a$	a	$1,5a$

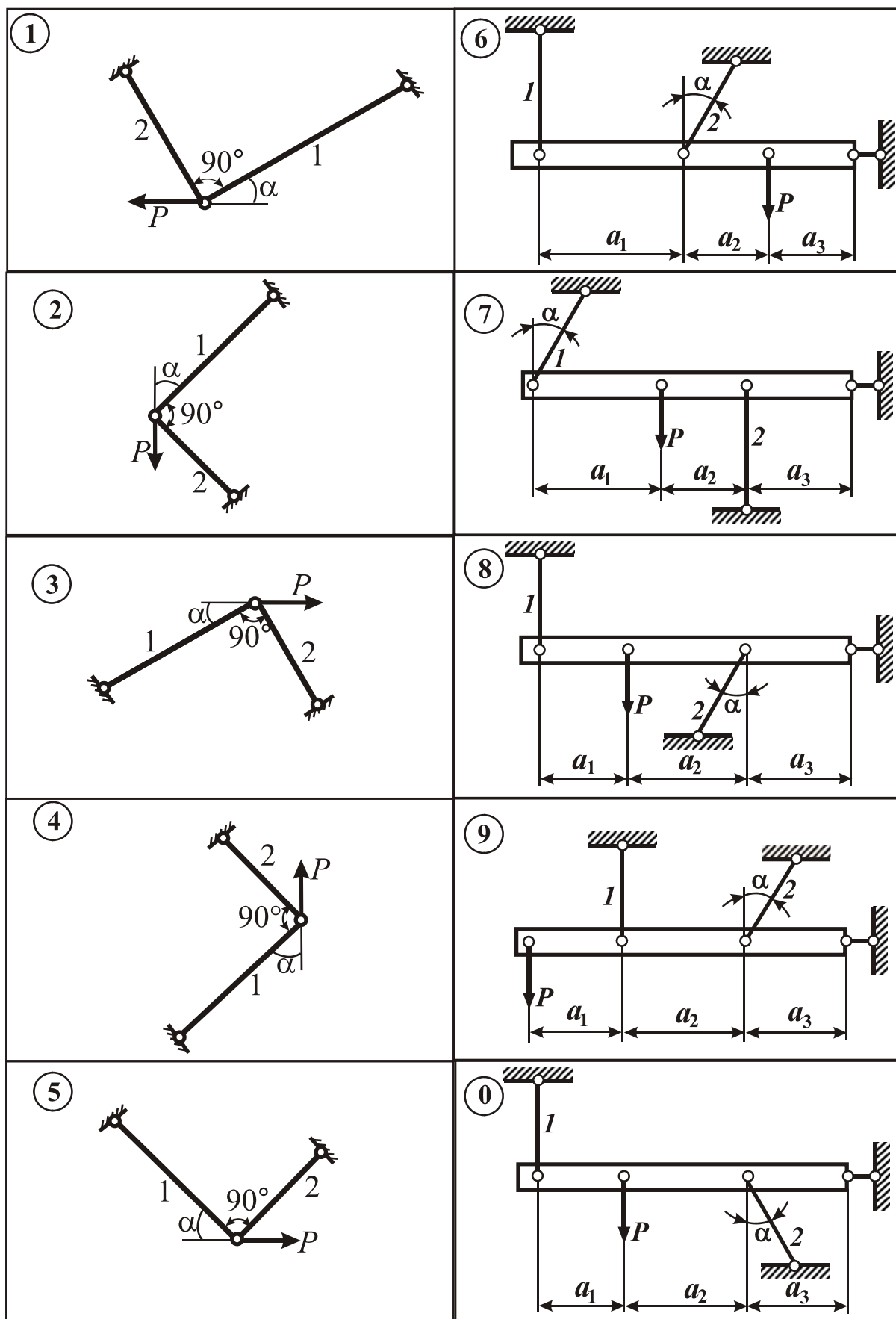


Рис. 1.5. Расчетные схемы стержневых систем

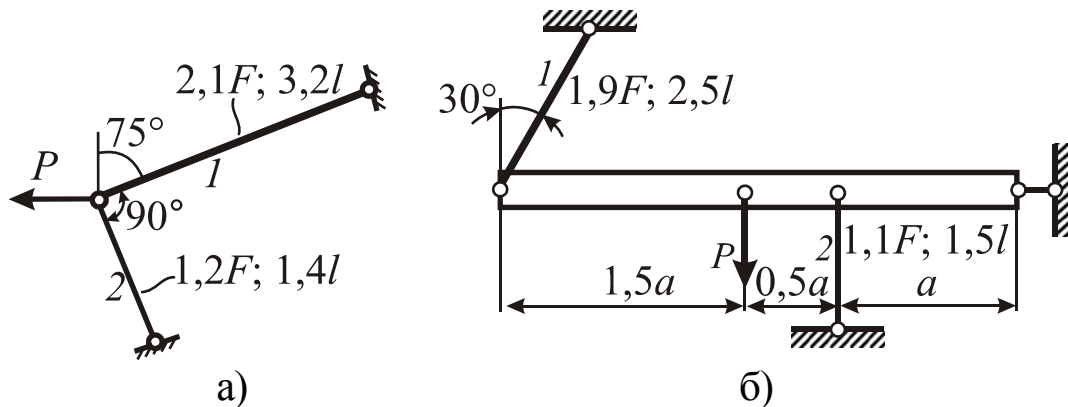


Рис. 1.6. Примеры изображения расчетных схем стержневых систем

Порядок расчета

1. Найти нормальные силы в стержнях, выразив их через параметр нагрузки P .

2. Из расчета на прочность:

- для расчетных схем 1–5 определить значение допускаемой нагрузки $P_{\text{доп}}$, приняв $F = 2 \text{ см}^2$;
- для расчетных схем 6–0 определить допускаемое значение параметра F и площади F_i поперечных сечений стержней, приняв $P = 10 \text{ кН}$.

3. Используя метод единичной нагрузки:

- для расчетных схем 1–5 вычислить линейное перемещение общего узла в направлении, перпендикулярном направлению действия силы P ;
- для расчетных схем 6–0 вычислить угол поворота жесткой балки.

При расчетах принять:

$$[\sigma]_p = 50 \text{ МПа}, [\sigma]_c = 80 \text{ МПа}, E = 110 \text{ ГПа}, l = 0,3 \text{ м}, a = 0,5 \text{ м}.$$

1.4. Примерные тематические вопросы к РГР № 1

1. Как определяется нормальная сила в произвольном поперечном сечении стержня (для ступенчатого стержня)? Для стержневой системы?

2. Как определяются нормальные напряжения в поперечном сечении стержня? Как определяются максимальные нормальные напряжения в ступенчатом стержне? В стержневой системе?

3. Как определяются продольные деформации в стержне?

4. Как формулируется и записывается закон Гука?

5. Какие существуют упругие характеристики материала?

6. Как определяются продольные перемещения сечений в прямолинейном стержне?

7. В каком виде записываются условия прочности для стержня или стержневой системы из пластичного материала? Из хрупкого материала? Какие основные задачи решают на основе условий прочности?

8. Какие напряжения принимаются в качестве предельных для пластичного материала? Для хрупкого материала?

9. В каком случае ступенчатый стержень является равнопрочным? В чем заключается преимущество равнопрочных стержней?

10. Какой параметр называется жесткостью стержня на растяжение-сжатие?

11. Как определяются перемещения узлов в стержневой системе по методу единичной нагрузки? В чем отличие определения линейного перемещения и угла поворота?

12. Какие задачи называются статически определимыми? Как определяются усилия в статически определимом стержне и реакции связей в статически определимой стержневой системе?

13. Какие задачи называются статически неопределимыми? Как определяются усилия в стержне с жестко закрепленными концами?

2. Расчетно-графическая работа № 2

РАСЧЕТЫ ВАЛОВ ПРИ КРУЧЕНИИ

Номера вариантов исходных данных в таблицах следует выбрать по соответствующим цифрам шифра задания: из первой таблицы – по первой цифре, из второй таблицы – по второй цифре и из третьей таблицы – по третьей цифре.

2.1. Статически определимый вал

Схему нагружения вала выбрать с использованием рис. 2.1,а и табл. 2.1 (третья строка). Внешние моменты, действующие на вал $M_i = |k_i| \cdot M$ ($i = 1, 2$), вычислить с использованием значений коэффициентов k_i из табл. 2.1, принимая $M = 200$ Н·м.

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

Таблица 2.1

Коэффициенты k_i и схема нагружения вала (рис. 2.1,а)

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
k_1	-2,1	-1,8	-7,8	1,9	8,6	2,3	-2,6	-9,2	-2,5	2,2
k_2	-5,9	7,4	5,8	-7,6	-6,2	6,1	9,0	6,5	-6,3	-8,2
Схема №	3	1	2	1	2	3	1	2	3	1

Исходные данные, необходимые для расчета, выбрать из табл. 2.2 и 2.3.

Таблица 2.2

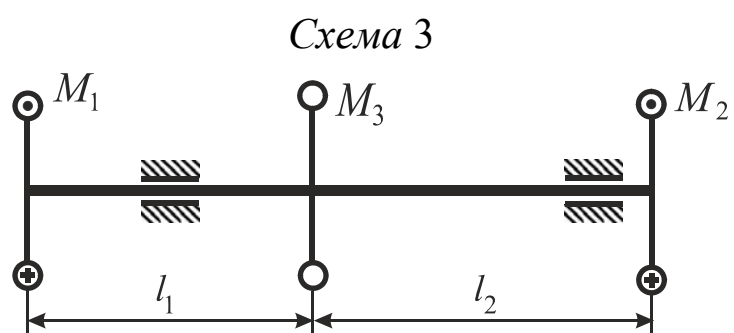
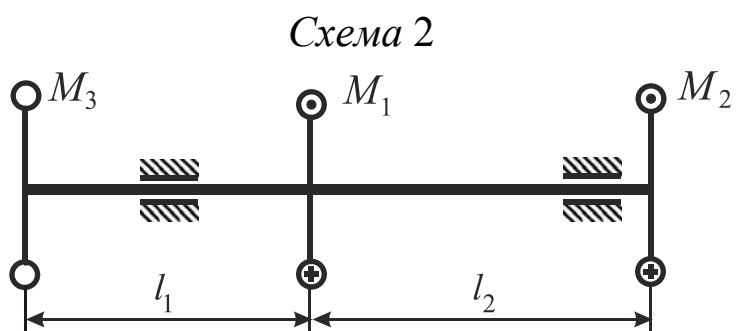
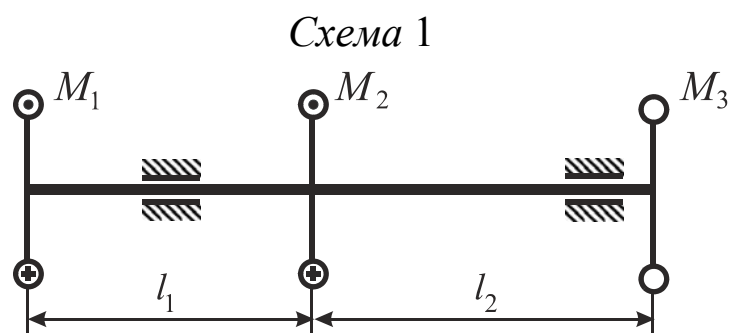
Длины участков и коэффициент полости кольцевого сечения вала

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
$\alpha = d/D_2$	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9

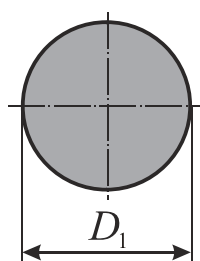
Таблица 2.3

Материал вала и расчетные параметры

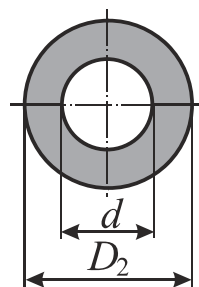
Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Сталь	20(н)	30(н)	40X(y)	40(н)	45(н)	45(y)	40(y)	30(y)	50Г(н)	60(н)
$[n_T]$	4,0	4,5	6,5	4,2	4,0	5,5	5,0	4,8	5,0	6,0
$[\varphi']$, °/м	1,1	1,3	2,0	1,8	1,9	1,7	1,5	1,6	1,4	1,2



а)



б)



в)

Рис. 2.1. Расчетные схемы и формы поперечного сечения вала

Рассматривается ступенчатый вал, первый участок которого имеет сплошное круглое сечение (рис. 2.1,б), а второй – кольцевое сечение (рис. 2.1,в). Геометрические параметры вала выбрать из табл. 2.2.

Материал вала выбрать из табл. 2.3, а соответствующие прочностные и упругие характеристики (предел текучести τ_T , модуль Юнга E , коэффициент Пуассона μ) – из *приложения 1* (табл. 1). Значение модуля сдвига материала G вычислить, используя значения E и μ .

Порядок расчета

1. В соответствии с расчетной схемой и исходными данными изобразить схему нагружения вала. Величину и направление момента M_3 определить из условия равновесия вала.

Например, для расчетной схемы 2 (см. рис. 2.1,а) при значениях коэффициентов $k_1 = -8,1$, $k_2 = 6,3$ и найденном значении момента M_3 схема нагружения вала показана на рис. 2.2.

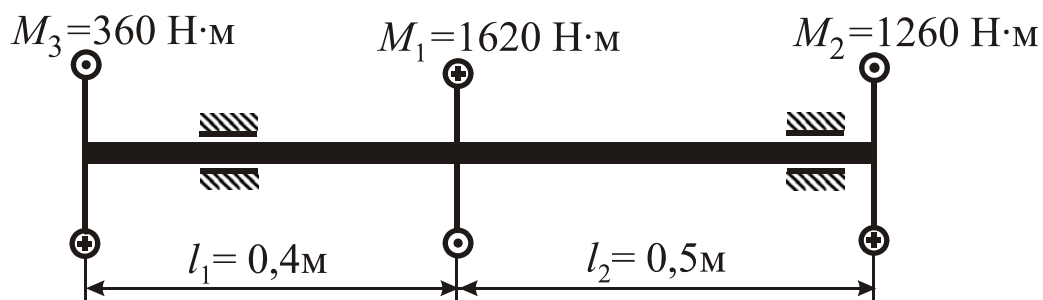


Рис. 2.2. Пример изображения схемы нагружения вала

2. Определить значения крутящих моментов \mathcal{M}_{k1} и \mathcal{M}_{k2} в сечениях на участках вала, используя выбранную схему нагружения.

3. Вычислить диаметры сечений на участках вала, удовлетворяющие *условиям прочности и жесткости*. При этом полученные значения диаметров D_1 , D_2 округлить до соответствующих значений из ряда нормальных линейных размеров (см. *приложение 2*).

3. Изобразить расчетную схему вала согласно исходным данным задания и расчетным значениям диаметров, соблюдая масштабы длин участков и диаметров сечений.

4. Построить эпюры крутящих моментов \mathcal{M}_k , максимальных касательных напряжений τ^{\max} , относительных углов закручивания φ' и углов поворота сечений φ , условно считая неподвижным одно из торцевых сечений вала.

5. Показать распределение касательных напряжений в поперечных сечениях вала на каждом участке.

2.2. Примерные тематические вопросы к РГР № 2

1. Как определяется внутренний крутящий момент в поперечном сечении вала? Какое правило знаков применяется для крутящего момента?

2. Что такое полярный момент инерции сечения? Полярный момент сопротивления сечения?

3. Как распределяются касательные напряжения в круговом 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 для вала круглого сечения и в каких точках сечения они действуют?

6. Как записывается условие прочности вала при кручении? Какие основные задачи решаются при расчете вала на прочность?

7. Что такое относительный угол закручивания? Как он вычисляется и какие единицы измерения используются для него?

8. Как определить угол закручивания участка вала постоянного сечения?

9. Как записывается условие жесткости для вала? Как определяется диаметр вала из условия жесткости? Какие задачи могут решаться при расчете вала на жесткость?

10. Как записывается закон Гука при чистом сдвиге? Какова зависимость между модулем Юнга и модулем сдвига для изотропного материала?

3. Расчетно-графическая работа № 3

РАСЧЕТЫ СТАТИЧЕСКИ ОПРЕДЕЛИМЫХ БАЛОК

Во всех задачах номер расчетной схемы балки или рамы соответствует первой цифре индивидуального шифра задания. Номера вариантов исходных данных в таблицах следует выбирать по последующим цифрам шифра; исходные данные представлены в соответствующих столбцах таблиц.

3.1. Консольная балка

Расчетную схему балки выбрать из рис. 3.1, исходные данные следует выбрать из табл. 3.1, 3.2. Пример изображения расчетной схемы консольной балки представлен на рис. 3.3,а.

Порядок расчета

1. Построить эпюры поперечных сил Q и изгибающих моментов M , выразив значения на эпюрах через параметры P и l .

2. Для балки стандартного профиля из расчета на прочность подобрать сечения по сортаменту прокатной стали. Расчет сделать для двух вариантов стандартного сечения: а) двутавр; б) два швеллера. Определить, какое сечение является более рациональным, сравнив площади поперечных сечений балок.

Геометрические характеристики стандартных профилей следует выбрать из таблиц приложения 4.

3. Построить эпюру нормальных напряжений $\sigma(y)$ в опасном сечении балки с указанием максимальных напряжений.

4. Определить прогиб концевого сечения балки, используя метод единичной нагрузки (метод Мора) и способ Верещагина.

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

3.2. Двухопорная балка

Расчетную схему балки выбрать из рис. 3.2, исходные данные следует выбрать из табл. 3.1, 3.2, 3.3. Пример изображения расчетной схемы двухопорной балки с найденными значениями реакций опор представлен на рис. 3.3,б.

Порядок расчета

1. Построить эпюры поперечных сил Q и изгибающих моментов M , выразив значения на эпюрах через параметры P и l .

2. Из расчета на прочность подобрать размеры поперечных сечений балки в виде круга, кольца (с коэффициентом полости $\alpha = d/D$), прямоугольника (с отношением сторон $\beta = h/b$) и стандартного профиля (двутавра, швеллера или сдвоенных швеллеров согласно табл. 3.3).

Геометрические характеристики стандартных профилей следует выбрать из таблиц *приложения 4*.

3. Сравнить массы полученных балок (по отношениям площадей поперечных сечений) и сделать вывод о рациональности каждой формы сечения балки.

4. Для каждой балки определить максимальные нормальные напряжения и построить эпюру нормальных напряжений $\sigma(y)$ в опасном сечении с указанием значений максимальных напряжений.

5. Определить угол поворота сечения балки над шарнирно-неподвижной опорой, используя метод единичной нагрузки и способ Верещагина.

При расчете принять: $P = 10$ кН, $l = 0,3$ м, $[\sigma] = 120$ МПа.

Таблица 3.1

Длины участков балки

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



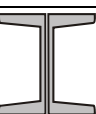
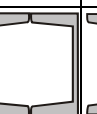
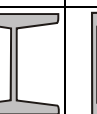


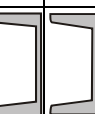
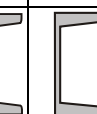

Таблица 3.2

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	4,0	4,2	4,4	4,5	4,8	5,0	4,5	4,2	5,0	4,5
k_2	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	5,5	4,0	3,5	4,0
k_3	2,0	1,1	2,2	1,5	2,3	1,5	1,2	2,1	1,4	2,4

Таблица 3.3

Форма и параметры сечения

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
Стандарт. профиль										

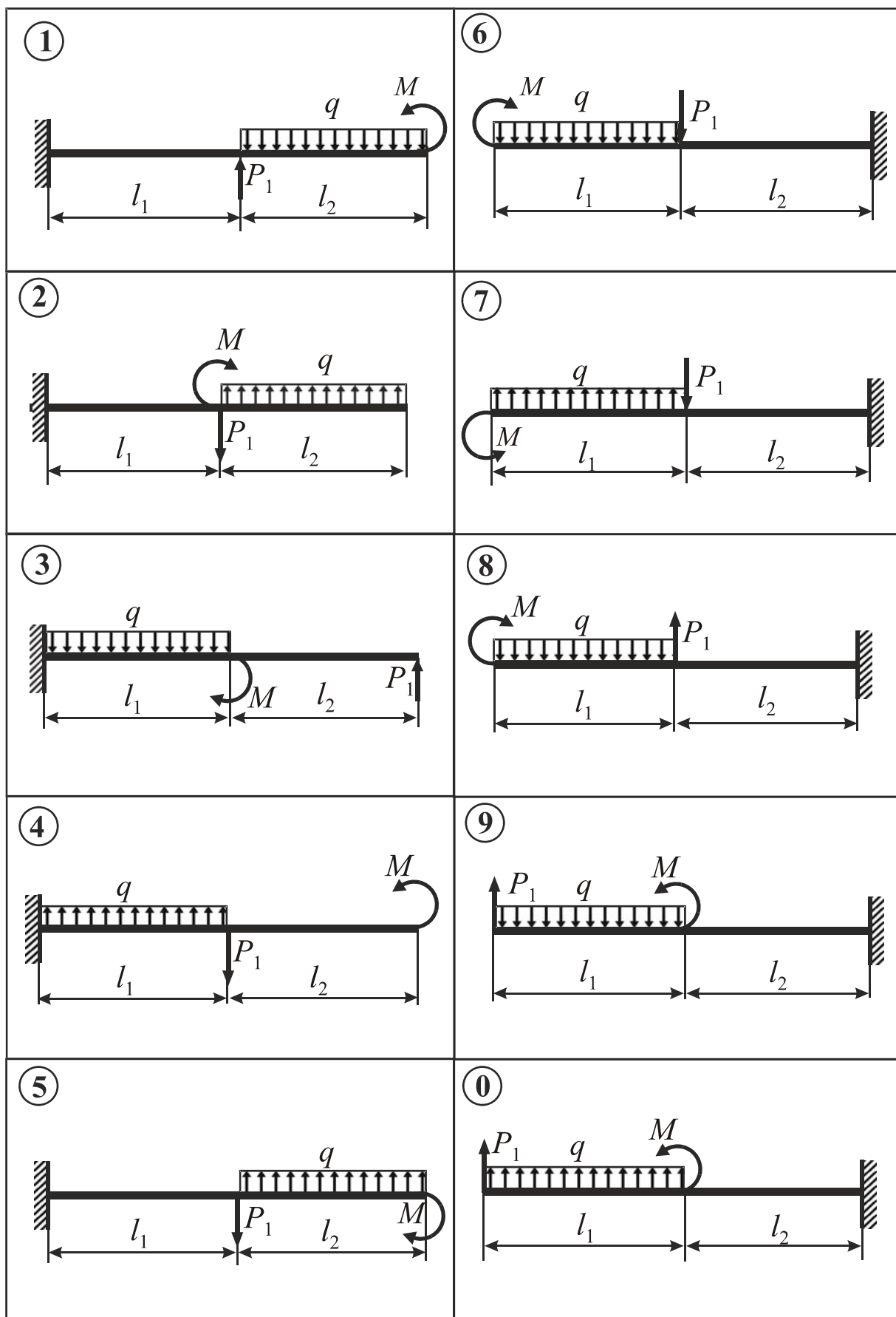


Рис. 3.1. Расчетные схемы консольной балки

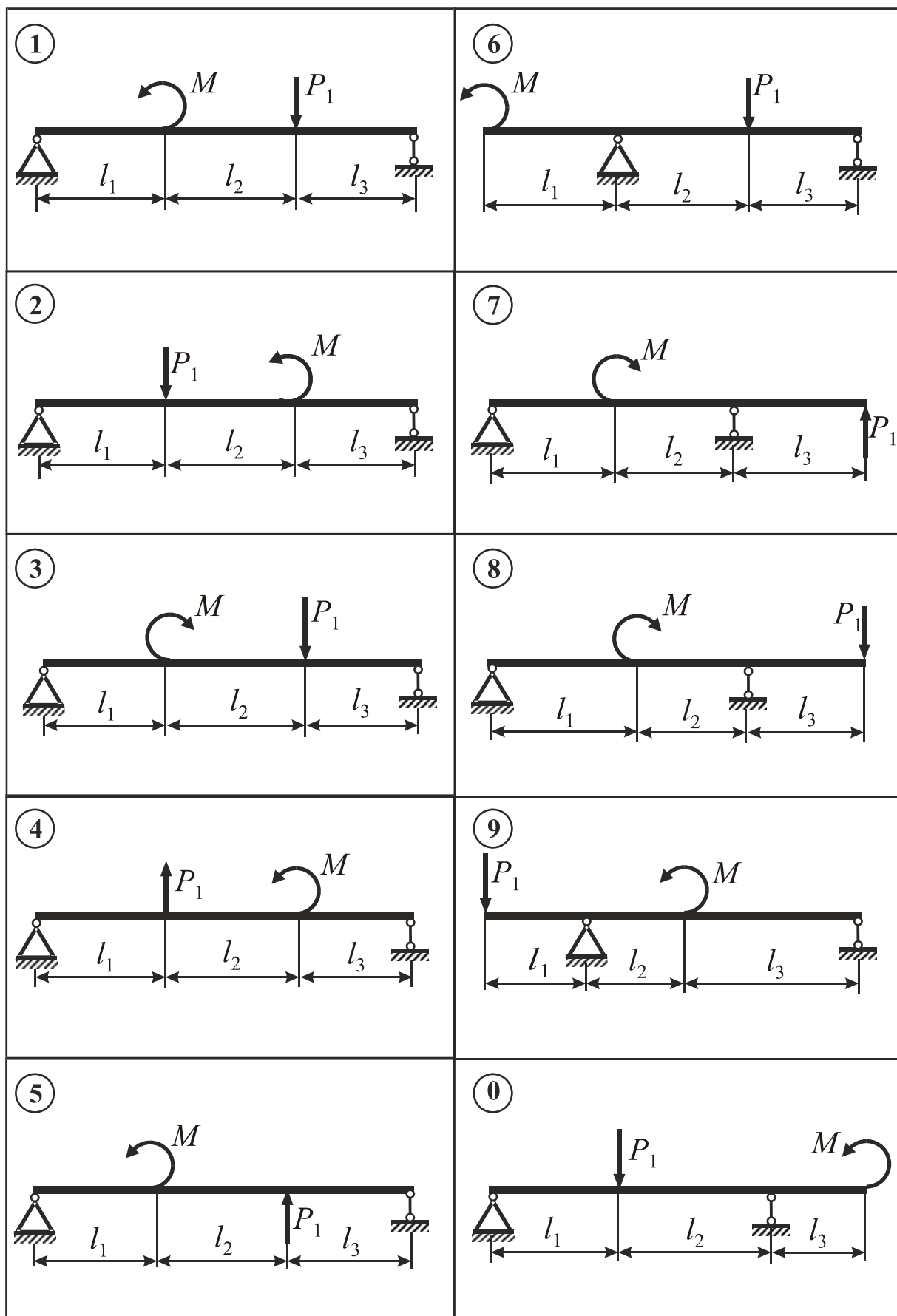


Рис. 3.2. Расчетные схемы двухопорной балки

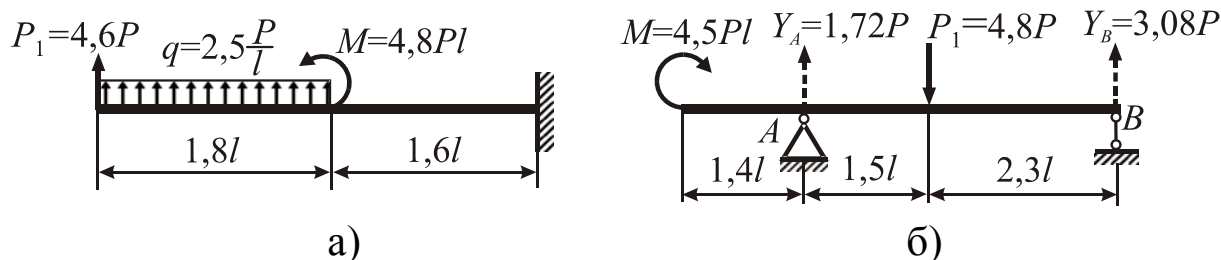


Рис. 3.3. Примеры изображения расчетных схем балок

3.3. Примерные тематические вопросы к РГР № 3

1. Какие внутренние силовые факторы возникают в поперечных сечениях балки при изгибе? Какие правила знаков используют для них?

2. Какие правила контроля применяют для 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. Как определяется момент сопротивления сечения при изгибе? Чему равны моменты инерции и моменты сопротивления для прямоугольного, круглого и кольцевого сечений?

5. Как записывается условие прочности балки при изгибе? Какие задачи решают на основе условия прочности?

6. Что понимается под рациональной формой сечения балки? В чем преимущества применения балок стандартного профиля?

7. В чем заключается процедура определения перемещений сечений балки при изгибе по методу Мора (методу единичной нагрузки)?

8. Как определяются перемещения сечений балки с использованием способа Верещагина?

4. Расчетно-графическая работа № 4

РАСЧЕТ ВАЛА НА ИЗГИБ С КРУЧЕНИЕМ

4.1. Расчет вала при статическом нагружении

На сопряженные детали, расположенные на валу (рис. 4.1), действуют нагрузки: P_1 – радиальная сила; P_2 – окружная сила; P_3 – осевая сила (направлена параллельно оси вала). Положительные значения углов α_i ($i = 1, 2$) откладывать от горизонтальной оси против хода часовой стрелки.

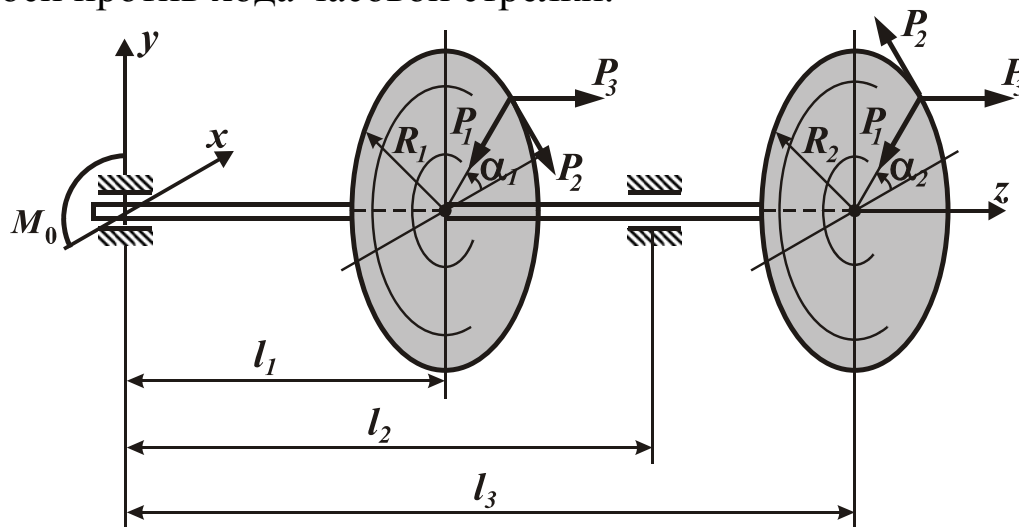


Рис. 4.1. Общая схема нагружения вала

Исходные данные для расчета выбрать из табл. 4.1–4.3 в соответствии с индивидуальным шифром, начиная с первой цифры.

Характеристики стали выбрать из табл. 1 приложения 4.

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 длина участка l_1

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 , длин l_2 , 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

Порядок расчета

1. Используя исходные данные, определить величину и направление момента M_0 из условия равновесия вала и изобразить схему нагружения вала.

Привести к оси вала силы, действующие на сопряженные детали, и получить расчетную схему вала, считая одну из опор шарнирно-подвижной в осевом направлении, а другую – шарнирно-неподвижной.

Например, схема нагружения вала при $\alpha_1 = 180^\circ$, $\alpha_2 = -90^\circ$ и $l_2 > l_3$ с найденным значением момента M_0 может иметь вид, изображенный на рис. 4.2,а. Соответствующая расчетная схема вала с найденными значениями моментов приведена на рис. 4.2,б.

2. Построить эпюры изгибающих моментов в вертикальной и горизонтальной плоскостях (M_x и M_y) и эпюру крутящего момента M_k .

3. Определить опасное сечение вала и значение максимального эквивалентного момента $M_{\text{экв}}^{\text{max}}$ в нем.

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

4. Вычислить диаметр вала из расчета на статическую прочность, используя соответствующую теорию прочности. Полученное расчетное значение диаметра округлить до соответствующего значения из ряда нормальных линейных размеров (см. приложение 2).

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

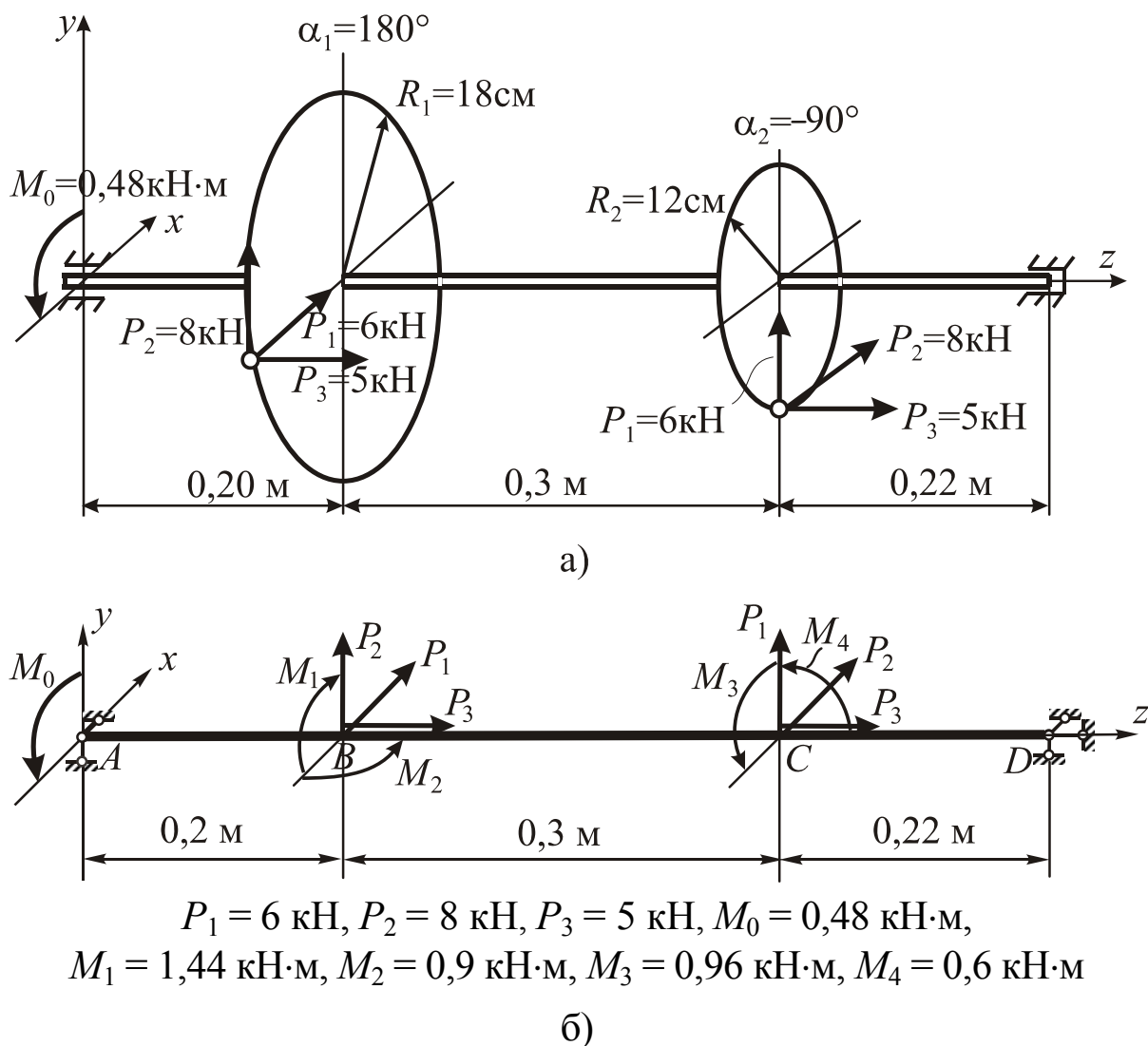


Рис. 4.2. Пример изображения схемы нагружения (а) и расчетной схемы (б) вала

4.2. Расчет вала при циклически изменяющихся напряжениях

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

Принять, что при вращении вала нормальные напряжения σ и касательные напряжения τ в опасном сечении изменяются по гармоническому закону

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

с коэффициентами асимметрии R_σ и R_τ соответственно.

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

Значения коэффициентов асимметрии циклов напряжений (R_σ , R_τ), вид обработки поверхности вала и тип концентратора выбрать из табл. 4.4, 4.5 по четвертой и пятой цифре индивидуального шифра задания.

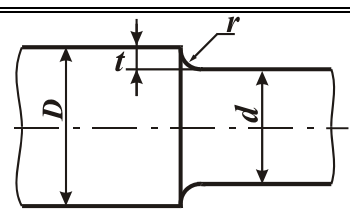
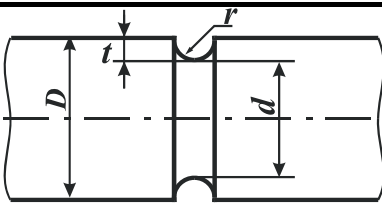
Таблица 4.4

Коэффициенты асимметрии циклов и вид обработки поверхности вала

Вариант	R_σ	R_τ	Вид обработки 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

Порядок расчета

1. Для опасного сечения вала вычислить параметры циклов изменения нормальных и касательных напряжений при известных значениях максимальных напряжений и коэффициентов асимметрии циклов. В выбранном масштабе изобразить графически полученные циклы изменения напряжений.

2. Вычислить коэффициент запаса прочности вала при изгибе (n_σ):

- а) аналитическим способом с использованием формул;
- б) графическим способом с использованием схематизированной диаграммы предельных амплитуд для детали.

3. Вычислить коэффициент запаса прочности вала при кручении (n_τ):

- а) аналитическим способом с использованием формул;
- б) графическим способом с использованием схематизированной диаграммы предельных амплитуд для детали.

4. Вычислить общий коэффициент запаса прочности (n_R) вала при изгибе с кручением. Сделать вывод о работоспособности вала.

Допускаемое значение коэффициента запаса по усталостной прочности принять равным $[n] = 1,5-2,5$.

Примечания

1. Для вычислений в работе использовать справочные данные, приведенные в *приложении 4*.

2. Если полученные в п. 2 или п. 3 значения коэффициентов запаса $n_\sigma \leq 1,0$ или $n_\tau \leq 1,0$, то повторить их вычисление, используя дополнительно для вала какой-либо метод поверхностного упрочнения.

4.3. Примерные тематические вопросы к РГР № 4

1. Как определить опасное сечение вала при одновременном изгибе и кручении?
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. По каким формулам определяются нормальные и касательные напряжения в опасной точке вала круглого поперечного сечения при изгибе с кручением?
4. Что называется эквивалентным напряжением? Как записывается условие прочности для вала при сложном напряженном состоянии?
5. Как определяются эквивалентные напряжения по III–V теориям прочности? Какова область применимости каждой из этих теорий прочности?
6. Как определяются эквивалентные напряжения по III–V теориям прочности при изгибе с кручением для вала круглого сечения?
7. Что такое предел выносливости материала?
8. Какие основные параметры цикла рассматриваются при циклическом изменении напряжений? Что понимается под коэффициентом асимметрии цикла?
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 состояние поверхности детали на усталостную прочность? Какие технологические методы поверхностного упрочнения деталей применяются для повышения их усталостной прочности?
12. Как определяется коэффициент запаса усталостной прочности детали по схематизированной диаграмме предельных амплитуд?

Список литературы

1. Скопинский В.Н. Сопротивление материалов. Ч. 1: учебное пособие / В.Н. Скопинский, А.А. Захаров. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: МГИУ, 2004. – 137 с.
2. Скопинский В.Н. Сопротивление материалов. Ч. 2: учебное пособие / В.Н. Скопинский, А.А. Захаров. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: МГИУ, 2005. – 165 с.
3. Скопинский В.Н. Практическое руководство к расчетам по сопротивлению материалов: учебное пособие / В.Н. Скопинский. – М.: МГИУ, 2007. – 240 с.

Механические свойства материалов

Таблица 1

Механические свойства сталей

№	Марка стали	Термообработка*	σ_T , МПа	σ_B , МПа	τ_T , 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	$\sigma_{\text{вр}}$, МПа	$\sigma_{\text{вс}}$, МПа	$\tau_{\text{в}}$, 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	$\sigma_{\text{в}}$, МПа	$\tau_{\text{т}}$, МПа	δ , %	E , ГПа	μ
Цветные сплавы (твердые)							
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
Титановые сплавы							
11	BT5	750	850	420	12	105	0,35
12	OT4	625	800	350	20	105	0,35
13	BT20	840	1050	470	11	105	0,35
14	ПТ7М	400	550	220	20	110	0,38
15	ПТЗВ	600	800	330	11	110	0,38

Нормальные линейные размеры (ГОСТ 6636–69)

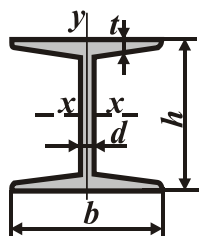
Для простановки линейных размеров – диаметров, длин, высот и др. – стандартом устанавливаются ряды (Ra5, Ra10, Ra20, Ra40). Ниже в таблице приведен ряд Ra40 с наиболее мелкой градацией.

Ряд Ra40 (от 1 до 950 мм)

1,00	2,40	5,6	13,0	32	75	180	420
1,05	2,50	6,0	14,0	34	80	190	450
1,10	2,60	6,3	15,0	36	85	200	580
1,15	2,80	6,7	16,0	38	90	210	500
1,20	3,00	7,1	17,0	40	95	220	530
1,30	3,20	7,5	18,0	42	100	240	560
1,40	3,40	8,0	19,0	45	105	250	600
1,50	3,60	8,5	20,0	48	110	260	630
1,60	3,80	9,0	21,0	50	120	280	670
1,70	4,00	9,5	22,0	53	125	300	710
1,80	4,20	10,0	24,0	56	130	320	750
1,90	4,50	10,5	25,0	60	140	340	800
2,00	4,80	11,0	26,0	63	150	360	850
2,10	5,00	11,5	28,0	67	160	380	900
2,20	5,3	12,0	30,0	71	170	400	950

Приложение 3

Сталь горячекатаная. Балки двутавровые (по ГОСТ 8239–72)



h – высота балки;

b – ширина полки;

d – толщина стенки;

t – средняя толщина полки;

J – момент инерции;

W – момент сопротивления;

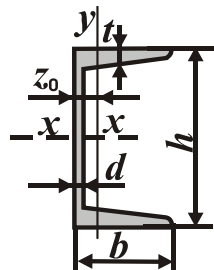
i – радиус инерции;

S_x – статический момент половины сечения

Таблица 1

№ 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 1 м, 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)



h – высота балки;

J – момент инерции;

b – ширина полки;

W – момент сопротивления;

d – толщина стенки;

i – радиус инерции;

t – средняя толщина полки; S_x – статический момент половины сечения;

Таблица 2

z_0 – расстояние от оси y до наружной грани стенки

№ 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	z_0 , см	Масса 1 м, 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

**Справочные данные для расчета деталей
на усталостную прочность**

Таблица 1

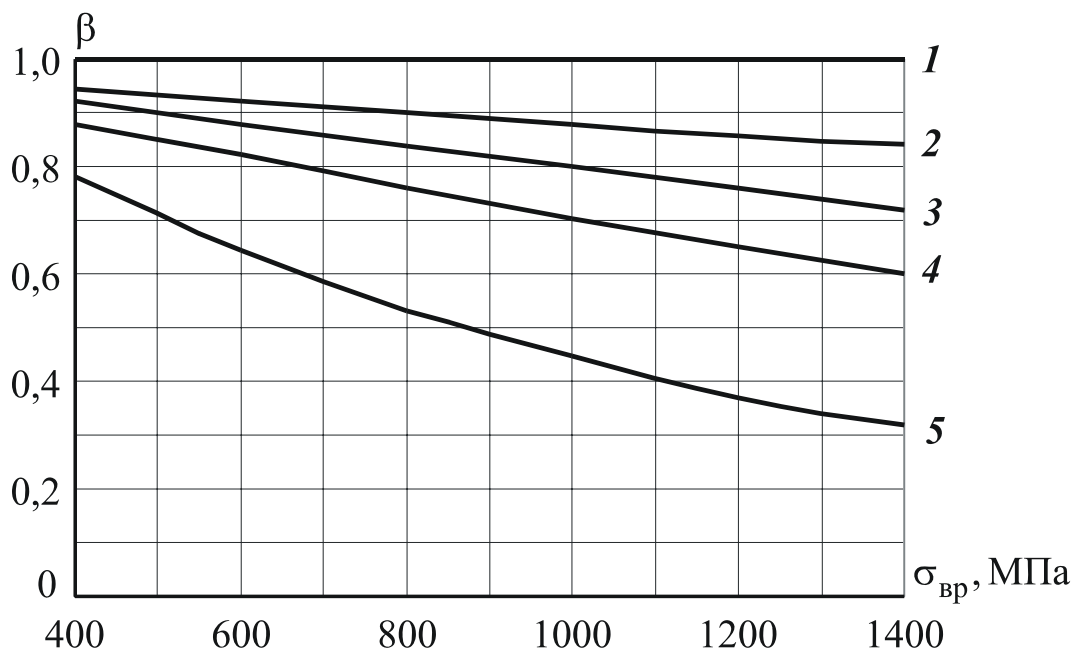
Прочностные характеристики сталей

Марка стали	σ_B , 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



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

Таблица 3

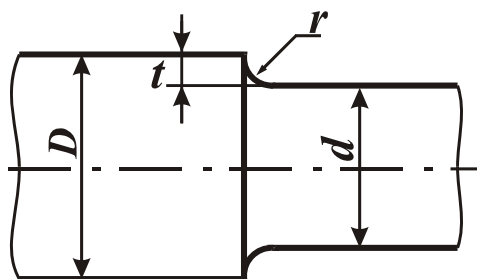
*Коэффициенты упрочнения $\beta_{упр}$ при использовании
 технологических методов поверхностного упрочнения вала*

Виды обработки поверхности	σ_b , МПа (сердцевина)	Значения $\beta_{упр}$ для валов		
		гладких	при $K_\sigma < 1,5$	при $K_\sigma = 1,8-2,0$
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_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	1,63	1,45	1,82	1,81	1,96	1,96	2,16	2,12
600	1,67	1,47	1,88	1,86	2,03	2,02	2,23	2,17
700	1,70	1,50	1,94	1,91	2,10	2,08	2,30	2,23
800	1,76	1,52	1,99	1,96	2,16	2,13	2,38	2,28
900	1,80	1,55	2,05	2,00	2,23	2,19	2,45	2,34
1000	1,84	1,57	2,11	2,06	2,35	2,30	2,52	2,39
1200	1,92	1,62	2,23	2,16	2,44	2,37	2,66	2,50
K_τ при кручении								
500	1,40	1,35	1,55	1,54	1,65	1,62	2,18	2,08
600	1,42	1,36	1,58	1,57	1,68	1,66	2,24	2,12
700	1,44	1,37	1,59	1,59	1,72	1,69	2,30	2,17
800	1,45	1,37	1,61	1,61	1,74	1,72	2,37	2,22
900	1,47	1,38	1,64	1,62	1,77	1,75	2,42	2,26
1000	1,48	1,39	1,66	1,65	1,81	1,75	2,48	2,31
1200	1,52	1,48	1,71	1,68	1,88	1,86	2,60	2,40

Таблица 5

*Эффективные коэффициенты концентрации напряжений
вблизи кольцевой канавки*

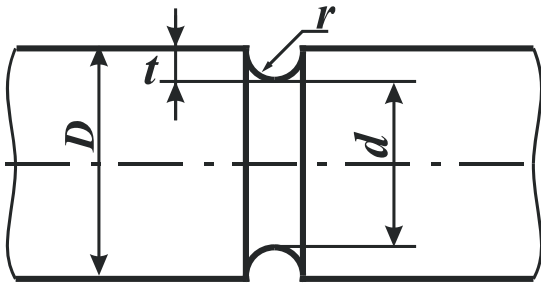
								
σ_B , МПа	$t/r = 0,5$		$t/r = 1$		$t/r = 2$		$0,5 < t/r < 2$	
	$r/d=0,02$	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03
	K_σ при изгибе						K_τ при кручении	
500	1,84	1,77	2,05	1,97	2,25	2,16	1,60	1,52
600	1,89	1,82	2,15	2,03	2,32	2,22	1,69	1,60
700	1,95	1,87	2,17	2,08	2,38	2,28	1,77	1,67
800	2,00	1,92	2,23	2,14	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

Использование единиц СИ

В настоящее время почти во всех странах мира обязательным является использование Международной системы единиц (СИ, СИ). В структуре СИ различаются основные (семь), дополнительные (две) и производные единицы. Производные единицы образуются из основных и дополнительных единиц при помощи определяющих уравнений в соответствии с установленными принципами.

Физические величины международной системы СИ, применяющиеся при вычислениях в расчетно-графических работах (РГР), и их единицы измерения представлены в табл. 1, 2.

Для выражения больших или меньших значений физических величин применяются кратные и дольные единицы, образуемые от исходной единицы по принципу десятичной *кратности* (умножается на число 10 в положительной степени) и *дольности* (умножается на число 10 в отрицательной степени), с присоединением к наименованию исходной единицы соответствующей приставки. Кратная единица в целое число раз больше соответствующей исходной единицы. Множители и приставки для образования кратных и дольных единиц приведены в табл. 3.

Таблица 1

Основные единицы СИ

Величины		Единицы	
Наименование	Размерность	Обозначение	Наименование
Длина (<i>любой линейный размер, координата, линейное перемещение</i>)	L	м	метр
Масса	M	кг	килограмм
Время	T	с, мин *	секунда, минута
Термодинамическая температура	Θ	К, °C	кельвин, градус Цельсия

Примечания

1. Символом (*) отмечены внесистемные единицы, допускаемые к применению наравне с единицами СИ.

2. В состав дополнительных единиц входит *радиан* – единица телесного угла.

Таблица 2

Производные единицы СИ

Величины		Единицы	
Наименование	Размерность	Обозначение	Наименование
Момент инерции сечения	L^4	m^4	метр в четвертой степени
Момент сопротивления сечения, статический момент сечения	L^3	m^3	кубический метр
Площадь	L^2	m^2	квадратный метр
Угол, угловое перемещение	1	рад, ° *	радиан, градус
Относительный угол	L^{-1}	рад/м, °/м *	радиан на метр, градус на метр
Сила, вес	LMT^{-2}	Н	ньютон
Момент	L^2MT^{-2}	Н·м	ньютон-метр
Распределенная (погонная) нагрузка	MT^{-2}	Н/м	ньютон на метр
Напряжение, модуль упругости	$L^{-1}MT^{-2}$	Па	паскаль
Мощность	L^2MT^{-3}	Вт	ватт
Частота вращения	T^{-1}	1/с, об/мин *	секунда в минус первой степени, оборот в минуту
Коэффициент температурного линейного расширения материала	Θ^{-1}	K^{-1} , $1/^\circ C$	Кельвин в минус первой степени, градус Цельсия в минус первой степени
Коэффициент, деформация	1	—	
Реакция от единичной силы	1	—	
Реакция от единичного момента	L^{-1}	1/м	

Примечание. Символом (*) отмечены внесистемные единицы, допускаемые к применению наравне с единицами СИ.

Таблица 3

*Множители и приставки для образования десятичных
кратных и дольных единиц*

Мно- житель	Приставка			Мно- житель	Приставка		
	Наим.	Обозначение			Наим.	Обозначение	
		Рус.	Межд.			Рус.	Межд.
10 ²⁴	йотта	И	Y	10 ⁻¹	(деци)	д	d
10 ²¹	зетта	З	Z	10 ⁻²	(санти)	с	c
10 ¹⁸	экса	Э	E	10 ⁻³	милли	м	m
10 ¹⁵	пета	П	P	10 ⁻⁶	микро	мк	μ
10 ¹²	тера	Т	T	10 ⁻⁹	нано	н	n
10 ⁹	гига	Г	G	10 ⁻¹²	пико	п	p
10 ⁶	мега	М	M	10 ⁻¹⁵	фемто	ф	f
10 ³	кило	к	k	10 ⁻¹⁸	атто	а	a
10 ²	(гекто)	г	h	10 ⁻²¹	zepto	з	z
10 ¹	(дека)	да	da	10 ⁻²⁴	йокто	и	y

Примечание. В скобках указаны приставки, которые допускается применять только в наименованиях кратных и дольных единиц, уже получивших широкое распространение (например, гектар, декалитр, дециметр, сантиметр).

В расчетах конструкций на прочность и жесткость чаще всего применяют приставки *кило-*, *мега-*, *гига-* для обозначения единиц нагрузки и напряжения, а также *санти-* и *милли-* для обозначения линейных размеров и перемещений. Наиболее типичные преобразования при этом имеют вид:

$$\begin{aligned}
 1 \text{ кН} &= 1 \cdot 10^3 \text{ Н} = 1000 \text{ Н}; 1 \text{ Н} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ кН} = 0,001 \text{ кН}; \\
 1 \text{ кПа} &= 1 \cdot 10^3 \text{ Па}; 1 \text{ Па} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ кПа}; \\
 1 \text{ МПа} &= 1 \cdot 10^6 \text{ Па}; 1 \text{ Па} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ МПа}; \\
 1 \text{ ГПа} &= 1 \cdot 10^9 \text{ Па} = 1000 \text{ МПа}; 1 \text{ Па} = 1 \cdot 10^{-9} \text{ ГПа}; \\
 1 \text{ м} &= 1 \cdot 10^2 \text{ см} = 100 \text{ см} = 1 \cdot 10^3 \text{ мм} = 1000 \text{ мм}; \\
 1 \text{ см} &= 1 \cdot 10^{-2} \text{ м} = 10 \text{ мм}; \\
 1 \text{ м}^2 &= 1 \cdot 10^4 \text{ см}^2 = 1 \cdot 10^6 \text{ мм}^2; 1 \text{ см}^2 = 100 \text{ мм}^2 = 1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2; \\
 1 \text{ мм}^2 &= 1 \cdot 10^{-2} \text{ см}^2 = 1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2; \\
 1 \text{ м}^3 &= 1 \cdot 10^6 \text{ см}^3 = 1 \cdot 10^9 \text{ мм}^3; 1 \text{ см}^3 = 10^3 \text{ мм}^3 = 1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3; \\
 1 \text{ мм}^3 &= 1 \cdot 10^{-3} \text{ см}^3 = 1 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3; \\
 1 \text{ м}^4 &= 1 \cdot 10^8 \text{ см}^4 = 1 \cdot 10^{12} \text{ мм}^4; 1 \text{ см}^4 = 10^4 \text{ мм}^4 = 1 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4; \\
 1 \text{ мм}^4 &= 1 \cdot 10^{-4} \text{ см}^4 = 1 \cdot 10^{-12} \text{ м}^4.
 \end{aligned}$$

Форма титульного листа

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«Московский государственный индустриальный университет»
ИНСТИТУТ ДИСТАНЦИОННОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Кафедра сопротивления материалов

Расчетно-графическая работа № _

по дисциплине _____

на тему _____

Группа _____

Студент _____
(Ф.И.О)

Шифр задания _____

Сдано _____
(дата)

Принято _____
(дата)

Преподаватель _____
(Ф.И.О) (подпись)

Москва 201_