

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА  
ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ

**М. А. Дудаев, С. Л. Алесковский**

## **СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ**

**Задачник**

Иркутск 2018

УДК 539.3/.6  
ББК 30.121  
Д 81

Рекомендовано к изданию редакционным советом ИрГУПС

Рецензенты:

**А. А. Кудрявцев**, канд. техн. наук, доцент кафедры самолетостроения и эксплуатации авиационной техники ИрННТУ;

**Е. В. Зеньков**, канд. техн. наук, доцент кафедры теоретической механики и сопротивления материалов ИрННТУ

**Дудаев М. А., Алесковский С. Л.**

Сопротивление материалов : задачник / М. А. Дудаев, С. Л. Алесковский. – Иркутск : ИрГУПС, 2018. – 80 с.

В задачнике представлены задания для самостоятельных, расчетно-графических и расчетно-проектировочных работ по дисциплинам «Сопротивление материалов», «Прикладная механика» и «Техническая механика», а также приведены краткие справочные данные для расчетов.

Предназначен для студентов специальностей 23.05.06 «Строительство железных дорог», 08.03.01 «Строительство», 12.03.01 «Приборостроение», 15.03.01 «Мехатроника и робототехника», 23.05.03 «Подвижной состав железных дорог», 23.05.04 «Эксплуатация железных дорог».

УДК 539.3/.6  
ББК 30.121

© Дудаев М. А., Алесковский С. Л., 2018  
© Иркутский государственный университет  
путей сообщения, 2018

## СОДЕРЖАНИЕ

СОДЕРЖАНИЕ .....	3
ПРЕДИСЛОВИЕ.....	4
1. Расчет ступенчатого стержня на прочность и жесткость при растяжении и сжатии .....	5
2. Расчет статически неопределимых стержневых систем .....	8
3. Расчет заклепочного соединения на срез и смятие .....	12
4. Расчет ступенчатого вала на прочность и жесткость при кручении.....	14
5. Геометрические характеристики плоских сечений .....	19
6. Плоское напряженное состояние в точке твердого тела.....	21
7. Расчет статически определимых балок на прочность при изгибе .	22
8. Расчет статически определимых рам на прочность при изгибе.....	28
9. Расчет статически определимых балок на жесткость при изгибе методом начальных параметров .....	32
10. Применение метода Мора-Верещагина к расчету статически неопределимых балок .....	34
11. Расчет статически неопределимых рам на прочность.....	36
12. Расчет вала на прочность и выносливость при совместном действии изгиба и кручения.....	41
13. Расчет бруса при внецентренном растяжении-сжатии .....	44
14. Расчет сжатого стержня на устойчивость.....	47
15. Расчет балки при ударном воздействии.....	48
16. Расчет балки на прочность при вынужденных колебаниях .....	50
Библиографический список.....	51
Приложение А .....	52
Приложение Б .....	53
Приложение В.....	56

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Проектирование легких и надежных конструкций, обладающих необходимой прочностью и долговечностью, возможно лишь на базе глубокого изучения общинженерных дисциплин. Среди таких дисциплин важное место принадлежит дисциплине «Сопротивление материалов». Изучение разделов курса сопротивления материалов в полной мере невозможно без практического решения задач.

В настоящем учебном издании приведены задания для самостоятельной работы студентов, охватывающие широкий круг разделов дисциплины, таких как растяжение и сжатие стержней, статически неопределимые системы, срез и смятие, геометрические характеристики плоских сечений, кручение валов, изгиб балок и рам, сложное сопротивление, устойчивость и динамическое нагружение. В приложениях приведены краткие справочные данные, полученные на основании проработки технических литературных источников, включая нормативные документы и государственные стандарты.

# **1. Расчет ступенчатого стержня на прочность и жесткость при растяжении и сжатии**

Чугунный ступенчатый стержень находится под действием сосредоточенных сил и погонных нагрузок. Ступени стержня имеют круглое поперечное сечение. Величины нагрузок, продольные размеры стержня материалов приведены в табл. 1.1. Физико-механические характеристики материалов приведены в приложении А.

Для заданной схемы стержня (рис. 1.1 – 1.2) требуется:

- 1) Составить аналитические выражения и построить эпюру продольных сил;
- 2) Из расчета на прочность определить требуемые размеры ступеней стержня;
- 3) Построить эпюру распределения нормальных напряжений по длине стержня;
- 4) Построить эпюру перемещений сечений стержня.

При оформлении работы обязательно требуется соблюдать пропорции продольных размеров стержня, а также, величин на эпюрах. Все три эпюры изображаются на одном рисунке совместно со схемой стержня.

Эпюры, не подчиняющиеся правилам контроля эпюр при растяжении-сжатии [4, 5], преподавателем не рассматриваются.

Таблица 1.1

**Числовые данные для стержней**

№ строки	№ расчетной схемы		Нагрузки			Длины участков				[n]	Материал
	1-я цифра схемы	2-я цифра схемы	$F_1$ , кН	$F_2$ , кН	$q$ , кН/м	$l_1$ , м	$l_2$ , м	$l_3$ , м	$l_4$ , м		
1	0	7	240	200	120	0,6	0,9	0,85	0,6	1,7	СЧ 12-28
2	1	4	360	350	150	0,75	0,8	0,75	0,65	1,2	СЧ 15-32
3	2	5	120	500	180	0,5	1,1	0,45	1,4	1,9	СЧ 18-36
4	2	8	390	300	210	0,95	1,2	1,15	1,0	2,0	СЧ 24-44
5	1	0	270	420	320	0,85	0,5	1,25	1,25	1,6	СЧ 35-56
6	0	2	330	180	160	0,9	0,7	1,15	0,85	2,5	СЧ 12-28
7	0	6	150	265	200	0,7	1,0	0,65	1,45	1,8	СЧ 15-32
8	1	1	250	340	250	0,55	1,4	0,95	1,2	1,3	СЧ 18-36
9	2	3	300	230	180	0,65	1,3	0,55	0,8	1,5	СЧ 24-44
0	2	9	350	400	130	0,8	0,6	1,05	0,4	1,4	СЧ 35-56
Цифра шифра	II	I	I	II	III	III	I	II	III	II	I

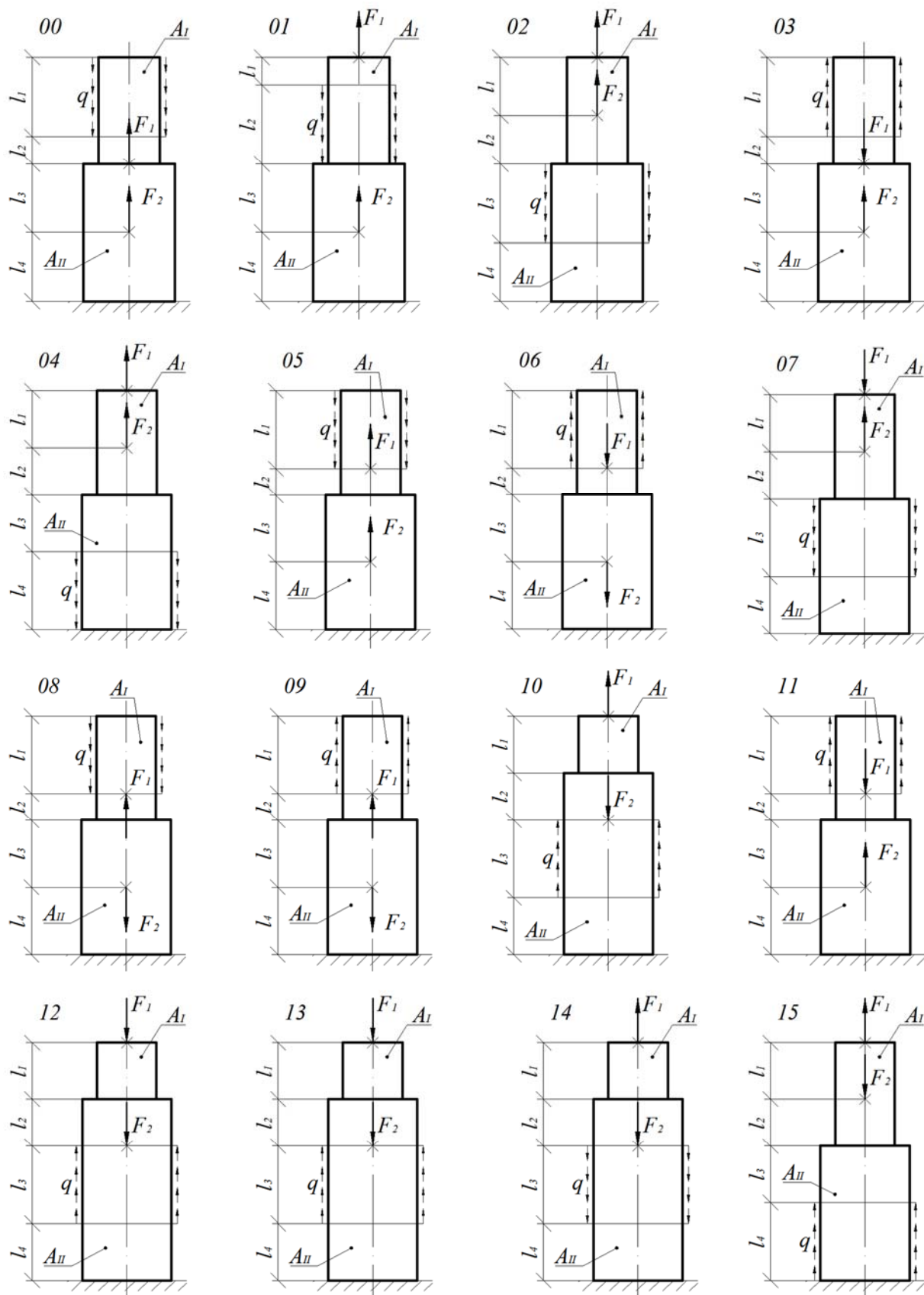


Рис. 1.1

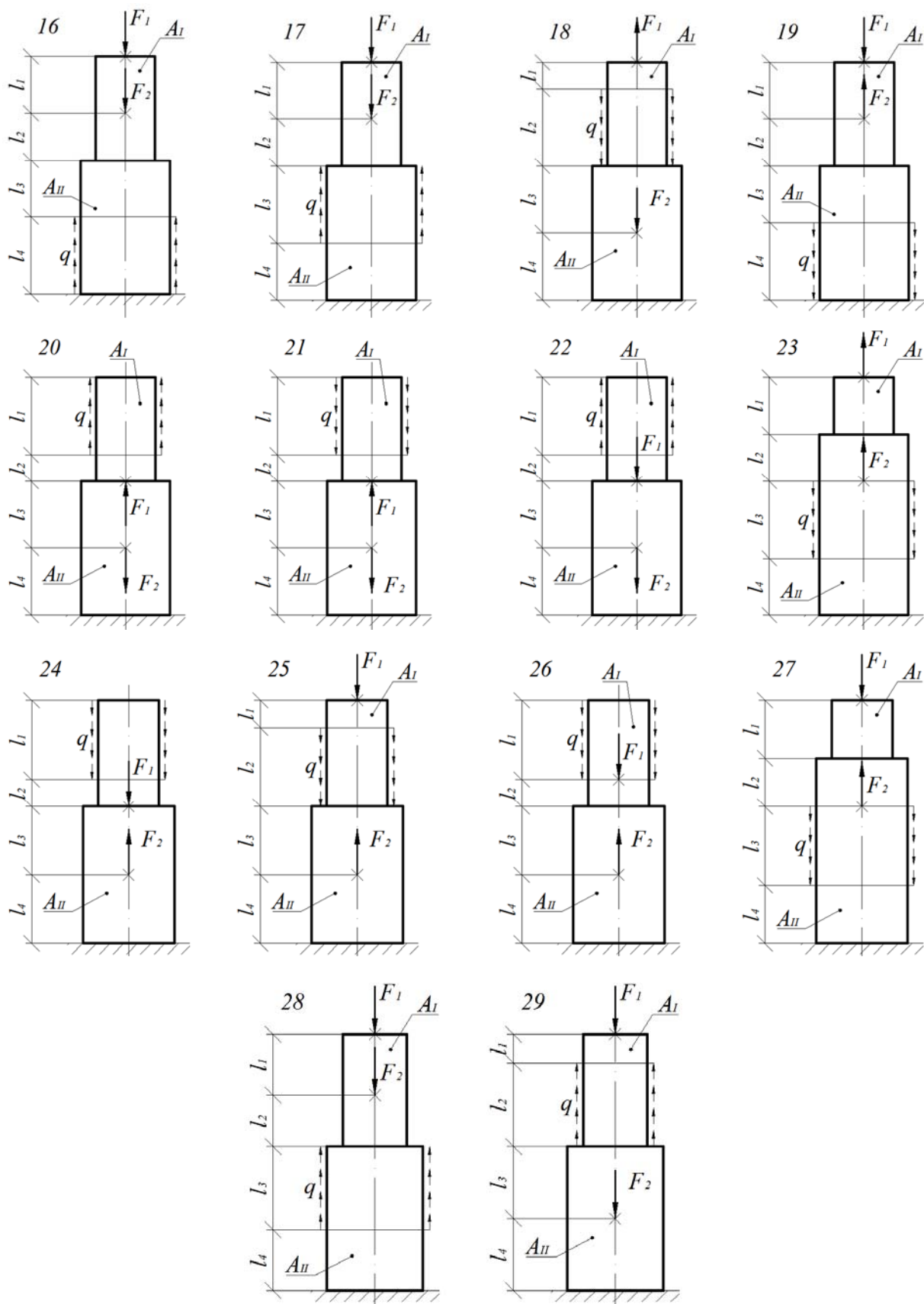


Рис. 1.2

## 2. Расчет статически неопределимых стержневых систем

Абсолютно жесткий брус, нагруженный внешней нагрузкой, опирается на шарнирно-неподвижную опору и поддерживается двумя металлическими стержнями квадратного поперечного сечения с заданным соотношением площадей. Стержень 1 имеет длину  $l_1$  и площадь поперечного сечения  $A_1$ , а стержень 2 – соответственно  $l_2$  и  $A_2$ . Стержни изготовлены из пластичного материала, модель работы которого следует полагать идеальной упругопластической. Величины нагрузок, продольные размеры элементов конструкции и соотношения площадей приведены в табл. 2.1. Физико-механические характеристики материалов приведены в приложении А.

Для заданной схемы стержневой системы (рис. 2.1 – 2.3) требуется:

- 1) Раскрыть статическую неопределимость, определив усилия в стержнях от заданной нагрузки;
- 2) Из расчета на прочность по методу допускаемых напряжений определить требуемые размеры сечений стержней, округлив их до 1 мм и сохранив пропорции между площадями;
- 3) Определить предельную и допускаемую грузоподъемность системы по методу предельных состояний (коэффициент запаса принять таким же, как для метода допускаемых напряжений);
- 4) Определить монтажные напряжения в стержнях, вызванные неточностью изготовления одного из стержней. Для четных вариантов принять  $\delta_1 = 0,5$  мм (длина стержня 1 больше номинальной); для нечетных  $\delta_2 = -0,6$  мм (длина стержня 2 меньше номинальной). Внешние нагрузки не учитывать;
- 5) Определить напряжения в стержнях, вызванные изменением температуры заданного стержня на величину  $\Delta t$ . Для четных вариантов принять  $\Delta t_1 = 30^\circ\text{C}$  мм (стержень 1 нагревается); для нечетных  $\Delta t_2 = -40^\circ\text{C}$  мм (стержень 2 охлаждается). Внешние нагрузки не учитывать.

При оформлении работы обязательно требуется соблюдать пропорции заданных линейных и угловых размеров элементов конструкции на рисунках.



Таблица 2.1

## Числовые данные для статически неопределимых стержневых систем

№ строки	№ расчетной схемы		Сила $F$ , кН	Длины стержней		Углы наклона стержней		Соотношение площадей $k = A_1/A_2$	Длины участков			[n]	Материал
	1-я цифра схемы	2-я цифра схемы		$l_1$ , м	$l_2$ , м	$\alpha_1$ , град	$\alpha_2$ , град		$a$ , м	$b$ , м	$c$ , м		
1	2	1	250	0,5	2,0	15	55	0,25	3,0	1,0	0,5	1,7	Ст3
2	1	3	300	0,8	1,8	25	15	0,4	2,8	1,2	0,6	1,2	Ст4
3	0	5	350	1,0	1,75	30	35	0,5	2,5	1,5	0,7	1,9	Ст5
4	0	7	400	1,2	1,6	40	25	0,8	2,4	1,8	0,8	2,0	20
5	1	9	450	1,5	1,5	45	70	1,25	2,2	2,0	0,9	1,6	40Х
6	2	0	500	1,6	1,4	50	30	1,5	2,0	2,2	1,0	2,5	45
7	2	2	550	1,4	1,2	60	60	1,6	1,8	2,4	1,1	1,8	АЛ-4
8	1	4	600	1,25	1,0	70	40	1,8	1,5	2,5	1,2	1,3	АК-4
9	0	6	650	0,6	0,8	35	50	2,0	1,2	2,8	1,3	1,5	АД-16
0	2	8	700	0,9	0,5	55	45	2,5	1,0	3,0	1,4	1,4	Д-16Г
Цифра шифра	II	I	I	II	III	I	II	III	III	I	II	II	I

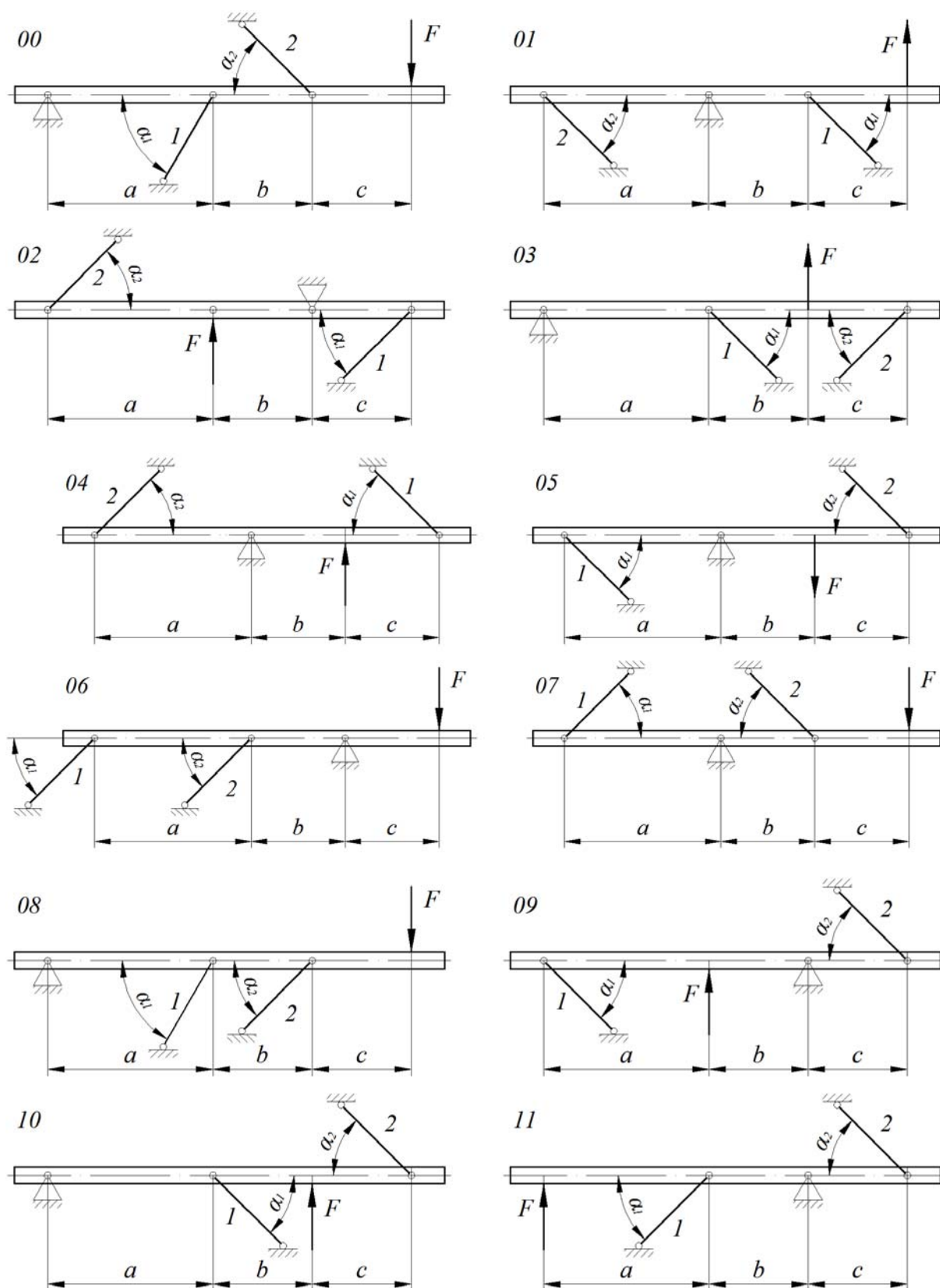


Рис. 2.1

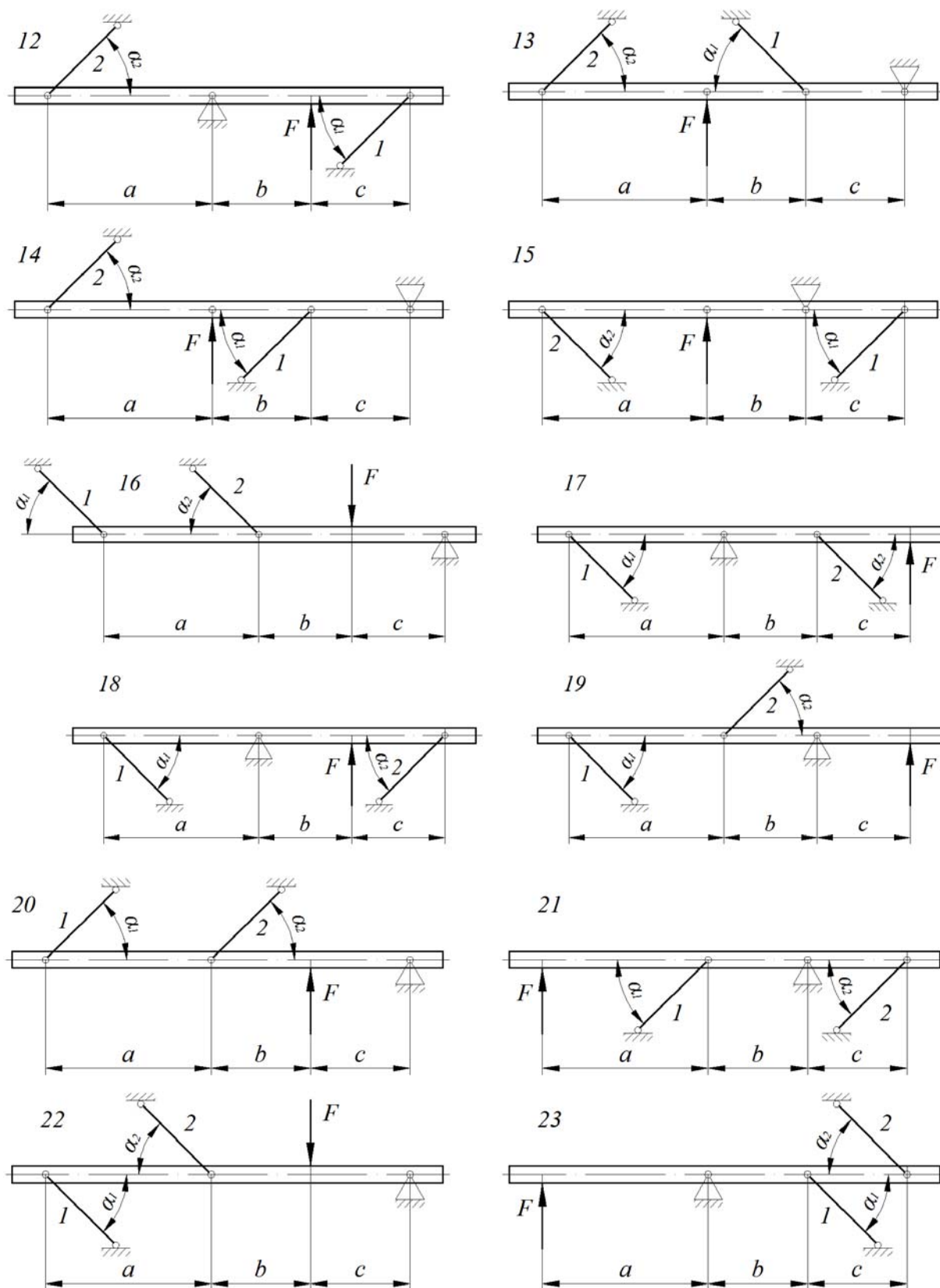


Рис. 2.2

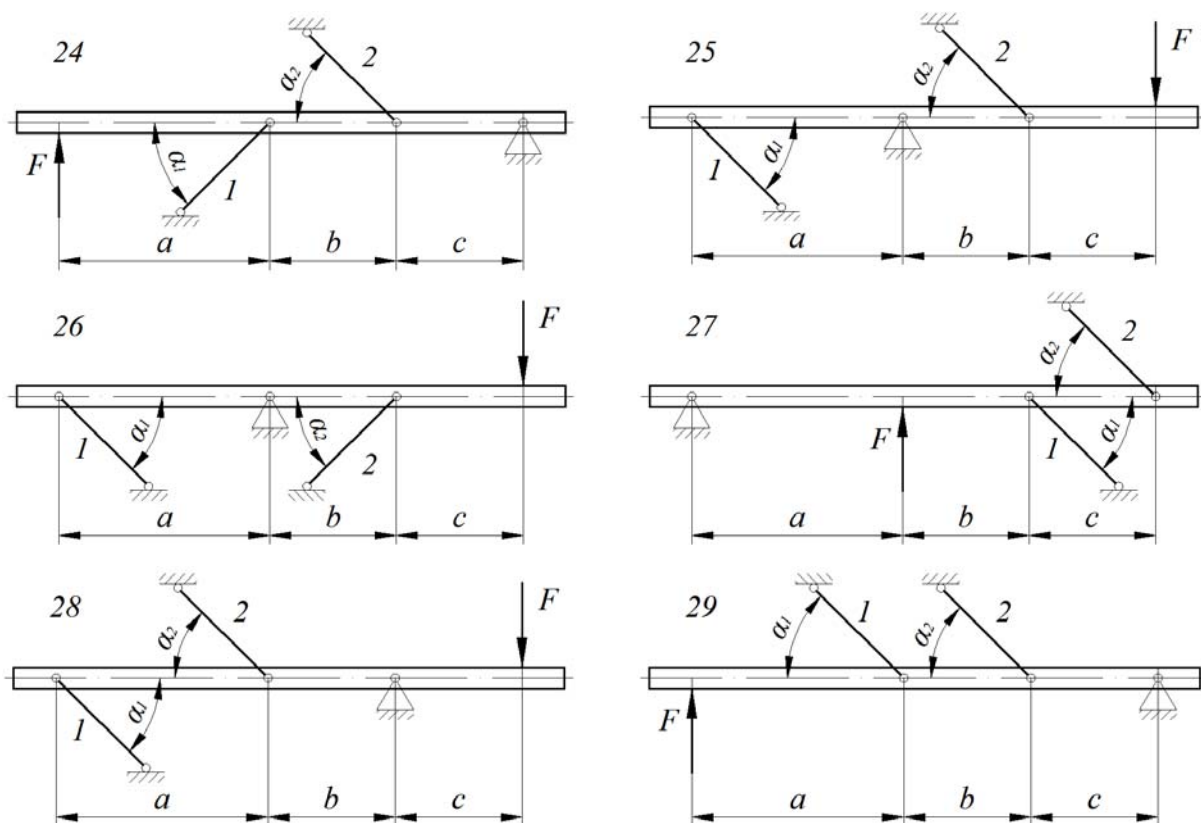


Рис. 2.3

### 3. Расчет заклепочного соединения на срез и смятие

Пакет дюралюминиевых листов общей толщиной  $s$  (материал листов Д16Т;  $[\sigma] = 250$  МПа) соединен многорядным шахматным заклепочным швом (рис. 3.1). Величины нагрузок, размеры листов и материалы заклепок приведены в табл. 3.1.

Для листового пакета требуется:

- 1) Определить потребный диаметр заклепок ( $d = 2\sqrt{s}$ ) и округлить их до ближайшего большего из ряда (в мм) 1,0; 1,2; 1,6; 1,4; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0; 12,0; 14,0; 16,0; 18,0; 20,0; 22,0; 24,0; 30,0; 36,0;
- 2) Из расчета на прочность на срез и смятие определить потребное количество заклепок. Принять для листа  $[\sigma]_{см} = 1,3[\sigma]$ ;
- 3) Назначить шаг заклепок в пределах от 4 до 8 диаметров заклепки и распределить заклепки по рядам, определив таким образом потребное количество рядов. Расстояние между рядами принять равными половине шага;
- 4) Вычислить действующие касательные напряжения в стержнях заклепок, максимальные напряжения смятия в листах и максимальные нормальные напряжения в листах (вызванные растяжением листов) с учетом наличия отверстий;
- 5) Привести чертеж соединения, указав вид сверху и сбоку. Обозначить центры заклепок.

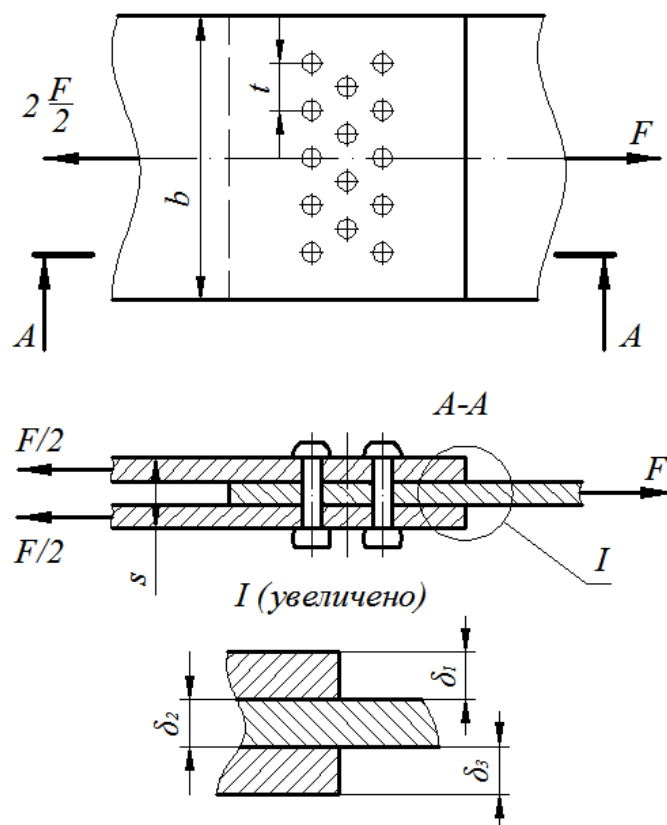


Рис. 3.1

Таблица 3.1

Числовые данные к задаче

№ строки	$F$ , кН	$b$ , м	Толщины листов, мм			$\tau_y$ , МПа	$[n]$
			$\delta_1$	$\delta_2$	$\delta_3$		
1	200	1,00	0,5	3,0	2,0	400	2,5
2	220	1,20	0,6	2,5	1,9	380	2,4
3	240	1,25	0,7	2,0	1,8	350	2,2
4	250	1,40	0,8	1,9	1,6	320	2,0
5	280	1,50	0,9	1,8	1,5	300	1,8
6	300	1,60	1,0	1,6	1,2	280	1,6
7	320	1,75	1,2	1,5	1,0	270	1,5
8	350	1,80	1,5	1,2	0,9	250	1,3
9	380	1,90	1,6	1,0	0,8	220	1,2
0	400	2,00	1,8	0,8	0,6	200	1,1
Цифра шифра	I	II	III	II	I	II	III

#### **4. Расчет ступенчатого вала на прочность и жесткость при кручении**

Металлический ступенчатый вал находится под действием сосредоточенных скручивающих моментов. Величины нагрузок, продольные размеры вала и соотношения размеров поперечных сечений приведены в табл. 4.1. Физико-механические характеристики материалов приведены в приложении А

Для заданной схемы вала (рис. 4.1 – 4.4) требуется:

- 1) Составить аналитические выражения и построить эпюру крутящего момента;
- 2) Из расчета на прочность определить безопасные размеры поперечных сечений и округлить до размеров, кратных 5 мм;
- 3) В масштабе изобразить поперечные сечения вала на каждом силовом участке и построить эпюры распределения касательных напряжений;
- 4) Построить эпюру абсолютных углов закручивания по длине вала.

Обязательно требуется соблюдать пропорции продольных размеров вала, размеров сечений при построении эпюр напряжений, а также, величин на эпюрах. При определении коэффициентов  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\eta$  для прямоугольного сечения следует использовать линейную интерполяцию. Для стали принять во всех вариантах  $G = 80000$  МПа.

Эпюры, не подчиняющиеся правилам контроля эпюр при кручении [4, 5], преподавателем не рассматриваются.

Таблица 4.1

## Числовые данные для валов

№ строки	№ расчетной схемы		Скручивающие моменты, кНм				Длины участков, м				Соотношения размеров		[n]	Материал
	1-я цифра схемы	2-я цифра схемы	$M_1$	$M_2$	$M_3$	$M_4$	$l_1$	$l_2$	$l_3$	$l_4$	$c = \frac{h}{b}$	$k = \frac{d}{D}$		
1	0	7	1,00	5,0	7,0	1,0	0,10	0,4	0,5	0,20	1,0	0,50	1,7	Ст3
2	1	4	1,25	4,8	6,0	1,5	0,15	0,38	0,48	0,22	1,2	0,55	1,2	Ст4
3	2	5	1,50	4,5	5,0	2,0	0,20	0,35	0,45	0,25	1,5	0,60	1,9	Ст5
4	2	8	1,75	4,2	4,0	2,5	0,25	0,32	0,42	0,28	1,8	0,65	2,0	20
5	1	0	2,00	4,0	3,0	3,0	0,30	0,30	0,40	0,3	2,0	0,70	1,6	40Х
6	0	2	2,25	3,6	2,0	3,5	0,35	0,28	0,38	0,35	2,2	0,75	2,5	45
7	0	6	2,50	3,5	1,0	4,0	0,40	0,25	0,35	0,32	2,5	0,80	1,8	АЛ-4
8	1	1	2,75	3,2	1,5	4,5	0,36	0,24	0,32	0,38	2,8	0,85	1,3	АК-4
9	2	3	3,00	3,0	2,5	5,0	0,32	0,20	0,30	0,40	3,0	0,90	1,5	АД-16
0	2	9	3,25	2,5	3,5	5,5	0,24	0,22	0,25	0,42	1,6	0,95	1,4	Д16Т
Цифра шифра	II	I	I	II	III	I	III	I	II	III	III	II	I	III

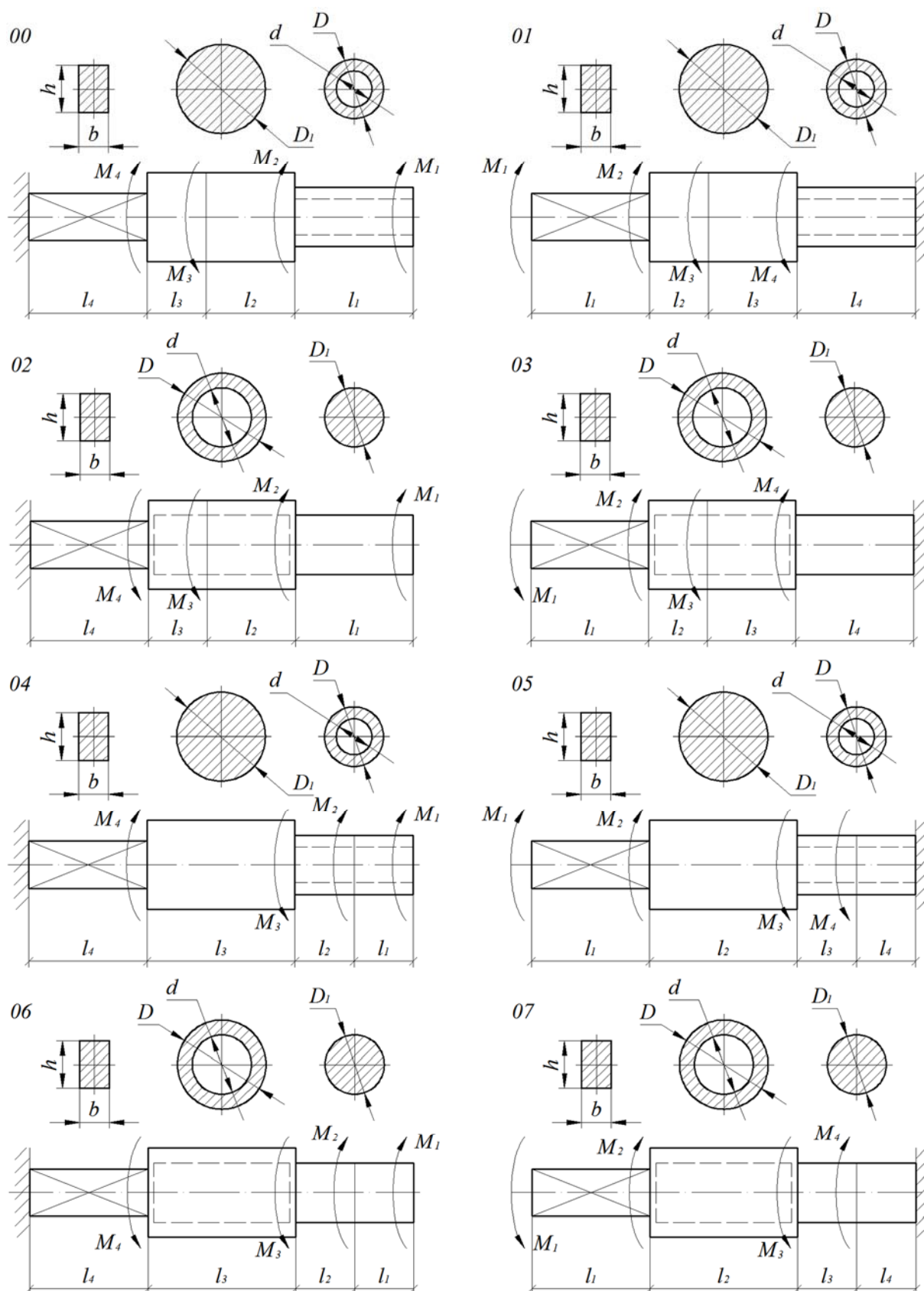


Рис. 4.1



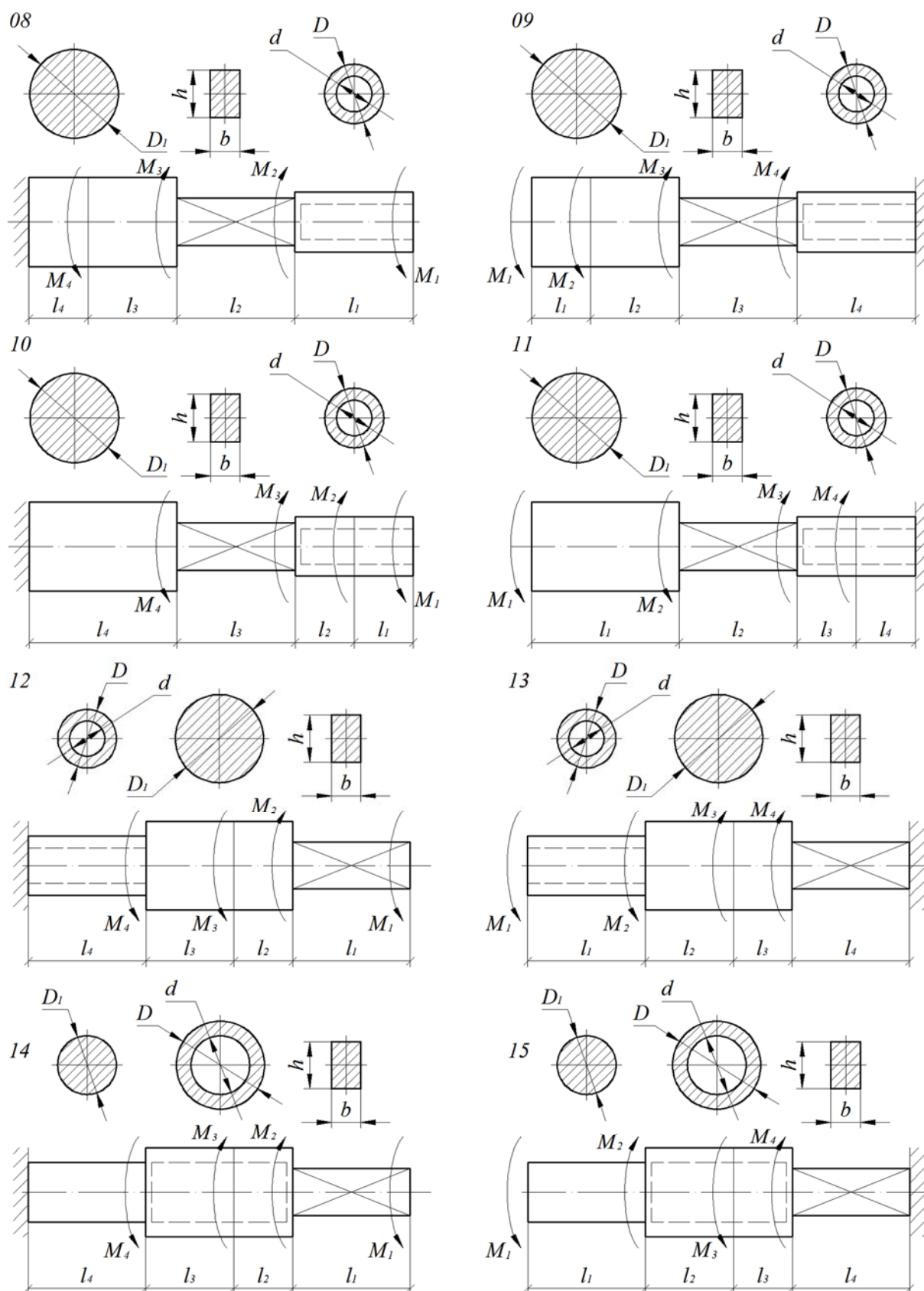


Рис. 4.2

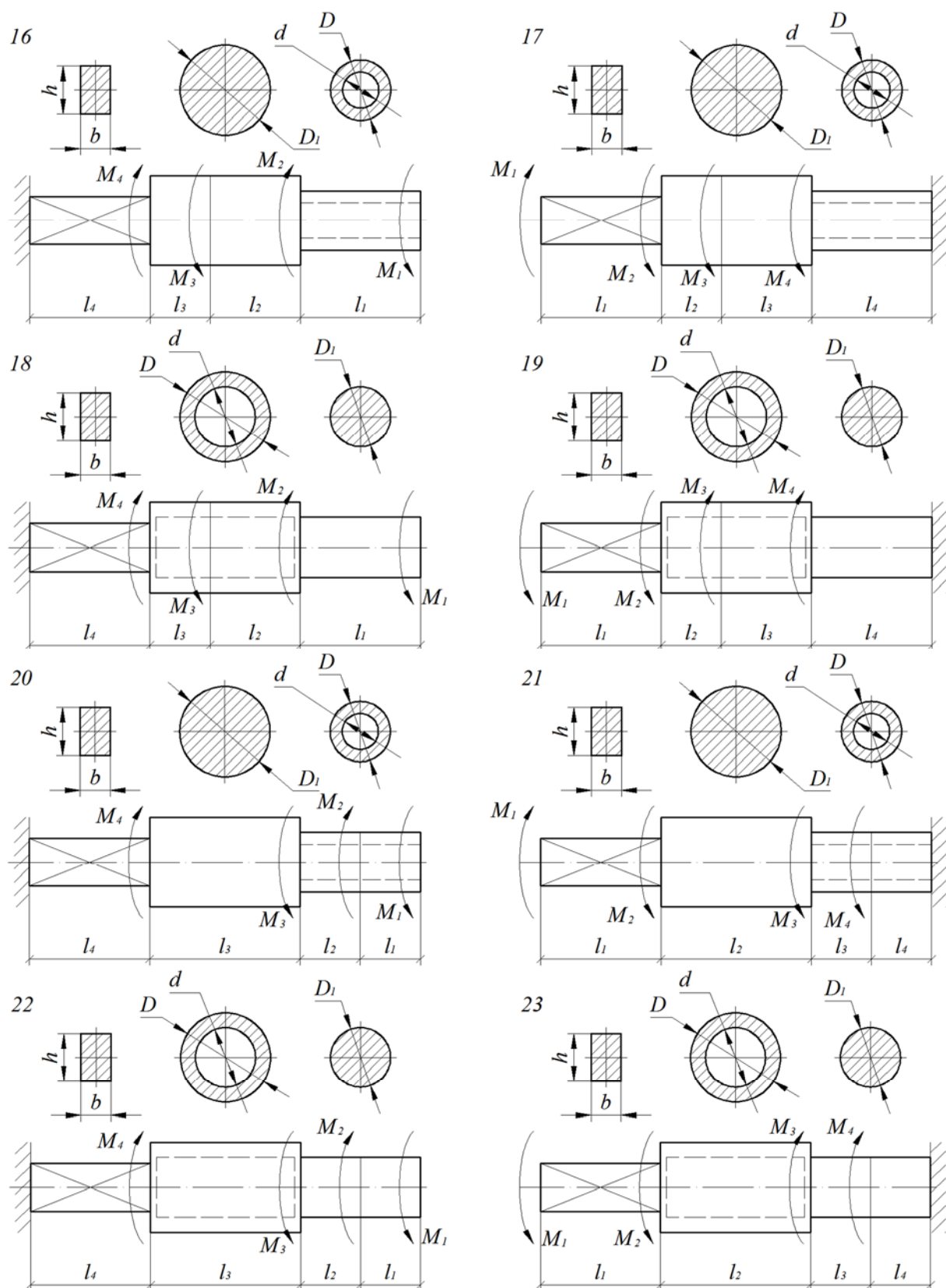


Рис. 4.3

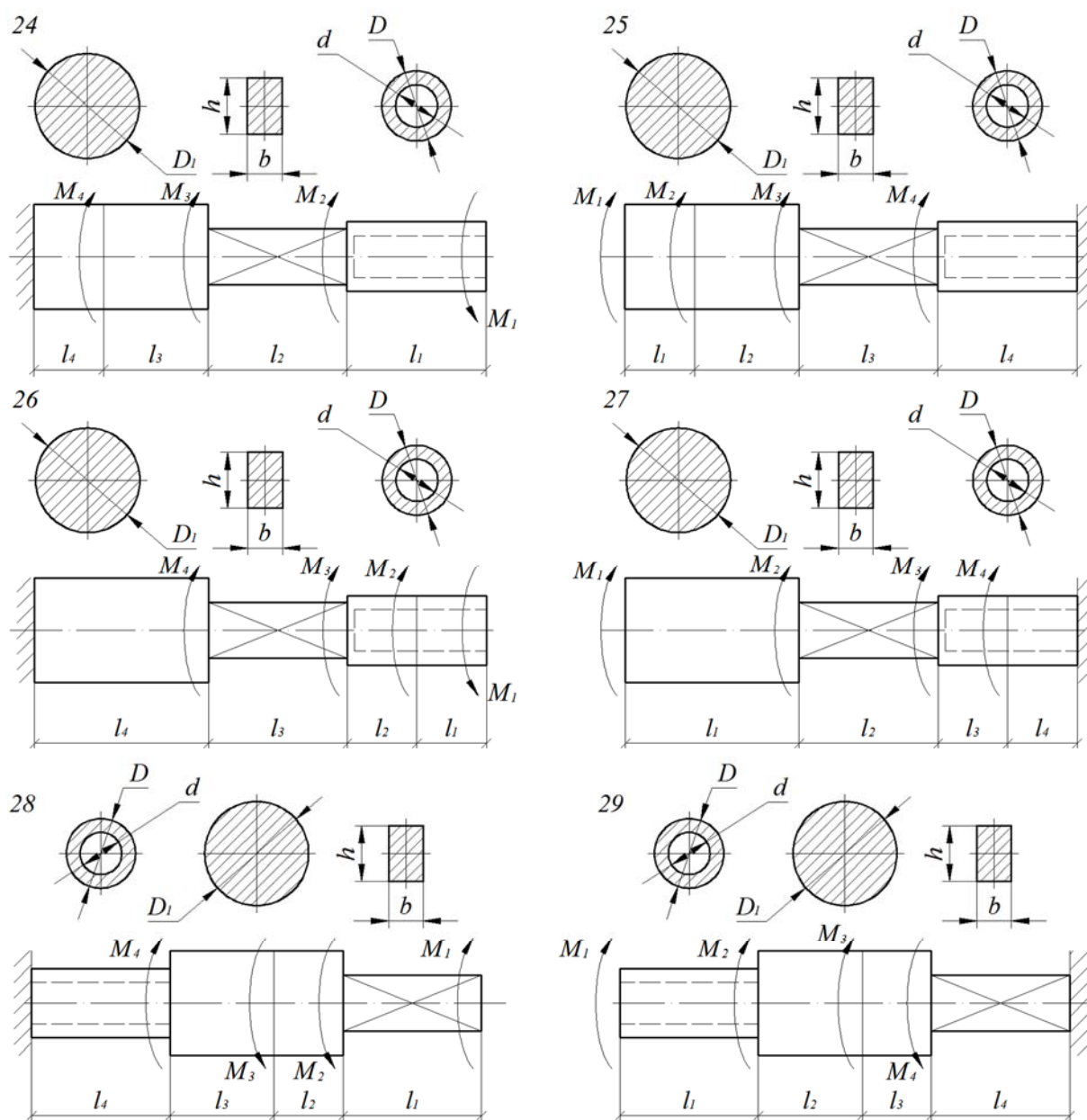


Рис. 4.4

## 5. Геометрические характеристики плоских сечений

Используя данные табл. 5.1 для заданной схемы поперечного сечения (рис. 5.1 – 5.2), требуется:

- 1) Определить положение центра тяжести;
- 2) Вычислить центральные осевые моменты инерции;
- 3) Определить положение главных центральных осей инерции;
- 4) Вычислить величины главных центральных осевых моментов инерции и радиусов инерции;
- 5) Вычислить величины осевых моментов сопротивления. Расстояния до наиболее удаленных от главных осей точек определить построением;

- 6) Изобразить сечение в масштабе, показать на нем все используемые в расчетах размеры, оси положения центров тяжести и построить эллипс инерции.

Таблица 5.1

Исходные данные для поперечных сечений

№ строки	Расчетная схема		Номер двутавра или швеллера	Уголок равнополочный	Уголок неравнополочный	Пластина	
	1-я цифра схемы	2-я цифра схемы				Ширина $b$ , мм	Толщина $h$ , мм
1	0	0	10	50×4	45×28×4	150	8
2	1	9	12	56×5	45×28×3	160	10
3	2	8	14	63×5	50×32×3	170	12
4	0	7	16	70×5	50×32×4	180	15
5	1	6	18	70×7	56×36×4	190	16
6	2	5	18a	75×5	56×36×5	200	18
7	0	4	20	75×6	56×36×4	220	20
8	1	3	20a	75×7	63×40×4	240	22
9	2	2	22	75×9	63×40×5	250	9
0	0	1	22a	80×6	63×40×6	300	14
Цифра шифра	III	II	I	II	III	I	II

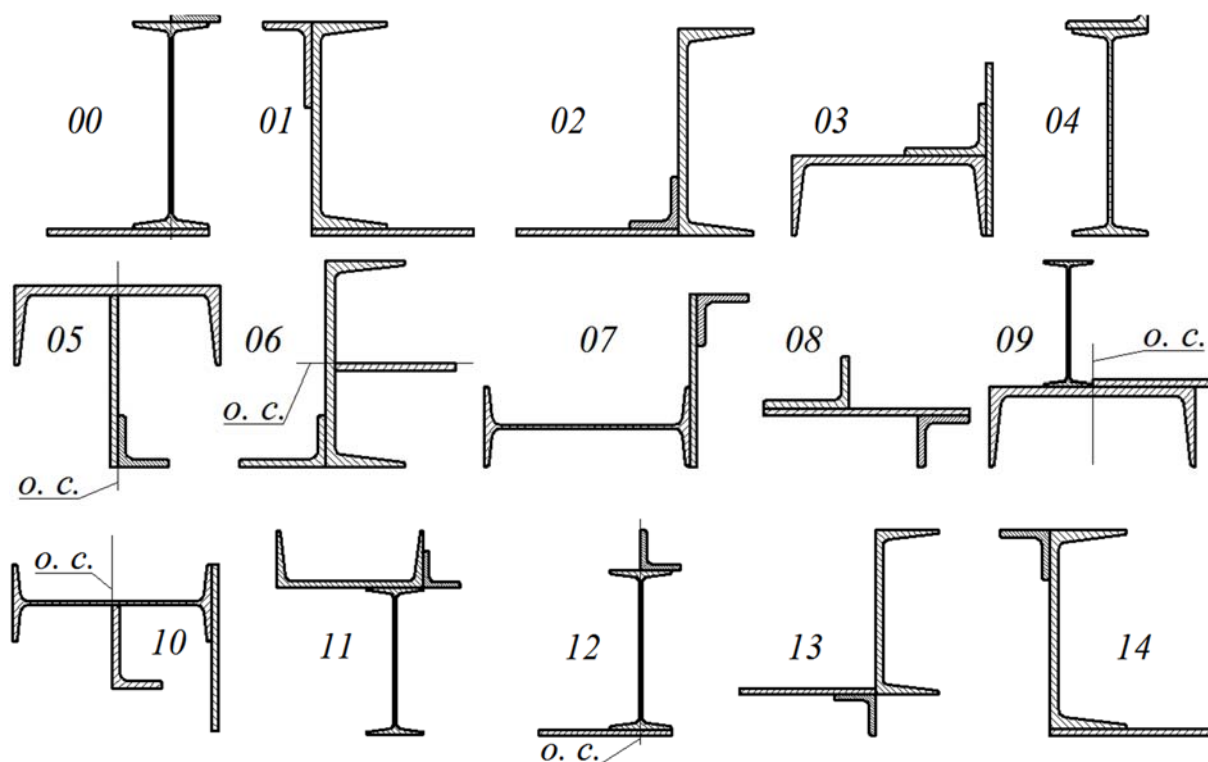


Рис. 5.1

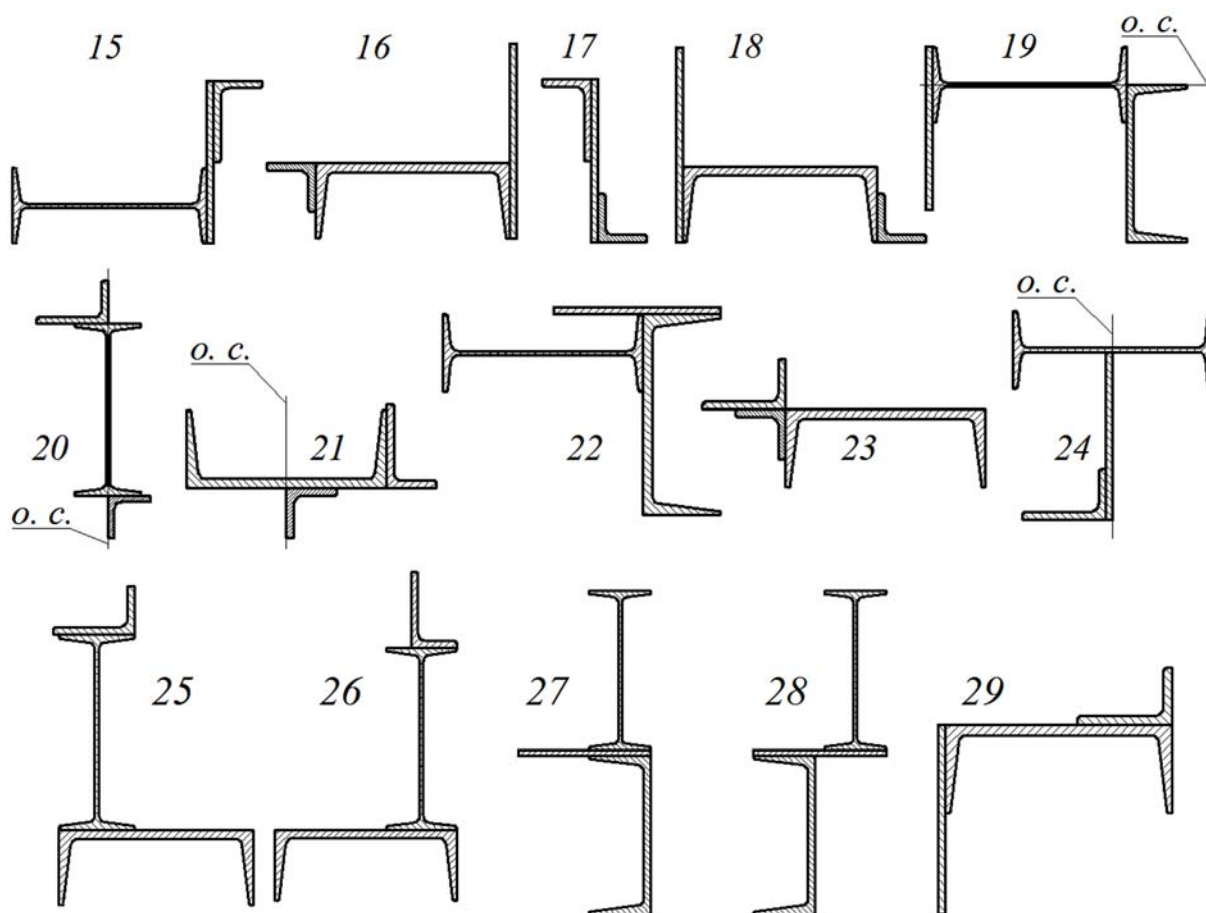


Рис. 5.1

## 6. Плоское напряженное состояние в точке твердого тела

Внутри тела, находящегося под действием внешних нагрузок, выделен бесконечно малый элемент объема в форме параллелепипеда с ребрами, параллельными координатным осям. На гранях параллелепипеда действуют известные напряжения  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{yx}$  (рис. 6.1). На рис. 6.1 показаны положительные направления напряжений.

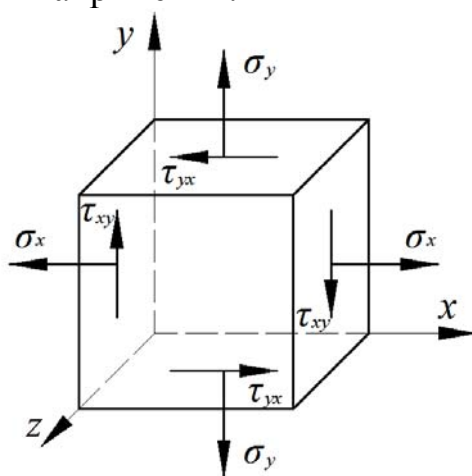


Рис. 6.1

Требуется:

- 1) Изобразить элемент объема, указав на нем истинные направления напряжений и учитывая, что  $\tau_{yx} = -\tau_{xy}$ ;
- 2) Определить аналитически и графически (с помощью круга Мора) главные напряжения  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ , и проверить правильность их определения;
- 3) Определить аналитически и графически направление главных площадок;
- 4) Показать на рисунке положение элемента, ограниченного главными площадками, относительно координатных осей и направления главных напряжений;
- 5) Определить величины главных деформаций, относительное изменение объема тела, удельную потенциальную энергию в окрестности данной точки тела;
- 6) Проверить прочность в точке тела по I, II, III и IV теориям прочности. Числовые данные к задаче взять из табл. 6.1.

Таблица 6.1

**Числовые данные к задаче**

№ строки	$\sigma_x$ , МПа	Знак $\sigma_x$	$\sigma_y$ , МПа	Знак $\sigma_y$	$\tau_{xy}$ , МПа	Знак $\tau_{xy}$	$E$ , ГПа	$\mu$	$[\sigma]$ , МПа
1	45	+	80	+	70	–	220	0,3	100
2	60	–	30	+	30	–	210	0,3	130
3	50	+	70	+	35	+	200	0,3	110
4	20	–	45	–	45	+	190	0,3	145
5	70	+	35	–	40	–	70	0,33	120
6	90	–	50	–	50	–	72	0,33	80
7	80	+	40	+	55	+	68	0,33	155
8	40	–	90	+	65	+	75	0,33	90
9	30	+	60	–	75	–	115	0,25	160
0	100	–	75	–	60	+	110	0,25	140
Цифра шифра	I	II	II	III	III	I	II	II	III

## 7. Расчет статически определимых балок на прочность при изгибе

Стальные балки постоянного поперечного сечения находится под действием сосредоточенных и погонных нагрузок. Величины нагрузок, продольные размеры балок, соотношения размеров поперечных сечений и физико-механические характеристики материалов приведены в табл. 7.1.

Для заданных двух схем балок (рис. 7.1 – 7.4) требуется:

- 1) Определить реакции опор (только для шарнирно-опертой балки);

- 2) Составить аналитические выражения и построить эпюры внутренних силовых факторов;
- 3) Из расчета на прочность определить размеры поперечных сечений:
  - а) для консольной балки – круглого, кольцевого (с соотношением диаметров  $d/D = \alpha$ ), квадратного, прямоугольного (с соотношением сторон  $h/b = c$ ), двутаврового;
  - б) для шарнирно опертой балки – двутаврового и сдвоенного по ширине швеллера. При нехватке двух швеллеров использовать четыре.
- 4) Для консольной балки сравнить вес используемых профилей по отношению к двутавровому профилю. Оценку веса производить по площади поперечного сечения. Результаты свести в таблицу;
- 5) Для опасного сечения шарнирно опертой двутавровой балки определить величины нормальных и касательных напряжений в характерных точках, схематично показать сечение и построить эпюры напряжений;
- 6) Провести проверку балки на прочность в опасной точке (в сечении с неблагоприятным сочетанием поперечной силы и изгибающего момента), расположенной на границе полки и стенки по III гипотезе прочности.

Обязательно требуется соблюдать пропорции продольных размеров балок, размеров сечений при построении эпюр напряжений, а также, величин на эпюрах. На эпюре изгибающего момента обязательно определяются экстремумы (при наличии). Эпюры, не подчиняющиеся правилам контроля эпюр при изгибе [4, 5], преподавателем не рассматриваются.

Таблица 7.1

**Числовые данные для статически определимых балок**

№ строки	№ расчетной схемы		Нагрузки			Длины участков, м			Соотношения		[n]	$\sigma_y$ , МПа
	1-я цифра схемы	2-я цифра схемы	$q$ , кН/м	$F$ , кН	$M$ , кНм	$l_1$	$l_2$	$l_3$	$c$	$\alpha$		
1	0	7	10	40	40	1,0	2,5	2,5	1,0	0,50	1,7	420
2	1	4	15	60	36	1,2	2,4	2,4	1,2	0,55	1,4	380
3	2	5	20	50	35	1,4	2,2	2,2	1,5	0,60	1,5	350
4	2	8	25	45	32	1,5	2,0	2,0	1,8	0,65	1,3	320
5	1	0	30	55	30	1,6	1,8	1,8	2,0	0,70	1,8	300
6	0	2	35	30	28	1,8	1,6	1,6	2,2	0,75	2,5	280
7	0	6	40	35	27	2,0	1,5	1,5	2,5	0,80	1,6	250
8	1	1	36	20	25	2,2	1,4	1,4	2,8	0,85	2,0	240
9	2	3	24	25	24	2,4	1,2	1,2	3,0	0,90	1,9	220
0	2	9	18	65	20	2,5	1,0	1,0	1,6	0,95	1,2	200
Цифра шифра	III	I	I	II	III	III	I	II	III	II	I	III

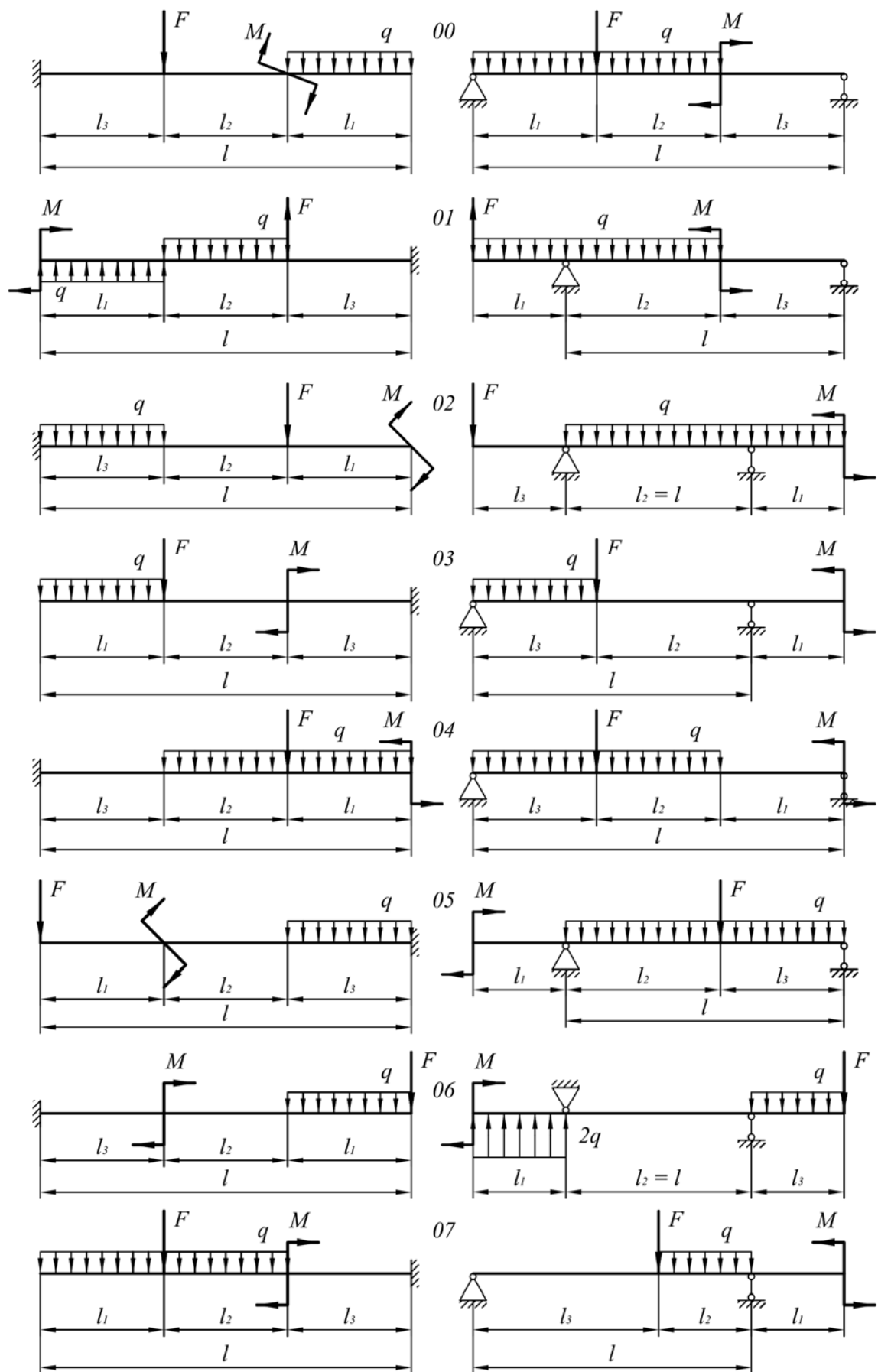


Рис. 7.1



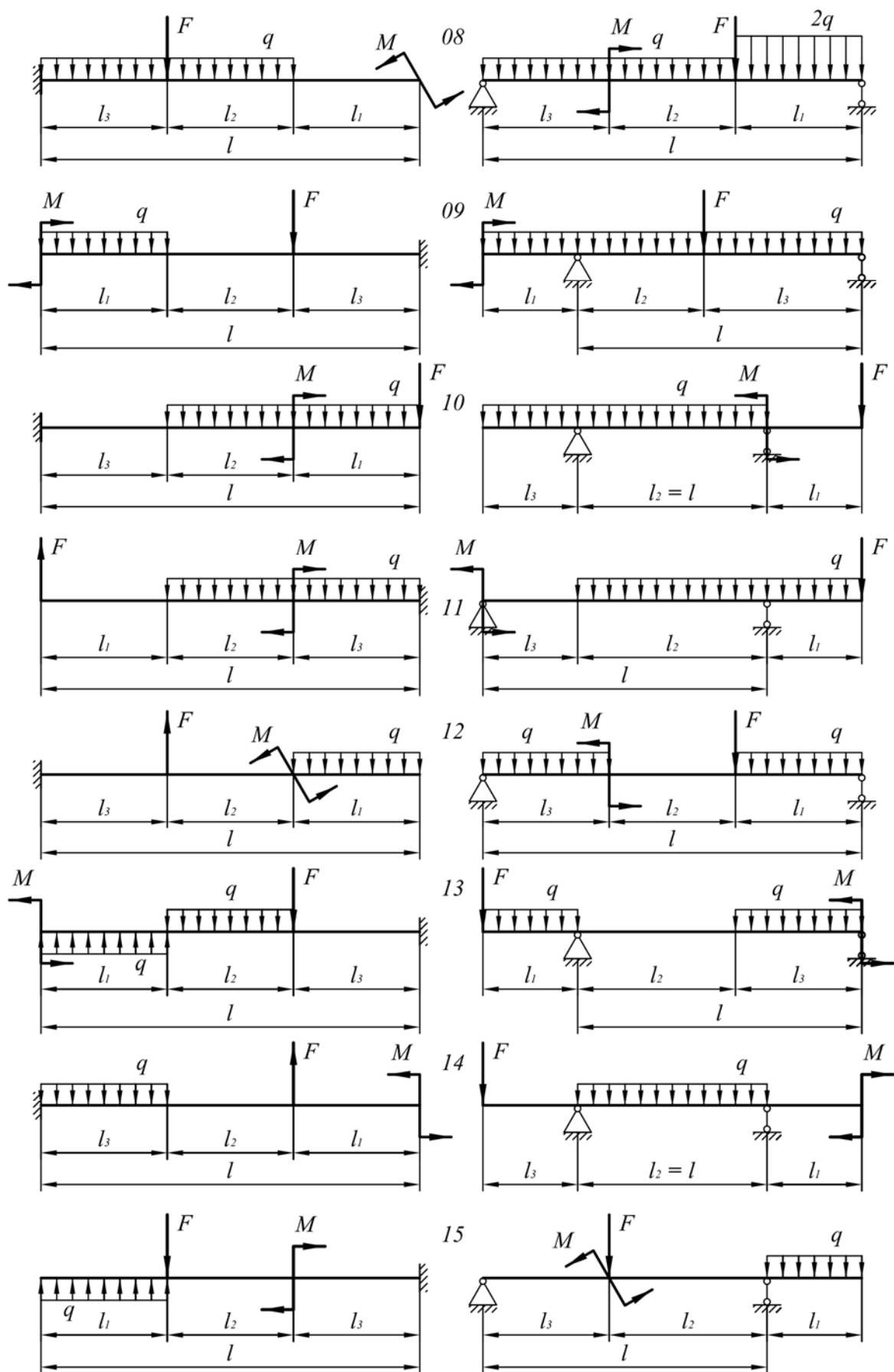


Рис. 7.2

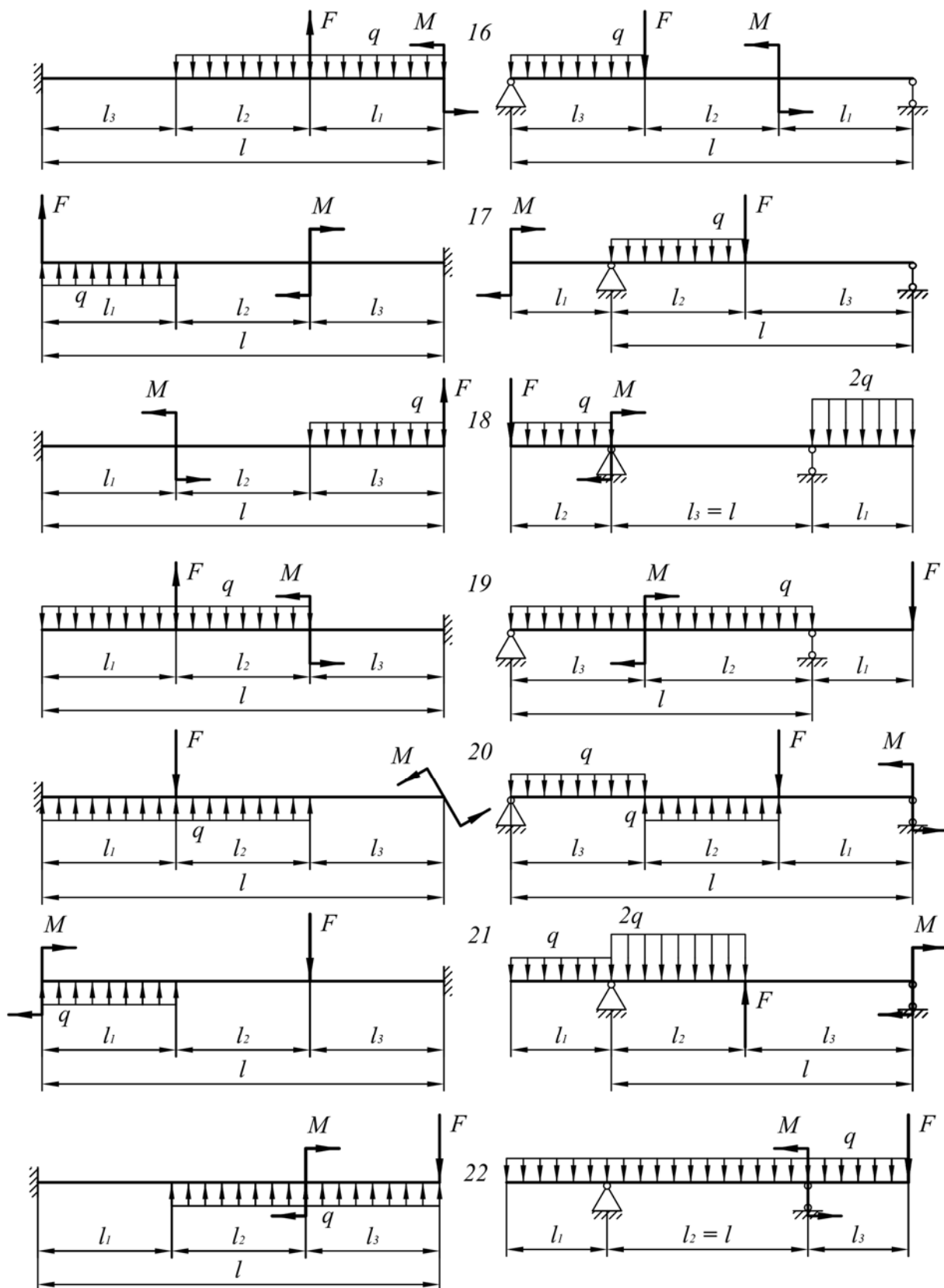


Рис. 7.3

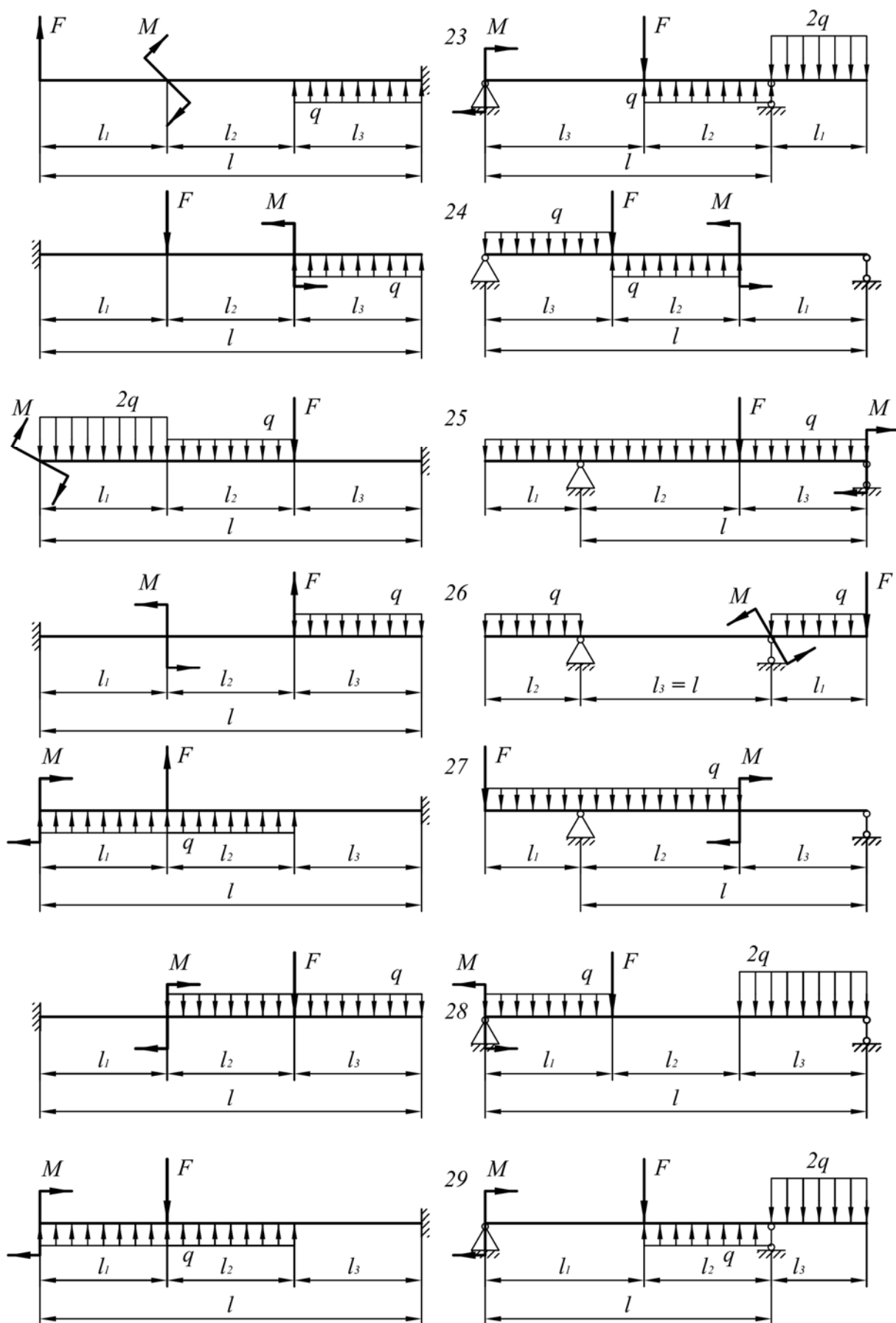


Рис. 7.4

## 8. Расчет статически определимых рам на прочность при изгибе

Стальная рама постоянного поперечного сечения находится под действием сосредоточенных и погонных нагрузок. Величины нагрузок и размеры рам приведены в табл. 8.1.

Для заданной схемы рамы (рис. 8.1 – 8.3) требуется:

- 1) Определить реакции опор, составить аналитические выражения и построить эпюры внутренних силовых факторов;
- 2) Из расчета на прочность (для всех вариантов принять  $[\sigma] = 160$  МПа) определить безопасные размеры двутаврового и кольцевого (с соотношением диаметров  $\alpha = d/D = 0,9$ ) поперечных сечений. При невозможности обеспечения прочности двутавровым сечением применить два двутавра по ширине;
- 3) Провести статическую узловую проверку;
- 4) Для кольцевого поперечного сечения проверить прочность рамы с учетом действия изгибающего момента и продольной силы; построить эпюры действующих напряжений от изгибающего момента, продольной силы и суммарных нормальных напряжений.

Обязательно требуется соблюдать пропорции размеров рам, размеров поперечных сечений при построении эпюр, а также, самих величин на эпюрах. На эпюре изгибающего момента обязательно определяются экстремумы (при наличии).

Эпюры, не подчиняющиеся правилам контроля эпюр при изгибе [4, 5], преподавателем не рассматриваются.

Таблица 8.1

Исходные данные для статически определимых рам

№ строки	№ расчетной схемы		Длины силовых участков, м				$q$ , кН/м	$F$ , кН	$M$ , кНм
	1-я цифра схемы	2-я цифра схемы	$l_1$ , м	$l_2$ , м	$l_3$ , м	$l_4$ , м			
1	2	9	1,0	1,0	2,5	2,5	10	40	40
2	1	8	1,2	1,8	1,4	2,2	15	60	36
3	0	7	1,4	1,2	1,6	1,4	20	50	35
4	2	6	1,5	1,6	1,8	1,5	25	45	32
5	1	5	1,6	1,5	2,2	1,2	30	55	30
6	0	4	1,8	2,2	2,0	2,0	35	30	28
7	2	3	2,0	2,4	1,0	2,4	40	35	27
8	1	2	2,2	2,5	1,2	1,8	36	20	25
9	0	1	2,4	1,4	1,5	1,6	24	25	24
0	1	0	2,5	2,0	2,4	1,0	18	65	20
Цифра шифра	II	III	I	II	III	I	I	II	III

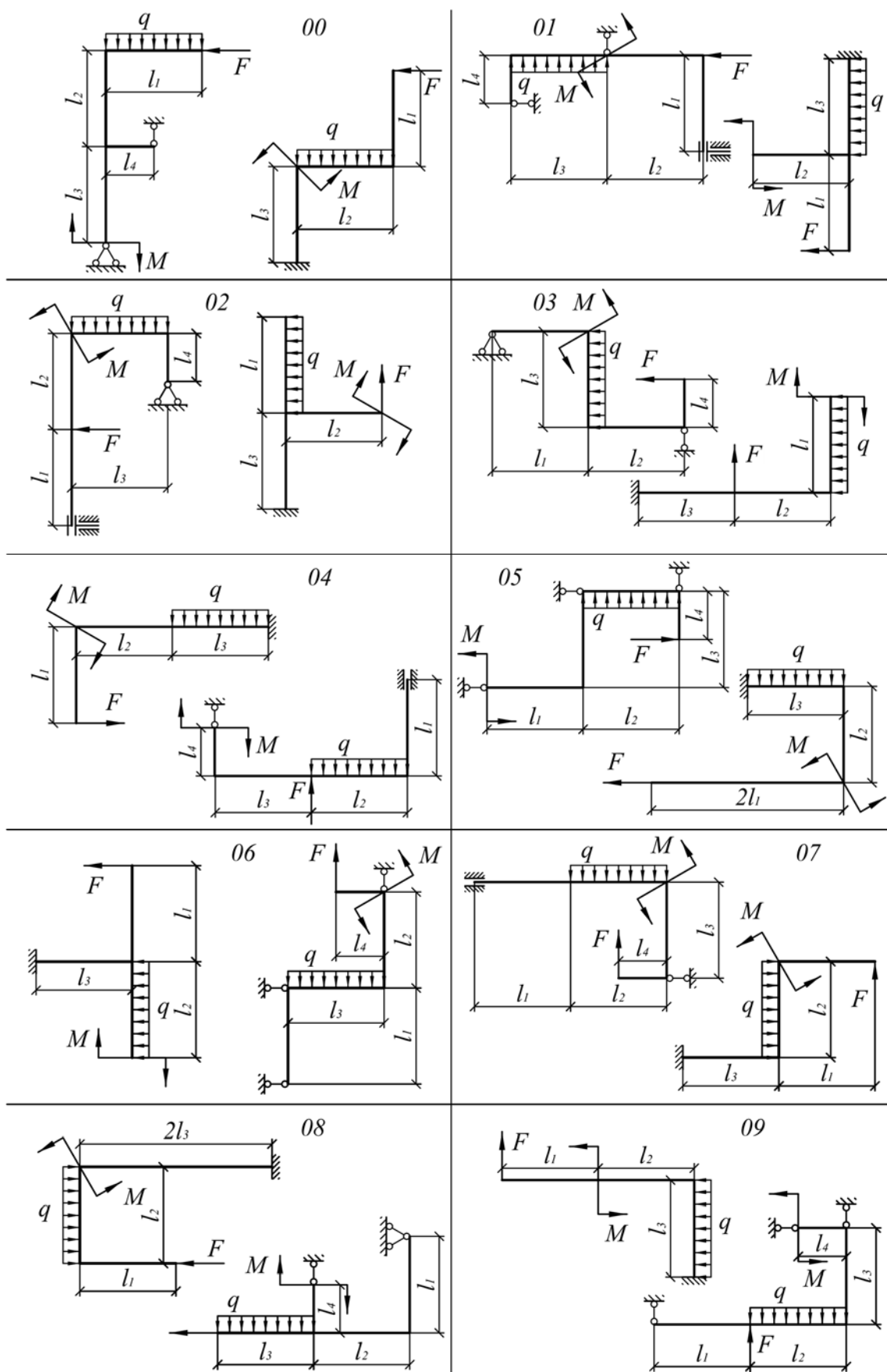


Рис. 8.1

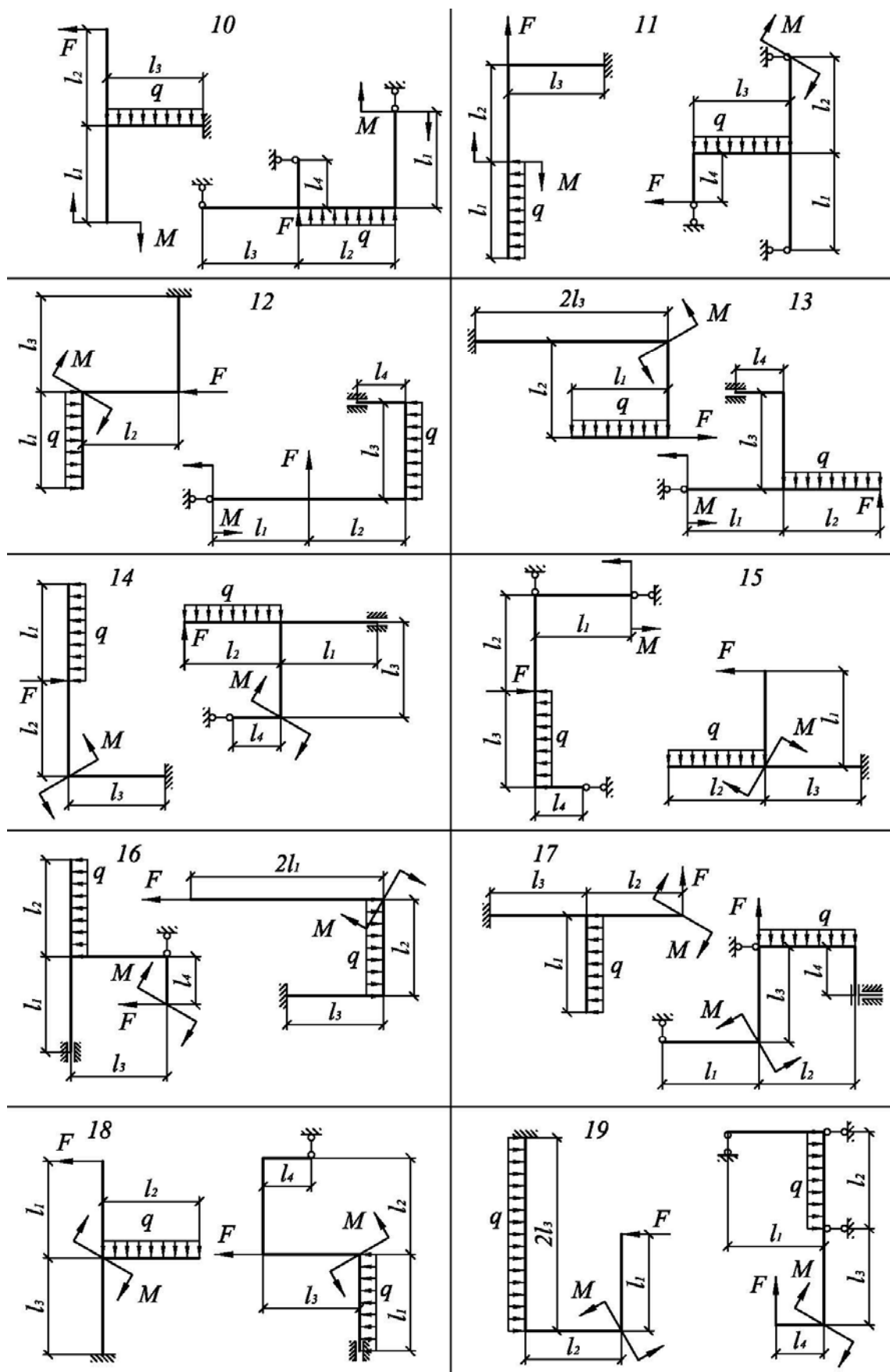


Рис.

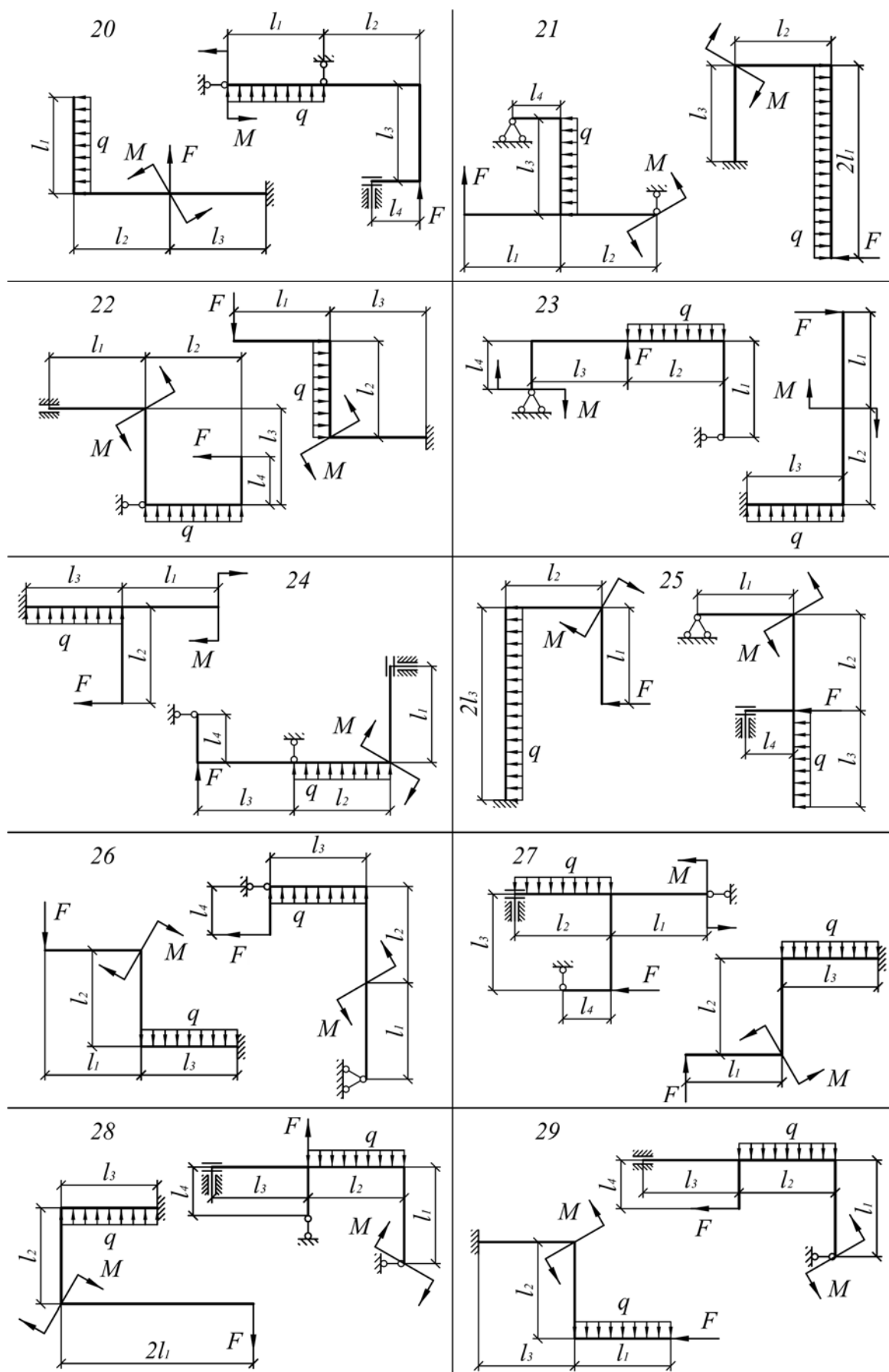


Рис. 8.3

## 9. Расчет статически определимых балок на жесткость при изгибе методом начальных параметров

Стальная балка ( $E = 210000$  МПа) постоянного поперечного сечения находится под действием сосредоточенных и погонных нагрузок. Величины нагрузок, продольные размеры балки и физико-механические характеристики материалов приведены в табл. 9.1.

Для заданной схемы балки (рис. 9.1 – 9.2) требуется:

- 1) Определить реакции опор и построить эпюры внутренних силовых факторов по характерным сечениям;
- 2) Из расчета на прочность определить безопасные размеры двутаврового поперечного сечения. При невозможности обеспечения прочности одной балкой допускается использовать две балки по ширине;
- 3) Составить уравнение изгибающего момента по методу начальных параметров, получить уравнение углов поворота сечений и прогибов, определить начальные параметры;
- 4) Определить прогибы в пяти точках (за исключением опор) и построить изогнутую ось балки (эпюру прогибов).

Обязательно требуется соблюдать пропорции продольных размеров балок, а также, величин на эпюрах. На эпюре изгибающего момента обязательно определяются экстремумы (при наличии).

Эпюры, не подчиняющиеся правилам контроля эпюр при изгибе [4, 5], преподавателем не рассматриваются.

Таблица 9.1

**Числовые данные для расчета балок на жесткость**

№ строки	№ расчетной схемы		Нагрузки			Длины участков, м			[n]	$\sigma_y$ , МПа
	1-я цифра схемы	2-я цифра схемы	$q$ , кН/м	$F$ , кН	$M$ , кНм	$l_1$	$l_2$	$l_3$		
1	0	7	10	40	40	1,0	1,5	1,6	1,7	420
2	1	4	15	60	36	1,2	1,6	1,5	1,4	380
3	2	5	20	50	35	1,4	1,8	1,4	1,5	350
4	2	8	25	45	32	1,5	2,0	1,2	1,3	320
5	1	0	30	55	30	1,6	2,2	1,0	1,8	300
6	0	2	35	30	28	1,8	2,4	2,5	2,5	280
7	0	6	40	35	27	2,0	2,5	2,4	1,6	250
8	1	1	36	20	25	2,2	1,2	2,2	2,0	240
9	2	3	24	25	24	2,4	1,9	2,0	1,9	220
0	2	9	18	65	20	2,5	2,1	1,8	1,2	200
Цифра шифра	II	III	III	I	II	II	III	I	I	III



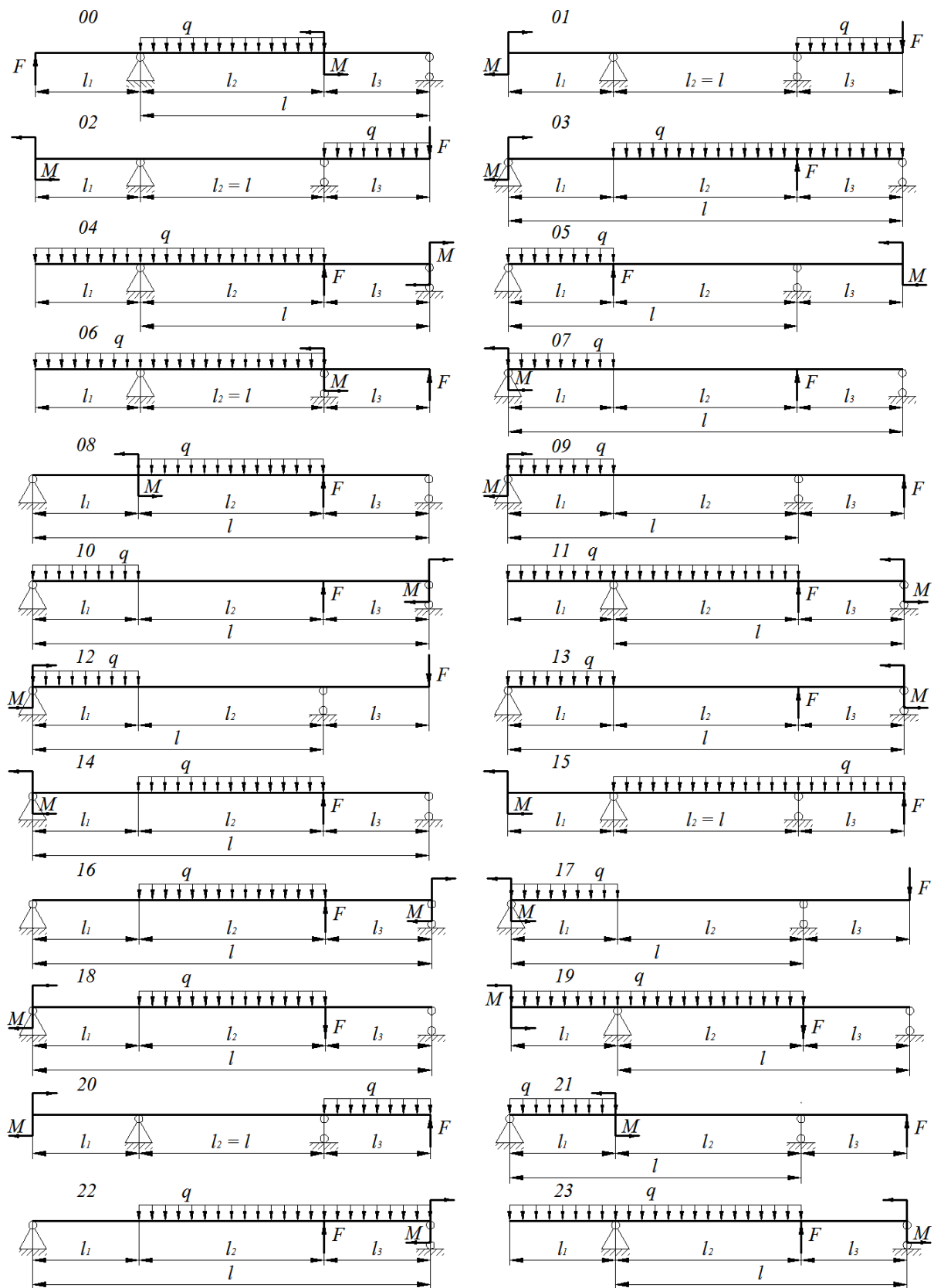


Рис. 9.1

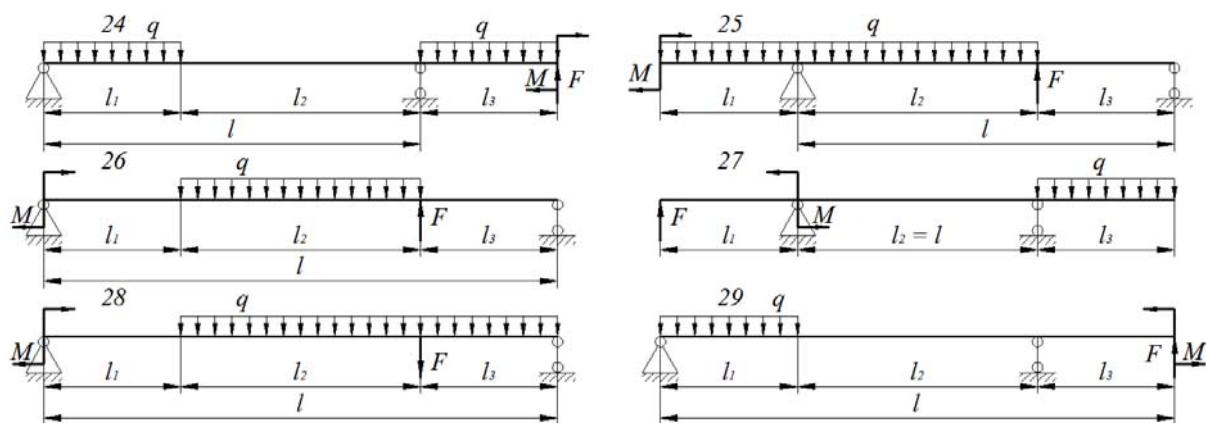


Рис. 9.2

## 10. Применение метода Мора-Верещагина к расчету статически неопределимых балок

Стальная статически неопределимая балка ( $E = 210000$  МПа) постоянного поперечного сечения находится под действием сосредоточенных и погонных нагрузок. Величины нагрузок, продольные размеры балки и физико-механические характеристики материалов приведены в табл. 10.1.

Для заданной схемы балки (рис. 10.1 – 10.2) требуется:

- 1) Раскрыть статическую неопределимость методом сил. Для определения коэффициентов и свободных членов канонического уравнения метода сил использовать метод Мора-Верещагина;
- 2) Из расчета на прочность определить безопасные размеры двутаврового поперечного сечения. При невозможности обеспечения прочности одной балкой допускается использовать две балки по ширине;
- 3) Провести деформационную проверку;
- 4) Определить методом Мора-Верещагина прогиб в точке приложения силы и угол поворота сечения на промежуточной опоре.

В работе требуется построить эпюры фиктивного изгибающего момента (от действия единичной силы в точке с отброшенной «лишней» связью), грузового момента, фиктивного момента для определения прогиба и угла поворота. Эпюры должны быть разбиты на простые фигуры с указанием центров тяжести и ординат под центрами тяжести фигур.

Обязательно требуется соблюдать пропорции продольных размеров балок, а также, величин на эпюрах. На эпюре изгибающего момента обязательно определяются экстремумы (при наличии).

Эпюры, не подчиняющиеся правилам контроля эпюр при изгибе [4, 5], преподавателем не рассматриваются.

Таблица 10.1

## Числовые данные для статически неопределимых балок

№ строки	№ расчетной схемы		Нагрузки			Длины участков, м		[n]	$\sigma_y$ , МПа
	1-я цифра схемы	2-я цифра схемы	$q$ , кН/м	$F$ , кН	$M$ , кНм	$l_1$	$l_2$		
1	0	7	10	40	40	1,0	2,5	1,7	420
2	1	4	15	60	36	1,2	2,4	1,4	380
3	2	5	20	50	35	1,4	2,2	1,5	350
4	2	8	25	45	32	1,5	2,0	1,3	320
5	1	0	30	55	30	1,6	1,8	1,8	300
6	0	2	35	30	28	1,8	1,6	2,5	280
7	0	6	40	35	27	2,0	1,5	1,6	250
8	1	1	36	20	25	2,2	1,4	2,0	240
9	2	3	24	25	24	2,4	1,2	1,9	220
0	2	9	18	65	20	2,5	1,0	1,2	200
Цифра шифра	III	I	III	II	I	II	I	III	I

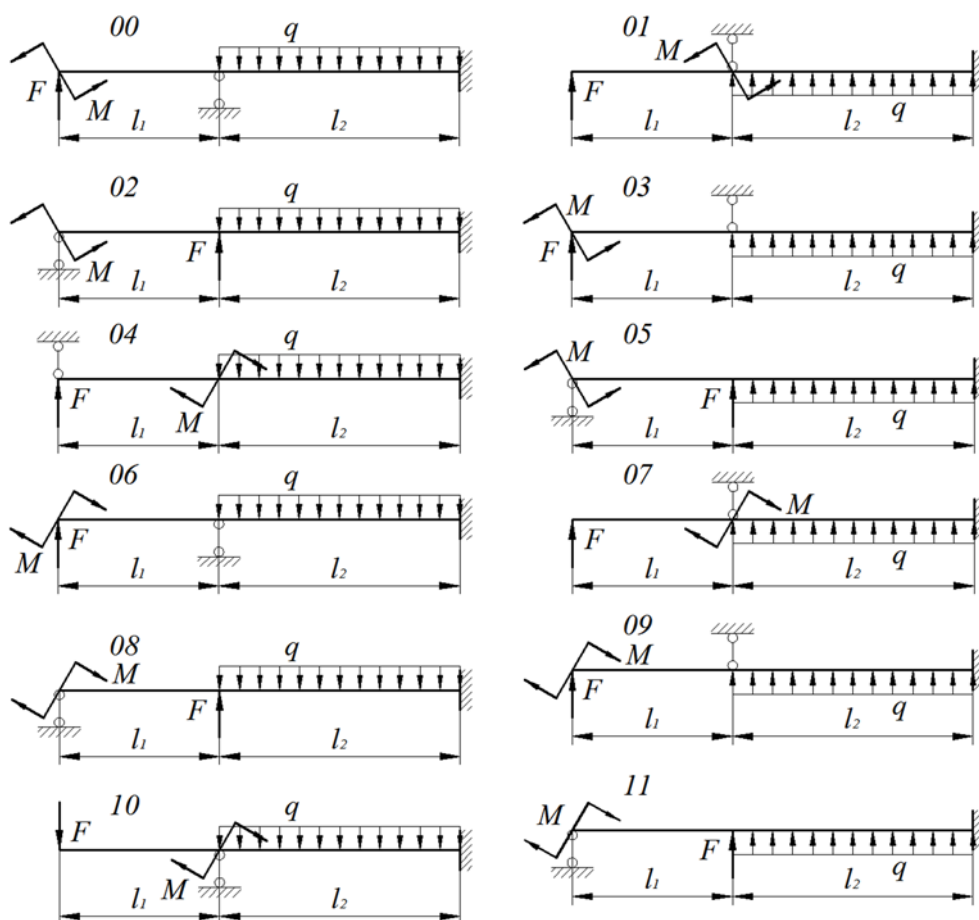


Рис. 10.1

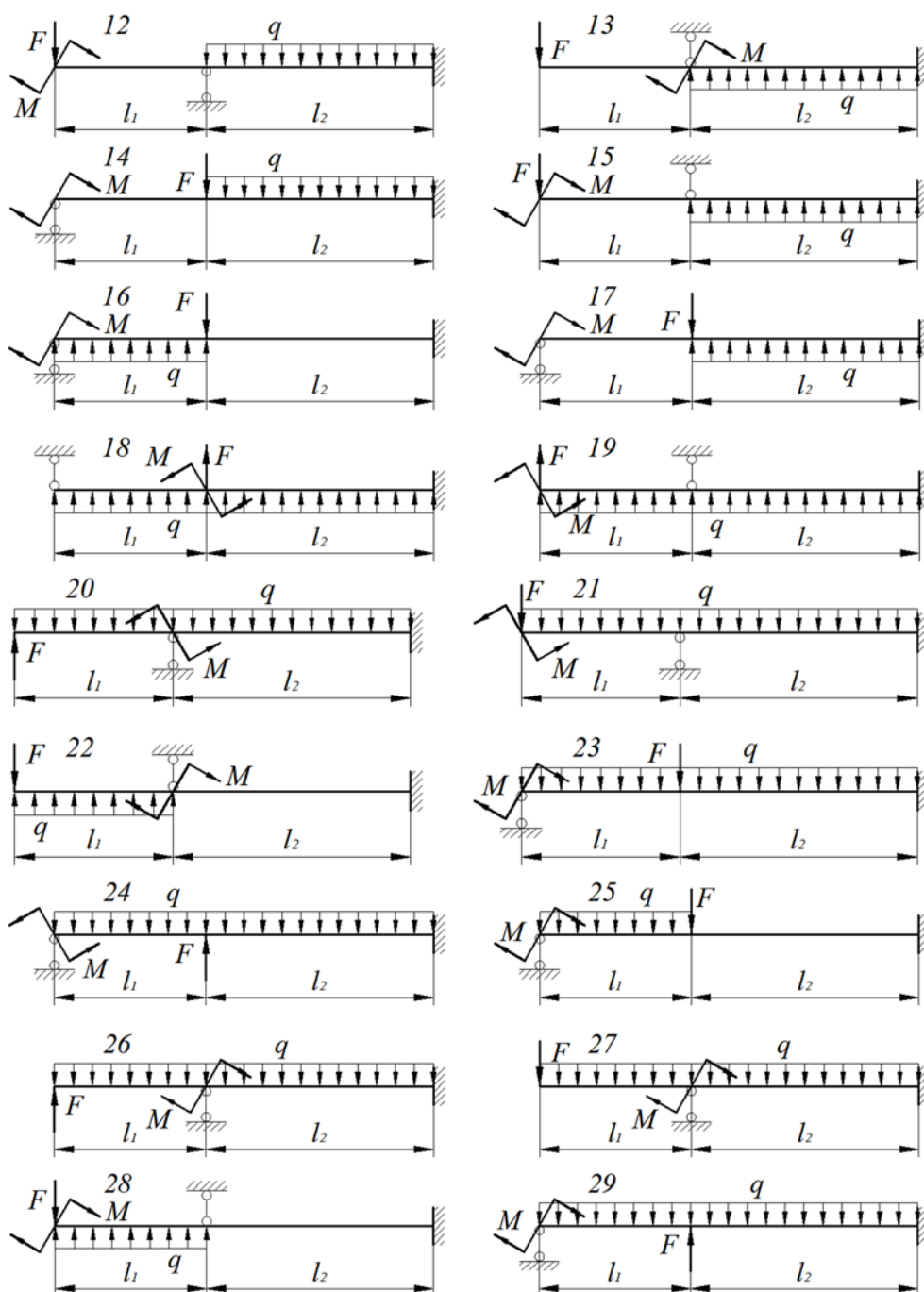


Рис. 10.2

## 11. Расчет статически неопределимых рам на прочность

Стальная статически неопределимая рама ( $E = 210000$  МПа) постоянного поперечного сечения находится под действием сосредоточенных и погонных нагрузок. Величины нагрузок, размеры рамы и физико-механические характеристики материалов приведены в табл. 11.1.

Для заданной схемы рамы (рис. 11.1 – 11.4) требуется:

- 1) Раскрыть статическую неопределимость методом сил. Построить эпюры изгибающих моментов во вспомогательной и грузовой системе. Для определения коэффициентов и свободных членов канонического уравнения метода сил использовать метод либо Мора (непосредственное интегрирование выражений можно провести в Mathcad и приложить листинг к работе), либо метод Симпсона;
- 2) Построить эпюры внутренних силовых факторов;
- 3) Из расчета на прочность определить безопасные размеры двутаврового поперечного сечения;
- 4) Провести узловую статическую и деформационную проверку.

Обязательно требуется соблюдать пропорции размеров рам, а также, величин на эпюрах. На эпюре изгибающего момента обязательно определяются экстремумы (при наличии).

Эпюры, не подчиняющиеся правилам контроля эпюр при изгибе [4, 5], преподавателем не рассматриваются.

Таблица 11.1

**Числовые данные для статически неопределимых рам**

№ строки	№ расчетной схемы		Нагрузки			Длины силовых участков, м			[n]	$\sigma_y$ , МПа
	1-я цифра схемы	2-я цифра схемы	$q$ , кН/м	$F$ , кН	$M$ , кНм	$l_1$	$l_2$	$l_3$		
1	0	7	10	40	40	1,0	2,5	6,0	1,7	420
2	1	4	15	60	36	1,2	2,4	5,5	1,4	380
3	2	5	20	50	35	1,4	2,2	5,0	1,5	350
4	2	8	25	45	32	1,5	2,0	4,5	1,3	320
5	1	0	30	55	30	1,6	1,8	4,0	1,8	300
6	0	2	35	30	28	1,8	1,6	3,5	2,5	280
7	0	6	40	35	27	2,0	1,5	3,0	1,6	250
8	1	1	36	20	25	2,2	1,4	2,5	2,0	240
9	2	3	24	25	24	2,4	1,2	2,0	1,9	220
0	2	9	18	65	20	2,5	1,0	1,5	1,2	200
Цифра шифра	III	I	III	II	I	II	I	III	III	I

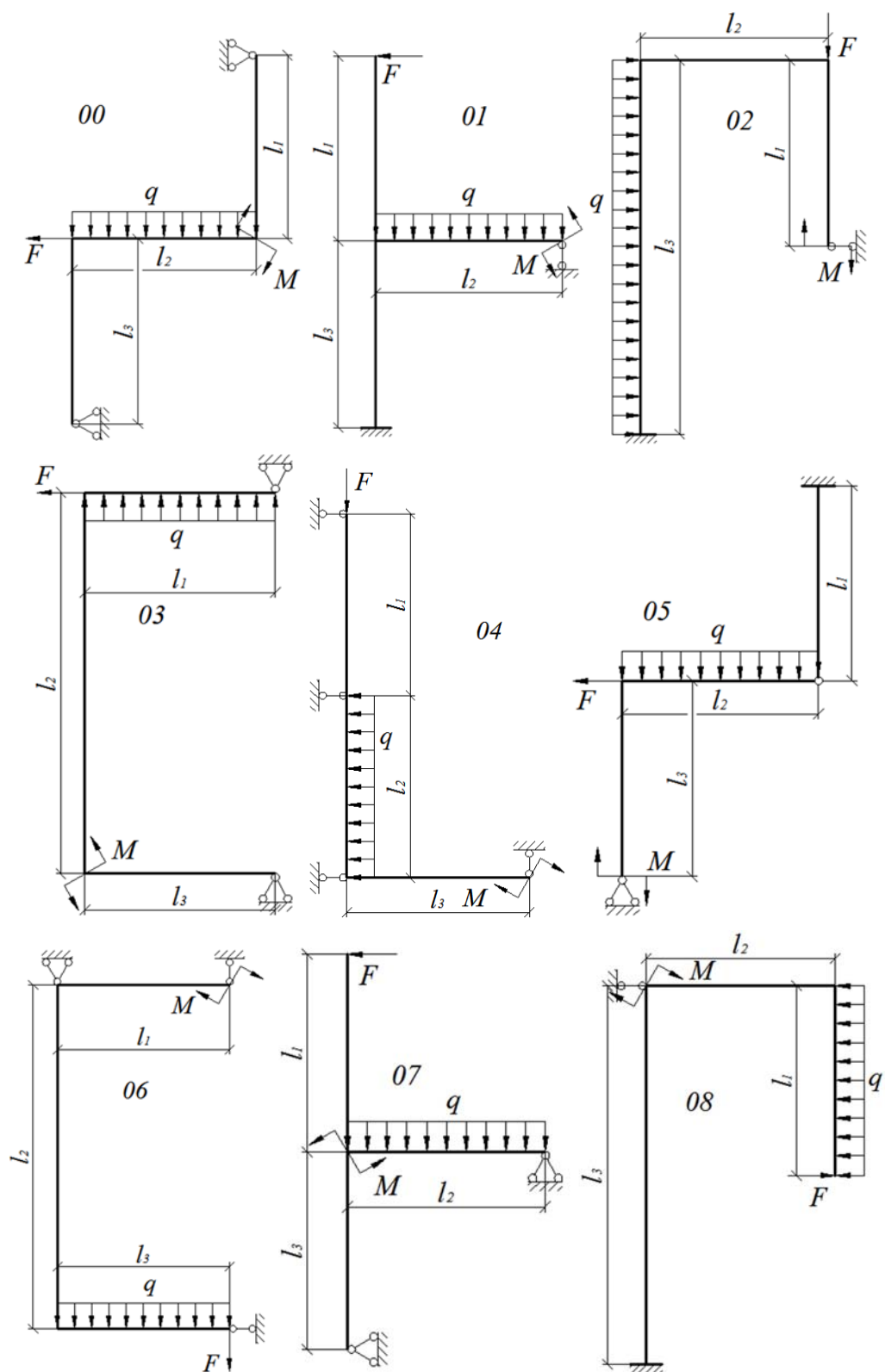


Рис. 11.1

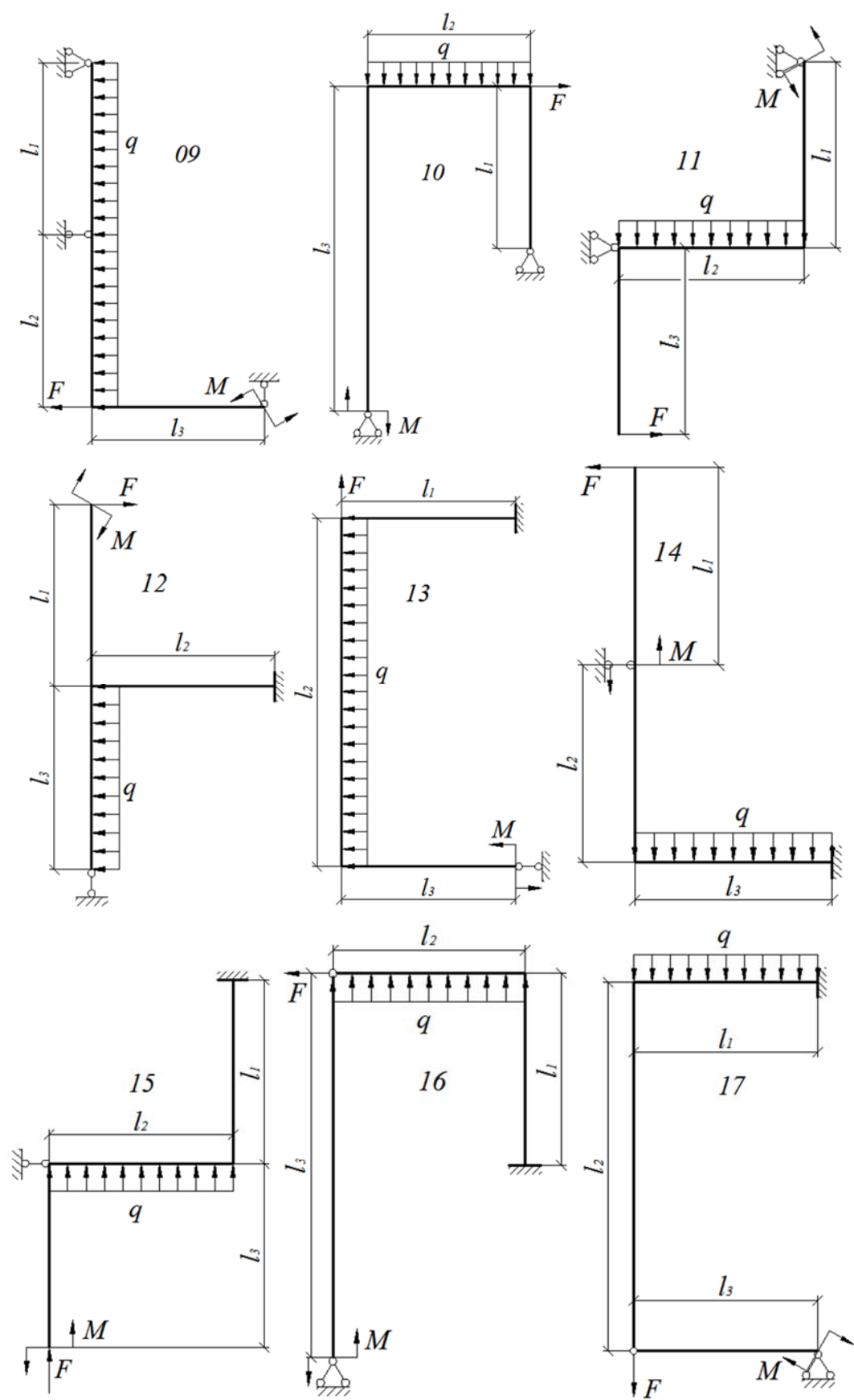


Рис. 11.2

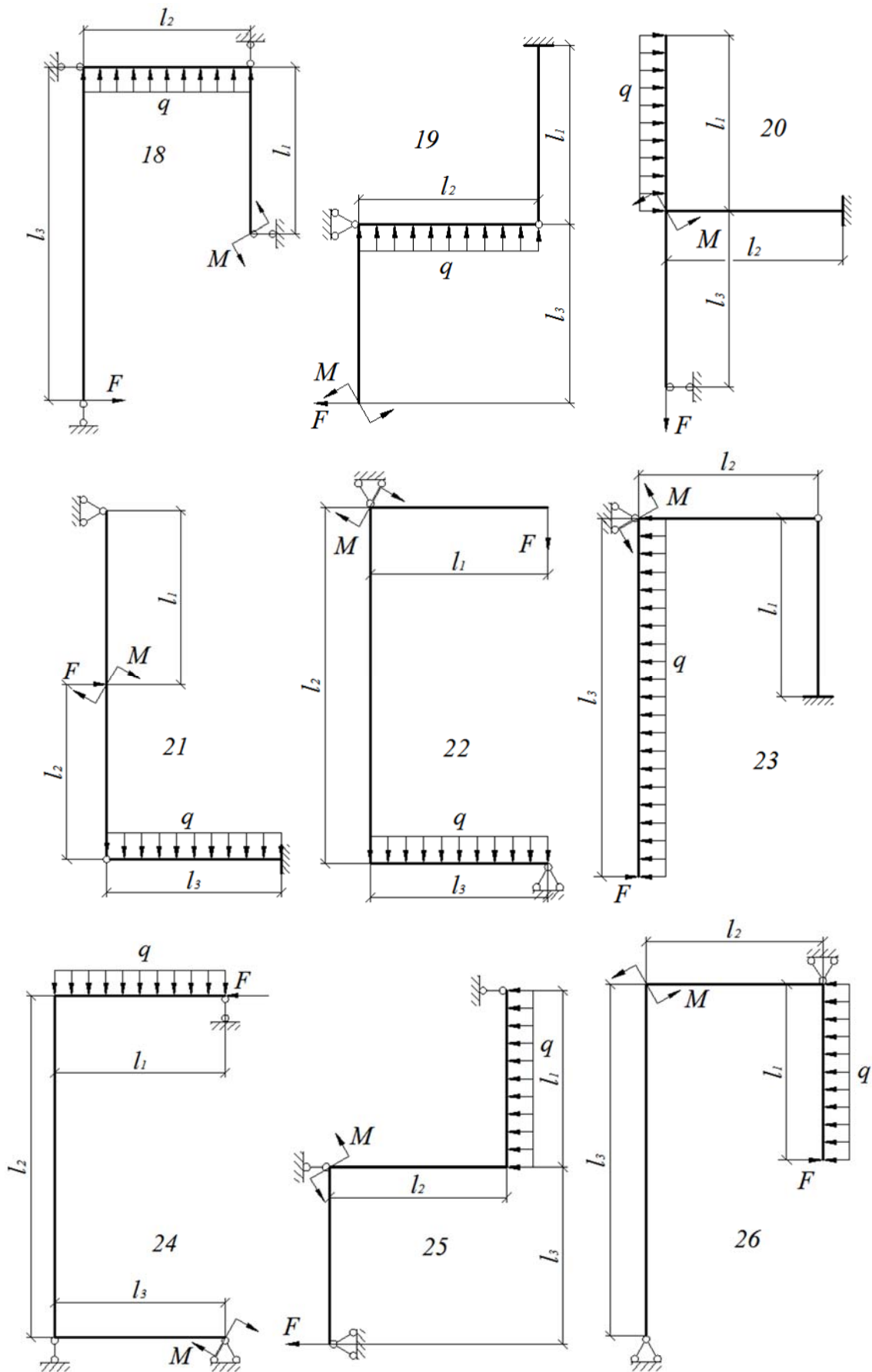


Рис. 11.3



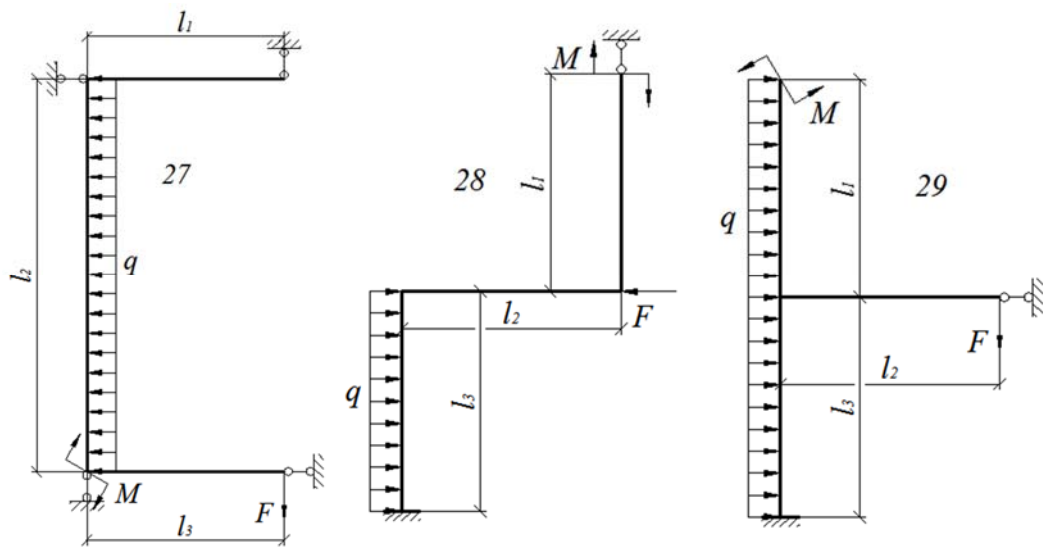


Рис. 11.4

## 12. Расчет вала на прочность и выносливость при совместном действии изгиба и кручения

Стальной ступенчатый вал, вращаясь с частотой  $n$ , передает мощность  $N$  от ведущего шкива к ведомым. Продольные размеры вала, диаметры шкивов и углы наклона ветвей ремней приведены в табл. 12.1. Снимаемые с вала мощности, частота вращения и физико-механические характеристики материалов приведены в табл. 12.2.

Для заданной схемы вала (рис. 12.1 – 12.2) требуется:

- 1) Определить передаваемую мощность и скручивающие моменты, приложенные к валу, построить эпюру крутящего момента. Ведущим считать шкив, для которого в табл. 12.2 не задана мощность;
- 2) Определить силы в ветвях ременных передач, общие силы, приложенные к валу и их проекции на горизонтальную ( $XOZ$ ) и вертикальную ( $YOZ$ ) плоскости. Показать силы и скручивающие моменты в плоскости каждого шкива;
- 3) Определить реакции опор в каждой плоскости и построить эпюры изгибающих моментов  $M_y$  и  $M_x$  по характерным сечениям. Эпюры построить на сжатых волокнах;
- 4) Построить эпюру суммарного изгибающего момента, приведенного к одной плоскости, учитывая нелинейность его распределения между сечениями (показать на эпюре условно);
- 5) Рассчитать эквивалентные моменты по IV гипотезе прочности в характерных сечениях; определить требуемые диаметры вала на каждом силовом участке и округлить их значения до ближайшего большего из ряда (в мм): 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. Учесть, что для вала должно выполняться условие сборки, т.е., диаметры центральных участков должны превышать диаметры концевых минимум на 5 мм;

- 6) Назначить для каждого участка размеры шпонок (приложение Б), радиусы галтельных переходов; диаметр радиального отверстия на заданном участке (0,1 от диаметра вала);
- 7) Начертить эскиз вала в масштабе;
- 8) Определить эффективные коэффициенты концентрации напряжений (приложение Б), масштабные факторы, коэффициенты состояния поверхности, коэффициенты поверхностного упрочнения (используя линейную интерполяцию), уточненные геометрические характеристики поперечных сечений (с учетом ослабления шпоночными пазами и отверстиями) провести проверку вала на выносливость, определить коэффициенты запаса усталостной прочности. Принять, что нормальные напряжения изменяются по симметричному циклу, а касательные – по отнулевому.

Обязательно требуется соблюдать пропорции размеров вала, а также, величин на эпюрах. На эпюре изгибающего момента обязательно определяются экстремумы (при наличии).

Таблица 12.1

**Размеры вала**

№ строки	Длины силовых участков, мм				Диаметры шкивов, мм			Углы наклона ветвей ремня к горизонту (отсчитывается от одной базы), град		
	$l_1$	$l_2$	$l_3$	$l_4$	$D_1$	$D_2$	$D_3$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$
1	120	450	350	320	400	500	600	20	155	225
2	150	420	360	300	420	550	550	25	150	220
3	160	400	380	200	450	540	500	30	145	215
4	180	380	400	250	480	520	450	35	140	210
5	200	360	320	280	500	500	400	40	135	205
6	220	350	300	220	520	480	350	45	130	200
7	250	320	280	180	540	450	300	50	125	245
8	280	300	250	160	550	420	250	55	120	240
9	300	250	220	150	380	400	200	60	115	235
0	320	220	200	350	350	350	420	65	110	230
Цифра шифра	II	I	III	II	I	II	III	III	II	I

Таблица 12.2

## Данные к расчету вала на прочность и выносливость

№ строки	№ расчетной схемы	$n$ , об/мин	Мощности, кВт			Сталь	$R_a$ , мкМ	Вид поверхностной обработки	$[\sigma]$ , МПа	№ участка с отверстием
			$N_1$	$N_2$	$N_3$					
1	00	100	10	26	–	45	0,16	Т	80	1
2	01	120	12	–	18	40Х	0,32	А	70	2
3	02	150	–	22	20	40ХН	0,63	Н	90	3
4	03	180	–	20	22	20	1,25	Д	100	4
5	04	200	16	18	–	20Х	2,5	Т	110	1
6	00	220	18	–	26	12ХН3А	0,16	А	120	2
7	01	240	20	–	10	12Х2Н4А	0,32	Н	80	3
8	02	250	–	14	12	18ХГТ	0,63	Д	70	4
9	03	270	24	12	–	30ХГТ	1,25	Т	90	1
0	04	300	–	10	15	Ст5	2,5	А	100	2
Цифра шифра	I	II	III	III	III	I	II	II	III	I

**Примечание.** В таблице 12.2 сокращенно обозначены следующие виды поверхностной обработки: Т – закалка ТВЧ; А – азотирование; Н – накатка роликом; Д – дробеструйный наклеп.

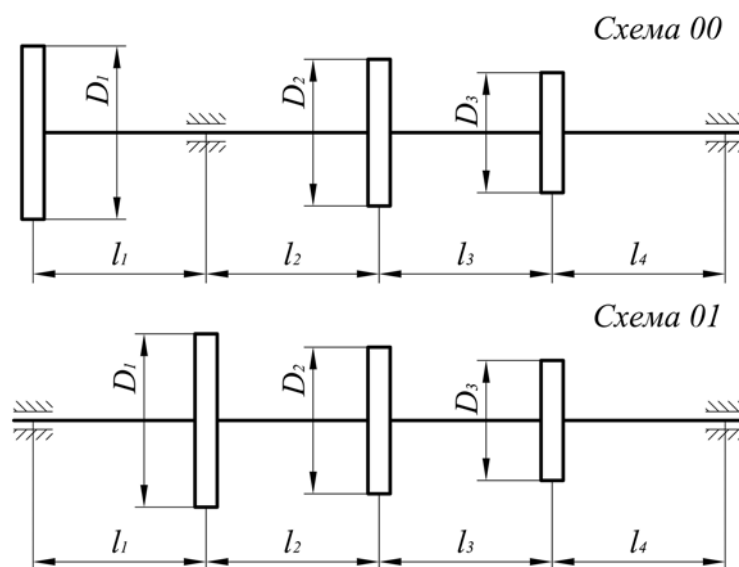


Рис. 12.1

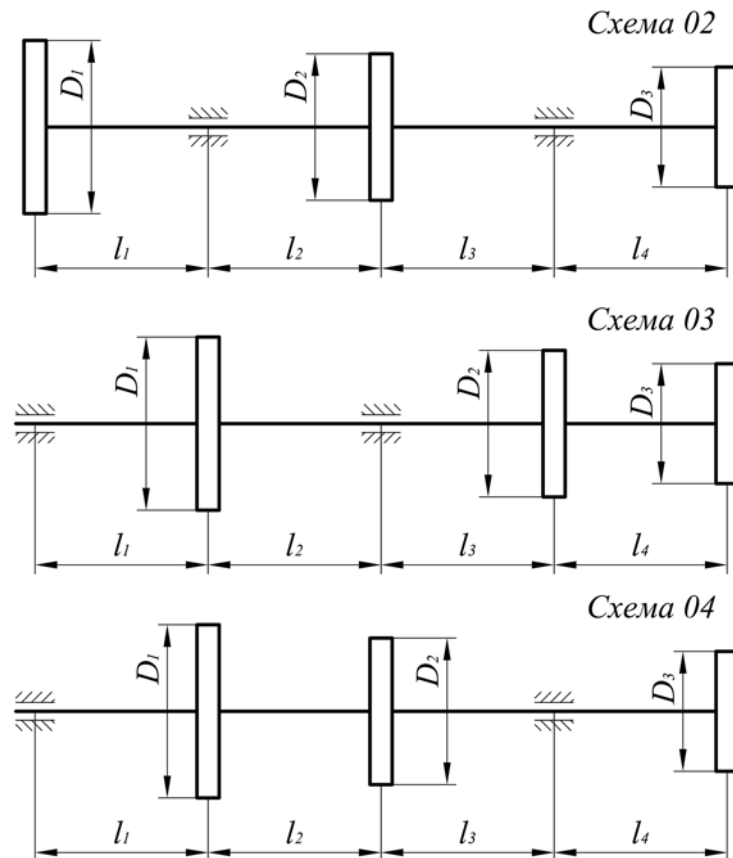


Рис. 12.2

### 13. Расчет бруса при внецентренном растяжении-сжатии

Чугунный короткий стержень загружен продольной силой  $F$ , приложенной внецентренно. Размеры сечения стержня приведены в табл. 13.1.

Для заданного сечения стержня (рис. 13.1 – 13.3) требуется:

- 1) Вычислить геометрические характеристики;
- 2) Определить положение нейтральной оси;
- 3) Построить эпюру суммарных нормальных напряжений;
- 4) Построить ядро сечения.

Обязательно требуется соблюдать пропорции размеров сечения, а также, величин на эпюрах.

Таблица 13.1

## Исходные данные к задаче

№ строки	№ схемы сечения		Размеры, см		Точка приложения силы	Величина силы $F$ , кН	Вид нагружения
	1-я цифра схемы	2-я цифра схемы	$b$	$h$			
1	0	7	1,0	2,0	1	20	Растяжение
2	1	4	1,5	2,4	2	25	Сжатие
3	2	5	2,0	2,5	1	30	Растяжение
4	2	8	2,4	2,8	2	35	Сжатие
5	1	0	2,5	3,2	1	40	Растяжение
6	0	2	2,8	3,2	2	45	Сжатие
7	0	6	3,0	3,5	1	50	Растяжение
8	1	1	3,2	3,6	2	55	Сжатие
9	2	3	3,5	4,0	1	60	Растяжение
0	2	9	3,6	4,5	2	65	Сжатие
Цифра шифра	I	III	II	I	II	III	I

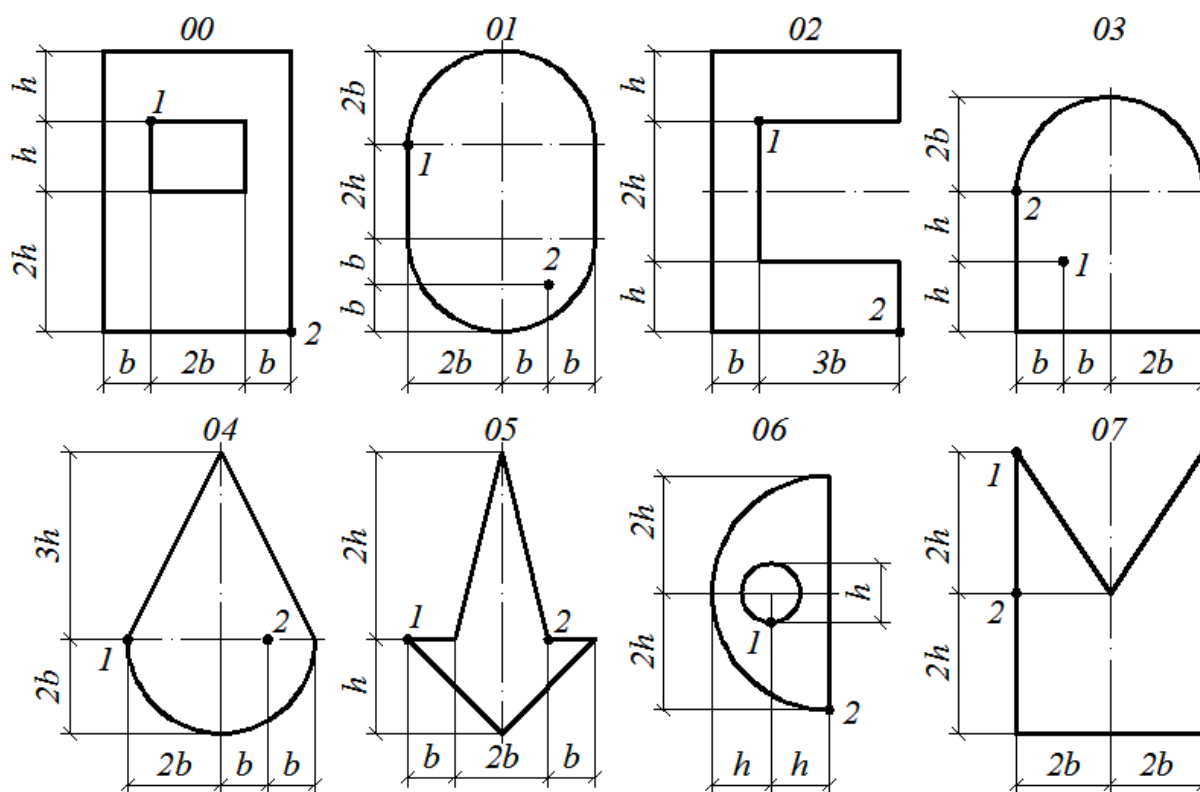


Рис. 13.1

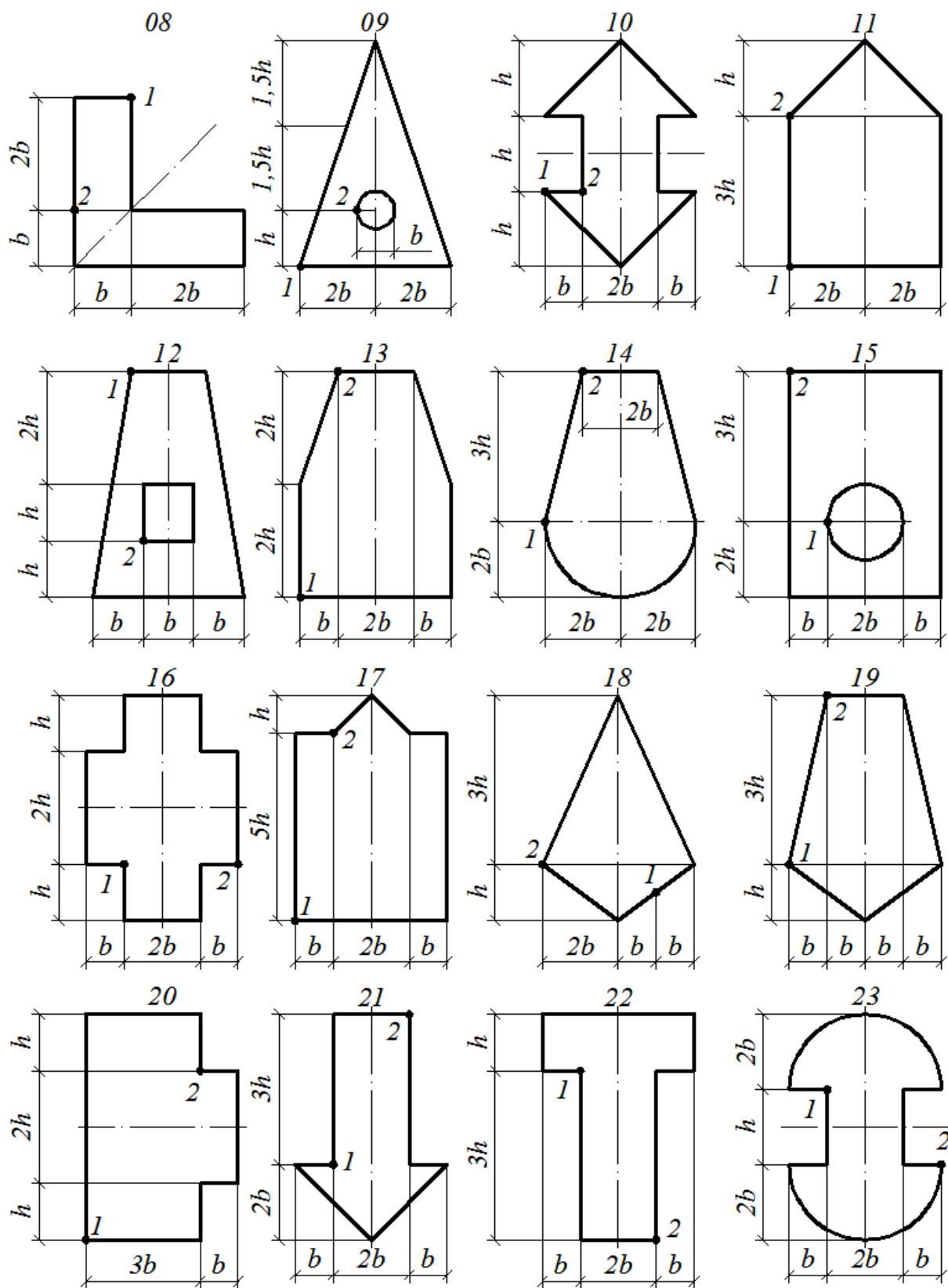


Рис. 13.2

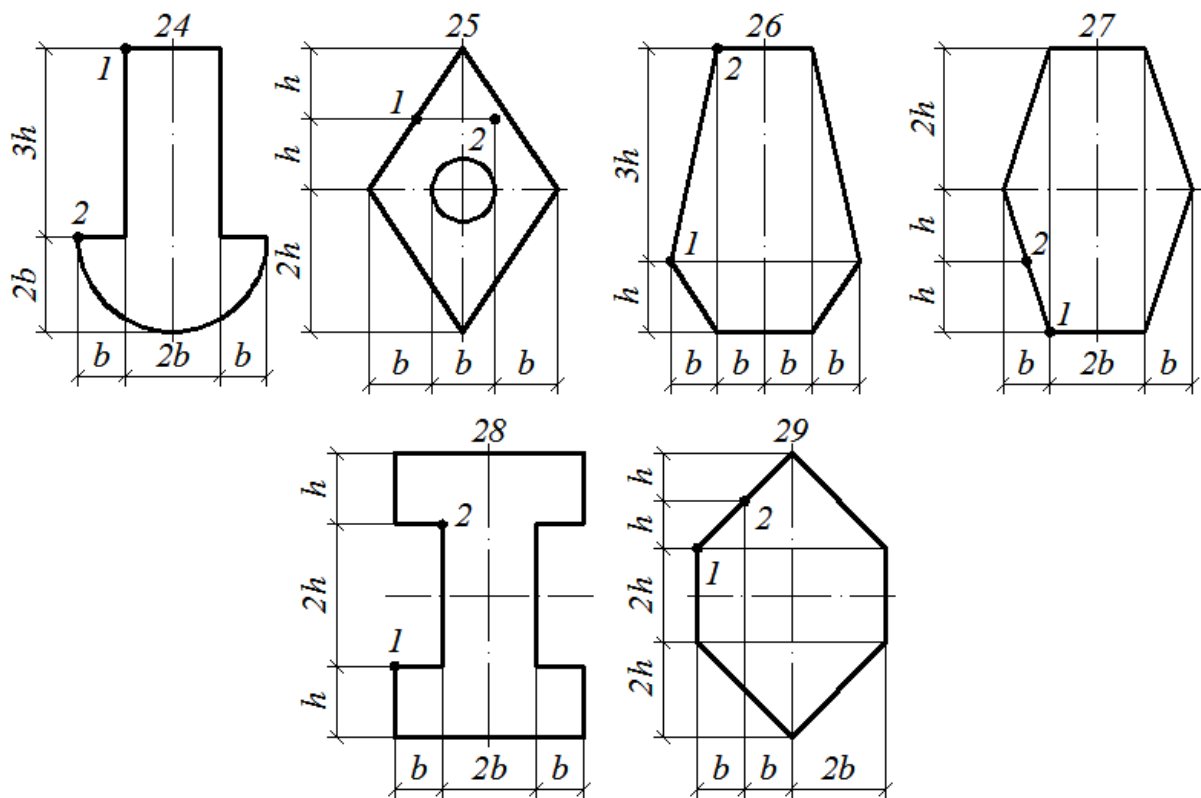


Рис. 13.3

#### 14. Расчет сжатого стержня на устойчивость

Длинный стержень загружен осевой сжимающей силой. Расчетные схемы стержней показаны на рис. 14.1, а формы поперечных сечений – на рис. 14.2.

Для заданных расчетных схем в соответствии с исходными данными (табл. 14.1) требуется:

- 1) Определить из расчета на устойчивость по коэффициентам продольного изгиба (см. приложение В) размеры стандартного и нестандартного поперечных сечений. Во всех вариантах для стандартного сечения принять материал – Ст3; для нестандартных сечений – из табл. 14.1;
- 2) Вычислить величину критической силы и коэффициента запаса устойчивости при принятых размерах сечения.

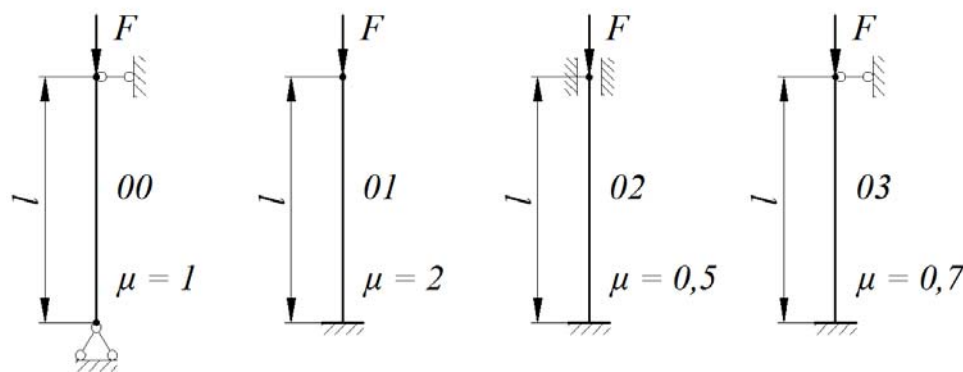


Рис. 14.1

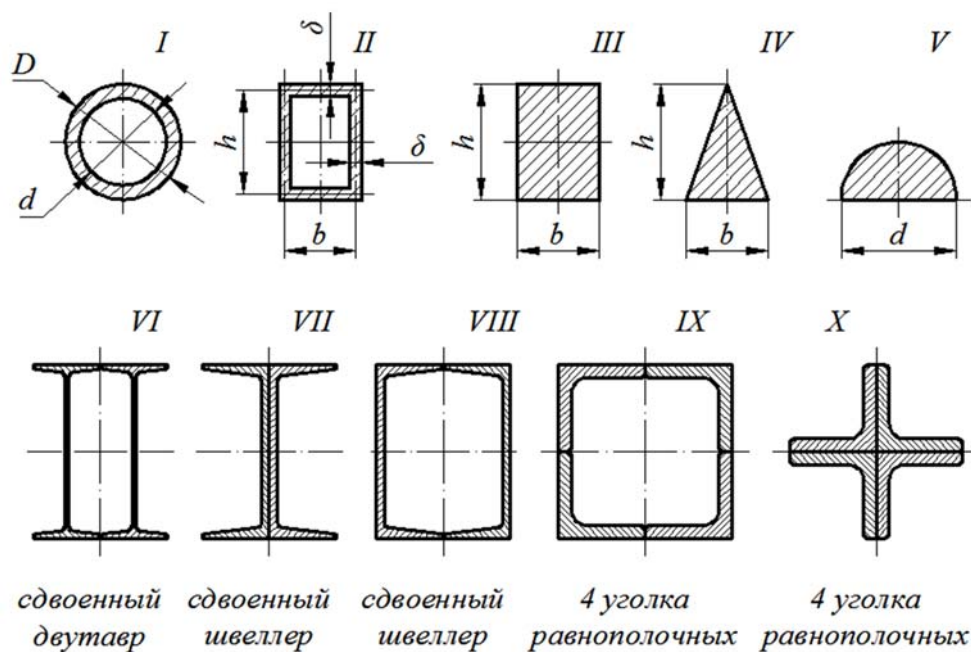


Рис. 14.2

Таблица 14.1

№ строки	№ схемы за-крепления	$l, \text{ м}$	$F, \text{ кН}$	Материал	Коэффициент запаса прочности $[n]$	Не-стан-дарт-ное сече-ние	Стан-дарт-ное сече-ние	Соотноше-ния размеров		
								$\frac{d}{D}$	$\frac{h}{b}$	$\frac{b}{\delta}$
1	00	5,0	100	Ст2	1,2	I	X	0,7	1,5	11
2	01	6,0	120	Ст3	1,3	II	IX	0,75	1,6	12
3	02	5,5	140	сталь 20	1,4	III	VIII	0,8	1,7	13
4	03	8,0	80	Ст4	1,5	IV	VII	0,85	1,8	14
5	00	7,0	160	сталь 45	1,2	V	VI	0,9	1,9	15
6	01	6,5	90	15ГС	1,3	I	X	0,5	2,0	16
7	02	7,5	110	30ХМА	1,4	II	IX	0,55	2,1	17
8	03	8,5	130	30ХГСА	1,5	III	VIII	0,6	2,2	18
9	02	9,0	150	Ст5	2,0	IV	VII	0,65	2,3	19
0	03	10,0	70	15ХСНД	2,0	V	VI	0,45	2,4	20
Цифра шифра	II	I	III	I	II	III	II	I	II	III

## 15. Расчет балки при ударном воздействии

Груз массой  $m_r$  свободно падает на стальную балку ( $E = 2 \cdot 10^5$  МПа) двутаврового поперечного сечения с высоты  $h$ . Масса груза, высота падения и номер двутавра приведены в табл. 15.1. Массой балки пренебречь.



Для заданной расчетной схемы балки (рис. 15.1) требуется:

- 1) Определить динамический коэффициент (для определения перемещений использовать метод Мора-Верещагина);
- 2) Определить максимальное динамическое напряжение;
- 3) Определить динамическое перемещение в точке падения груза.

Таблица 15.1

Исходные данные к задаче

№ строки	№ схемы сечения	Длины участков		Высота падения груза $h$ , см	Масса груза $m_r$ , кг	№ двутавра
		$l_1$ , м	$l_2$ , м			
1	01	2,0	4,0	2,0	10	16
2	03	2,2	3,9	2,4	12	18
3	04	2,4	3,7	2,5	15	18а
4	02	2,5	3,4	2,8	16	20
5	01	2,8	3,3	3,0	18	20а
6	00	3,0	3,1	3,2	20	22
7	03	3,2	2,9	3,5	22	22а
8	03	3,5	2,7	4,0	24	24
9	02	3,6	2,6	5,0	25	24а
0	00	3,8	2,1	6,0	28	27
Цифра шифра	I	II	III	II	I	III

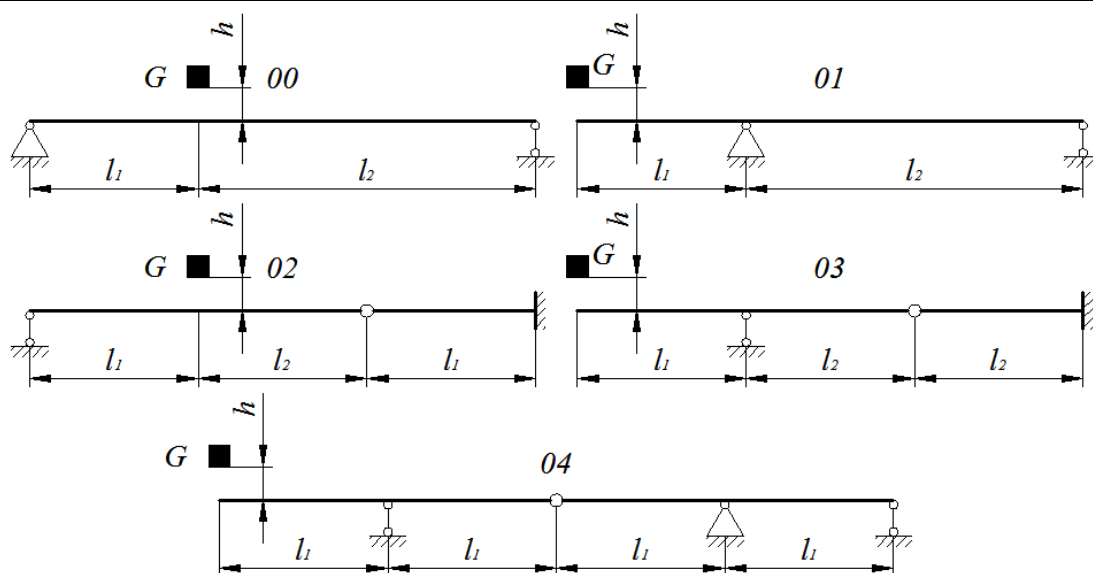


Рис. 15.1

## 16. Расчет балки на прочность при вынужденных колебаниях

Двигатель массой  $m_d$  установлен на стальную балку ( $E = 2 \cdot 10^5$  МПа) двутаврового поперечного сечения. Ввиду неуравновешенности частей ротора двигателя при вращении с частотой  $n$  возникает центробежная сила  $F_{ц}$ . Масса двигателя, частота вращения, центробежная сила и номер двутавра приведены в табл. 16.1.

Для заданной расчетной схемы балки (рис. 16.1) требуется:

- 1) Определить динамический коэффициент (для определения перемещений использовать метод Мора-Верещагина);
- 2) Определить максимальное динамическое напряжение.

Таблица 16.1

Исходные данные к задаче

№ строки	№ схемы сечения	Длины участков		Масса двигателя $m_d$ , кг	Частота вращения $n$ , об/мин	Центробежная сила $F_{ц}$ , Н	№ двутавра
		$l_1$ , м	$l_2$ , м				
1	02	1,2	1,1	20,0	1000	4000	16
2	01	1,3	2,0	24,0	1500	3600	18
3	00	1,4	1,9	25,0	2000	3500	18а
4	03	1,5	1,8	28,0	2500	3200	20
5	04	1,6	1,7	30,0	3000	3000	20а
6	02	1,7	1,6	32,0	3500	2800	22
7	01	1,8	1,5	35,0	4000	2700	22а
8	00	1,9	1,4	40,0	4500	2500	24
9	03	2,0	1,3	50,0	5000	2200	24а
0	04	1,1	1,2	60,0	6000	2000	27
Цифра шифра	I	III	II	II	III	I	II

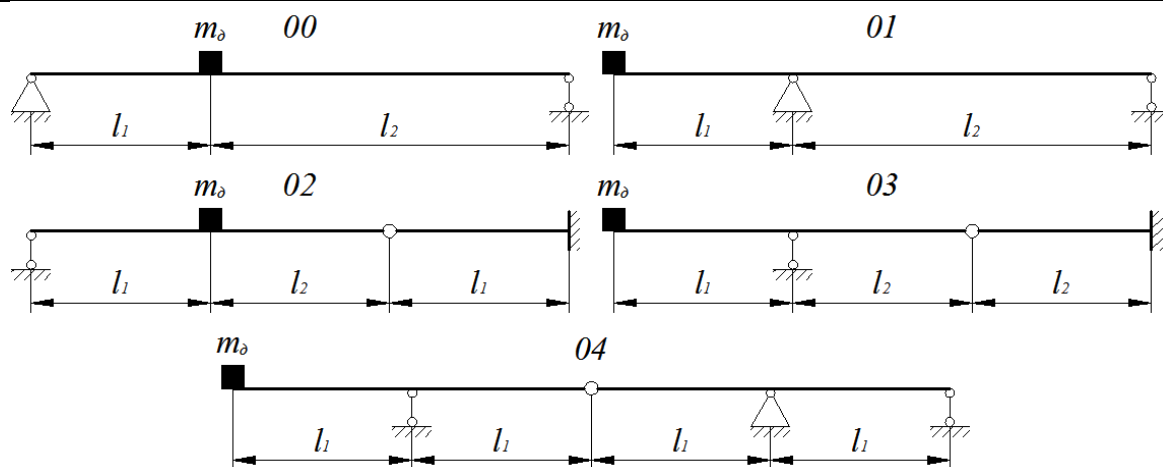


Рис. 16.1

### Библиографический список

1. *Александров А. В.* Сопротивление материалов / А. В. Александров, В. Д. Потапов, Б. П. Державин. – М. : Высшая школа, 2000. – 560 с.
2. *Биргер И. А.* Сопротивление материалов / И. А. Биргер, Р. Р. Мавлютов. – М. : Наука, 1986. – 560 с.
3. *Дарков А. В.* Сопротивление материалов / А. В. Дарков, Г. С. Шпиро. – М. : Высшая школа, 1989. – 622 с.
4. *Дудаев М. А.* Сопротивление материалов : задачник : в 2 ч. / М. А. Дудаев, С. Л. Алесковский. – Иркутск : ИрГУПС, 2017. – Ч. 1. – 116 с.
5. *Дудаев М. А.* Сопротивление материалов : задачник : в 2 ч. / М. А. Дудаев, С. Л. Алесковский. – Иркутск : ИрГУПС, 2017. – Ч. 2. – 116 с.
6. *Ицкович Г. М.* Руководство к решению задач по сопротивлению материалов / Г. М. Ицкович, Л. С. Минин, А. И. Винокуров. – М. : Высшая школа, 1999. – 592 с.
7. *Лукъянов А. М.* Сопротивление материалов : учеб. пособие для вузов ж.-д. транспорта / А. М. Лукъянов. – М. : ГОУ «УМЦ ЖДТ», 2008. – 560 с.
8. *Писаренко Г. С.* Справочник по сопротивлению материалов / Г. С. Писаренко, А. П. Яковлев, В. В. Матвеев. – Киев : Наукова думка, 1988. – 734 с.
9. *Саргсян А. Е.* Сопротивление материалов, теории упругости и пластичности. Основы теории с примерами расчетов : учеб. для вузов / А. Е. Саргсян. – М. : Высшая школа, 2002. – 286 с.
10. Сопротивление материалов : учебник / Г. Д. Межецкий, Г. Г. Загребин, Н. Н. Решетник [и др.] ; под. общ. ред. Г. Д. Межецкого, Г. Г. Загребина. – М. : Дашков и К, 2008. – 416 с.
11. *Степин П. А.* Сопротивление материалов / П. А. Степин. – М. : Высшая школа, 2012. – 367 с.
12. *Феодосьев В. И.* Сопротивление материалов / В. И. Феодосьев. – М. : МГТУ, 1999. – 591 с.

**Приложение А**  
**Физико-механические характеристики материалов**

Таблица А.1

**Стали**

Материал	Марка	Твердость <i>HB</i>	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_y$ ( $\sigma_{0,2}$ ), МПа	$\tau_y$ ( $\tau_{0,2}$ ), МПа	$\sigma_{-1}$ , МПа	$\tau_{-1}$ , МПа	$\psi_\sigma$	$\psi_\tau$	$E$ , ГПа	$\mu$	$\alpha$ , $10^{-7}/^\circ\text{C}$
Сталь углероди- стая	Ст3	–	380	240	160	–	–	–	–	210	0,28	125
	Ст4	–	430	250	170	–	–	–	–			
	Ст5	190	520	280	190	220	130	0	0			
	20	145	400	220	160	170	100	0	0			
	45	240	600	320	220	350	210	0,10	0			
Сталь легиро- ванная	20X	197	650	400	240	300	160	0,05	0	210	0,3	110
	40X	240	1000	800	440	360	210	0,10	0,05			
	40XH	270	900	750	390	420	250	0,10	0,05			
	12XH3A	260	950	700	400	420	210	0,10	0,05			
	12X2H4A	300	1100	850	660	500	250	0,15	0,10			
	18XГТ	330	1150	950	690	520	280	0,15	0,10			
	30XГТ	320	1150	950	700	520	310	0,15	0,10			

Таблица А.2

**Чугуны**

Марка	$\sigma_B^+$ , МПа	$\sigma_B^-$ , МПа	$E$ , ГПа	$\mu$
СЧ 12-28	120	500	120	0,25
СЧ 15-32	150	600		
СЧ 18-36	180	670		
СЧ 24-44	240	800		
СЧ 35-56	350	900		

## Приложение Б

### Справочные данные к расчету вала на выносливость

Таблица Б.1

#### Радиус закругления $r$

при переходе от меньшего диаметра  $d$  к большему диаметру  $D$  вала

$D - d$ , мм	2	5	8	10	15	20	25	30
$r$ , мм	1	2	3	4	5	8	10	12

Таблица Б.2

Эффективные коэффициенты концентрации напряжений при изгибе и кручении в ступенчатом переходе с галтелью

Коэф- фици- ент	$\sigma_B$ , МПа	$r/d$						
		0,01	0,03	0,05	0,1	0,01	0,02	0,05
$K_\sigma$		При $t/r = 1$				При $t/r = 3$		
	600	1,38	1,67	1,64	1,50	1,94	2,02	2,03
	800	1,41	1,76	1,73	1,61	2,03	2,13	2,16
	1000	1,45	1,84	1,83	1,72	2,12	2,25	2,30
	1200	1,49	1,92	1,93	1,83	2,21	2,37	2,44
		При $t/r = 2$				При $t/r = 5$		
	600	1,57	1,88	1,82	—	2,17	2,23	—
	800	1,62	1,99	1,95	—	2,28	2,38	—
	1000	1,67	2,11	2,07	—	2,39	2,52	—
	1200	1,72	2,23	2,19	—	2,50	2,66	—
$K_\tau$		При $t/r = 1$				При $t/r = 3$		
	600	1,29	1,42	1,44	1,39	1,59	1,66	1,68
	800	1,30	1,45	1,47	1,43	1,64	1,72	1,74
	1000	1,31	1,48	1,51	1,46	1,68	1,79	1,81
	1200	1,32	1,52	1,54	1,50	1,73	1,86	1,88
		При $t/r = 2$				При $t/r = 5$		
	600	1,40	1,57	1,57	—	2,24	2,12	—
	800	1,43	1,61	1,62	—	2,37	2,22	—
	1000	1,46	1,66	1,68	—	2,48	2,31	—
	1200	1,47	1,71	1,74	—	2,60	2,40	—

Таблица Б.3

**Выбор размеров поперечного сечения призматических шпонок и пазов**

Диаметр вала, $d$ , мм	Сечение шпонки		Глубина паза		Длина $l$ , мм
	$b$ , мм	$h$ , мм	вала $t_1$ , мм	ступицы $t_2$ , мм	
Св. 12 до 17	5	5	3,0	2,3	10 – 56
Св. 17 до 22	6	6	3,5	2,8	14 – 70
Св. 22 до 30	8	7	4,0	3,3	18 – 90
Св. 30 до 38	10	8	5,0	3,3	22 – 110
Св. 38 до 44	12	8	5,0	3,3	28 – 140
Св. 44 до 50	14	9	5,5	3,8	36 – 160
Св. 50 до 58	16	10	6,0	4,3	45 – 180
Св. 58 до 65	18	11	7,0	4,4	50 – 200
Св. 65 до 75	20	12	7,5	4,9	56 – 220
Св. 75 до 85	22	14	9,0	5,4	63 – 250
Св. 85 до 95	25	14	9,0	5,4	70 – 280

**Примечание:** длину призматической шпонки выбирают из ряда: 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 32, 36, 40, 45, 50, 56, 63, 70, 80, 90, 100, 110, 125, 140, 160, 180, 200, 220, 250, 280.

Таблица Б.4

**Значения эффективных коэффициентов концентрации напряжений при изгибе и кручении валов со шпоночной канавкой и поперечным отверстием**

$\sigma_B$ , МПа	Тип концентратора			
	Шпоночная канавка		Поперечное отверстие	
	$K_\sigma$	$K_\tau$	$K_\sigma$	$K_\tau$
600	1,46	1,54	2,05	1,80
800	1,62	1,88	2,10	1,85
1000	1,77	2,22	2,20	1,90
1200	1,92	2,39	2,30	2,00

Таблица Б.5

**Значения коэффициента  $K_d$ , учитывающего масштабный фактор**

Диаметр вала, $d$ , мм	15	20	30	40	50	70	100
$K_d$ для случая изгиба вала из углеродистой стали	0,95	0,92	0,88	0,85	0,81	0,76	0,70
$K_d$ для случая изгиба вала из высокопрочной легированной стали и кручения вала из всех сталей	0,87	0,83	0,77	0,73	0,70	0,65	0,59

Таблица Б.6

Значения коэффициента влияния качества поверхности  $K_F$ 

Параметр шероховатости $R_a$ , мкм	$K_{F\sigma}$		$K_{F\tau}$	
	$\sigma_B \leq 700$ МПа	$\sigma_B > 700$ МПа	$\sigma_B \leq 700$ МПа	$\sigma_B > 700$ МПа
до 0,2	1,0	1,0	1,0	1,0
0,2 – 0,8	0,99 – 0,93	0,99 – 0,91	0,99 – 0,96	0,99 – 0,95
0,8 – 1,6	0,93 – 0,89	0,91 – 0,86	0,96 – 0,94	0,95 – 0,92
1,6 – 3,2	0,89 – 0,86	0,86 – 0,82	0,94 – 0,92	0,92 – 0,89

Таблица Б.7

Значения коэффициента поверхностного упрочнения  $K_v$ 

Параметр шероховатости $R_a$ , мкм	$K_\sigma$		
	1,0	1,1 ... 1,5	более 1,8
Закалка ТВЧ	1,3 – 1,6	1,6 – 1,7	2,4 – 2,8
Азотирование	1,15 – 1,25	1,3 – 1,9	2,0 – 3,0
Накатка роликом	1,2 – 1,4	1,5 – 1,7	1,8 – 2,2
Дробеструйный наклеп	1,1 – 1,3	1,4 – 1,5	1,6 – 2,5
Без упрочнения	1,0	1,0	1,0

Геометрические характеристики круглых сечений, ослабленных шпоночной канавкой:

$$W_{\text{и}} = \frac{\pi D^3}{32} - \frac{bt_1(2D - t_1)^2}{2D}; \quad W_{\text{к}} = \frac{\pi D^3}{16} - \frac{bt_1(2D - t_1)^2}{2D}; \quad A = \frac{\pi D^2}{4} - \frac{bh}{2}.$$

## Приложение В

### Справочные данные к расчету сжатого стержня на устойчивость

Таблица В.1

**Приближенные значения  $\sigma_y$ ,  $\sigma_{pr}$ ,  $a$ ,  $b$  (для сталей  $c = 0$ ),  $\lambda_{пред}$ ,  $\lambda_0$**

Материал	$\sigma_y$ , МПа	$\sigma_{pr}$ , МПа	$a$ , МПа	$b$ , МПа	$\lambda_{пред}$	$\lambda_0$
Ст2	220	190	264	0,7	105	62
Ст3	240	200	314	1,14	100	61
сталь 20, Ст4	260	220	328	1,11	96	60
Ст5	275	235	343	1,13	92	57
сталь 45	360	305	449	1,67	85	52
10Г2СЛ, 14Г2, 15ГС, 15ХСНД	380	280	429	1,52	85–81	50
30ХМА, 30ГСА, 40ХНМА	850	700	1000	5,57	55	28
Дюралюминий Д16Т	320	255	406	2,83	53	30

Таблица В.2

**Значения коэффициента  $\phi$  продольного изгиба**

$\lambda$	Сталь марок		Сталь качественная $\sigma_y > 320$ МПа	$\lambda$	Сталь марок		Сталь качественная $\sigma_y > 320$ МПа
	Ст2, Ст3, Ст4	Ст5			Ст. 2, 3, 4	Ст5	
0	1,00	1,00	1,00	120	0,45	0,37	0,30
10	0,99	0,98	0,97	130	0,40	0,32	0,26
20	0,97	0,96	0,95	140	0,36	0,28	0,23
30	0,95	0,93	0,91	150	0,32	0,25	0,21
40	0,92	0,90	0,87	160	0,29	0,23	0,19
50	0,89	0,85	0,83	170	0,26	0,21	0,17
60	0,86	0,80	0,79	180	0,23	0,19	0,15
70	0,81	0,74	0,72	190	0,21	0,17	0,14
80	0,75	0,67	0,65	200	0,19	0,15	0,13
90	0,69	0,59	0,55	210	0,17	0,14	0,12
100	0,60	0,50	0,43	220	0,16	0,13	0,11
110	0,52	0,43	0,35				



Учебное издание

Дудаев Михаил Алексеевич  
Алесковский Сергей Львович

## Сопротивление материалов

Задачник

Редактор *Н. А. Михайлова*  
Компьютерный набор *М. А. Дудаев*

Подписано в печать 03.10.2017.  
Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Печать офсетная.  
Усл. печ. л. 7,25. Уч.-изд. л. 7,91.  
План 2017 г. Тираж 120 экз. Заказ

Типография ИрГУПС, г. Иркутск, ул. Чернышевского, 15