

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И МОЛОДЁЖНОЙ ПОЛИТИКИ СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ  
Государственное автономное профессиональное образовательное учреждение Свердловской области  
«Краснотурьинский индустриальный колледж»  
(ГАПОУ СО «КИК»)

Учебно-практическое пособие  
по учебной дисциплине  
ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА  
для специальности  
22.02.02 Metallургия цветных металлов

Краснотурьинск, 2019



<b>Содержание</b>	<b>Стр.</b>
<b>Пояснительная записка</b>	<b>4</b>
<b>Практическая работа №1</b>	<b>5</b>
Определение реакций в стержнях	
<b>Практическая работа №2</b>	<b>10</b>
Определение опорных реакций балок	
<b>Практическая работа №3</b>	<b>17</b>
Расчет на жесткость при растяжении и сжатии	
<b>Практическая работа №4</b>	<b>21</b>
Расчет на прочность при кручении	
<b>Практическая работа №5</b>	<b>24</b>
Расчет на прочность при изгибе	
<b>Практическая работа №6</b>	<b>32</b>
Подбор и проверочный расчет шпонок	
<b>Практическая работа №7</b>	<b>35</b>
Расчет прямозубой цилиндрической передачи	
<b>Практическая работа №8</b>	<b>38</b>
Выполнение кинематического и силового расчета передач.	
<b>Приложения</b>	<b>47</b>
<b>Список литературы</b>	<b>50</b>

## Пояснительная записка

Методические указания по выполнению практических работ предназначены для студентов, обучающихся по специальности 22.02.02 Metallurgy цветных металлов. Пособие содержит описание всех, предусмотренных рабочей программой учебной дисциплины «Техническая механика» практических работ.

Учебная дисциплина «Техническая механика» является общепрофессиональной. Все знания и навыки, полученные студентами при изучении технической механики, найдут применение в процессе изучения профессиональных модулей, выполнении курсовых и дипломных проектов, а также в практической деятельности на производстве.

Цель разработанных заданий – сформировать прочные представления, умения и навыки, необходимые будущим специалистам.

В соответствии с ФГОС СПО в результате освоения дисциплины обучающиеся должны уметь:

- производить расчеты механических передач и простейших сборочных единиц;
- читать кинематические схемы;
- определять напряжения в конструкционных элементах.

В соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Техническая механика» для специальности 22.02.02 Metallurgy цветных металлов на практические занятия отводится 16 часов.

Данные методические указания содержат задания разных уровней сложности, что позволит учитывать индивидуальные способности студентов.

Каждая практическая работа содержит тему, цель, методические рекомендации, задание, исходные данные, необходимый рисунок (схему нагружения, траекторию движения, кинематическую схему или эскиз сборочной единицы) и порядок решения задачи (алгоритм) с указанием необходимых формул или уравнений и других рекомендаций.

В приложениях А, Б, В и Г содержатся справочные данные необходимые для подбора стандартных профилей, призматических шпонок, подшипников качения.

При решении задач особое внимание следует обратить на соблюдение единиц измерения, подставляемых в формулу величин и оценивать правдоподобность полученного ответа.

Графическую часть работы необходимо выполнять с помощью чертежного инструмента с соблюдением требований ЕСКД.

Вычисления следует выполнять при помощи инженерного калькулятора. Для вычисления тригонометрических функций необходимо установить режим «DEG».

Все практические работы должны быть сданы в сроки, определенные календарно-тематическим планом по учебной дисциплине. Студенты, не выполнившие практические работы, к экзамену по учебной дисциплине не допускаются.

## Практическая работа №1

**Тема:** Определение реакций в стержнях

**Цель:** Научиться определять реакции связей в стержневых системах

### Задание

Для заданной стержневой системы (рисунок 1а,б), нагруженной силой  $F=20\text{кН}$ , определить реакции в стержнях. Схему выбрать согласно варианту.

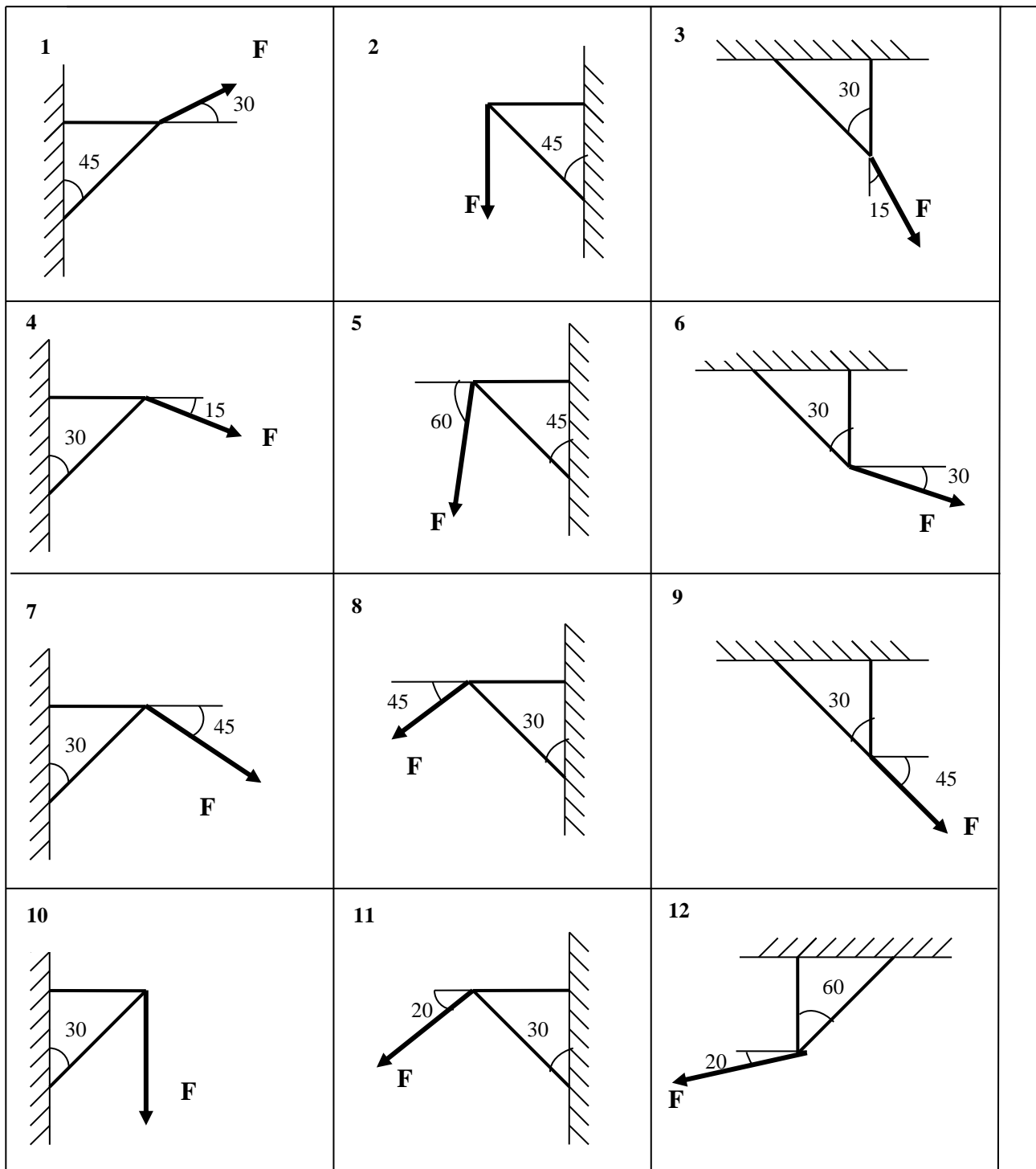


Рисунок 1а

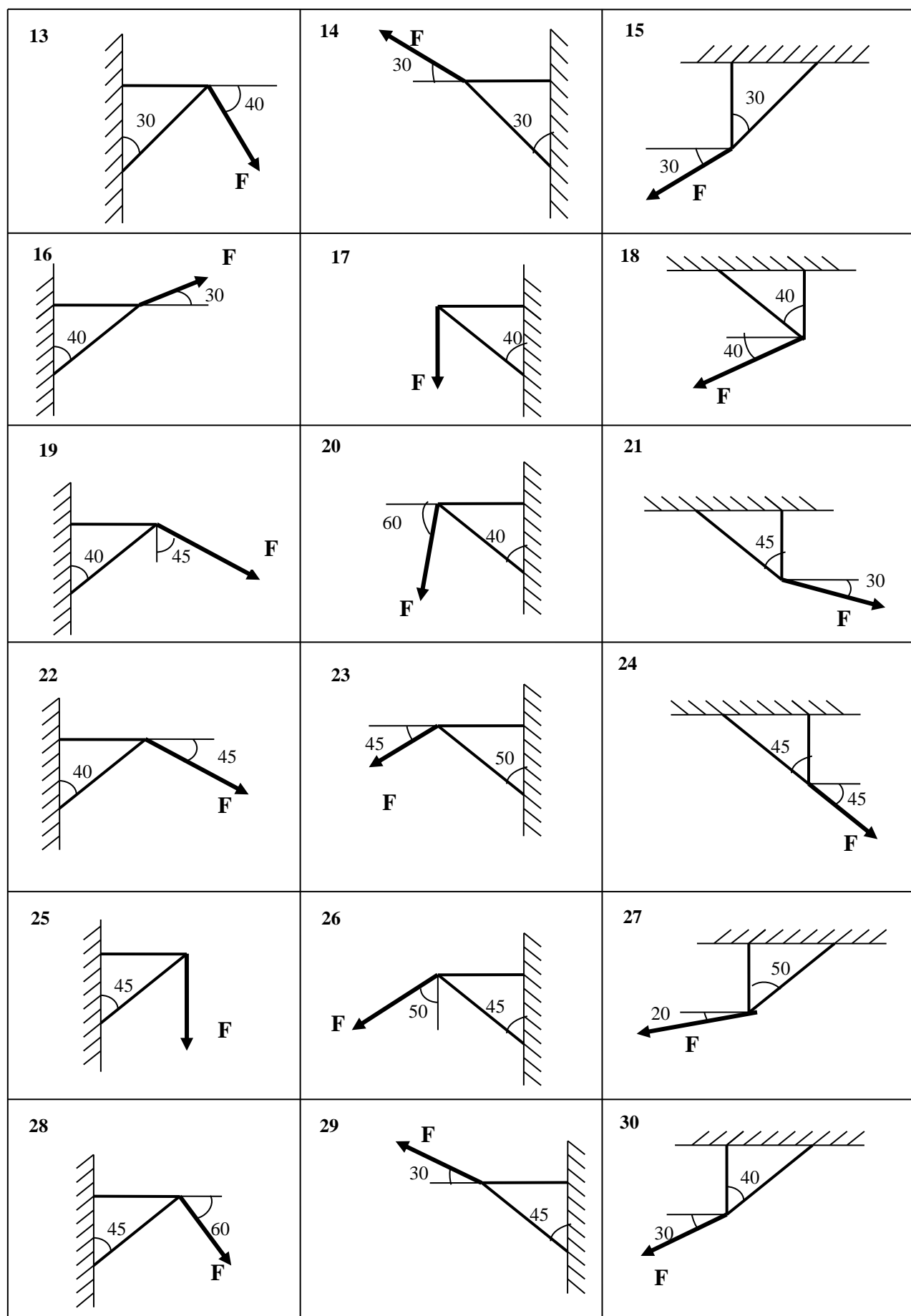


Рисунок 16

### Задание повышенной трудности

Для заданной стержневой системы (рисунок 2а,б), нагруженной силой  $F=10\text{кН}$ , определить реакции в стержнях. Схему выбрать согласно варианту.

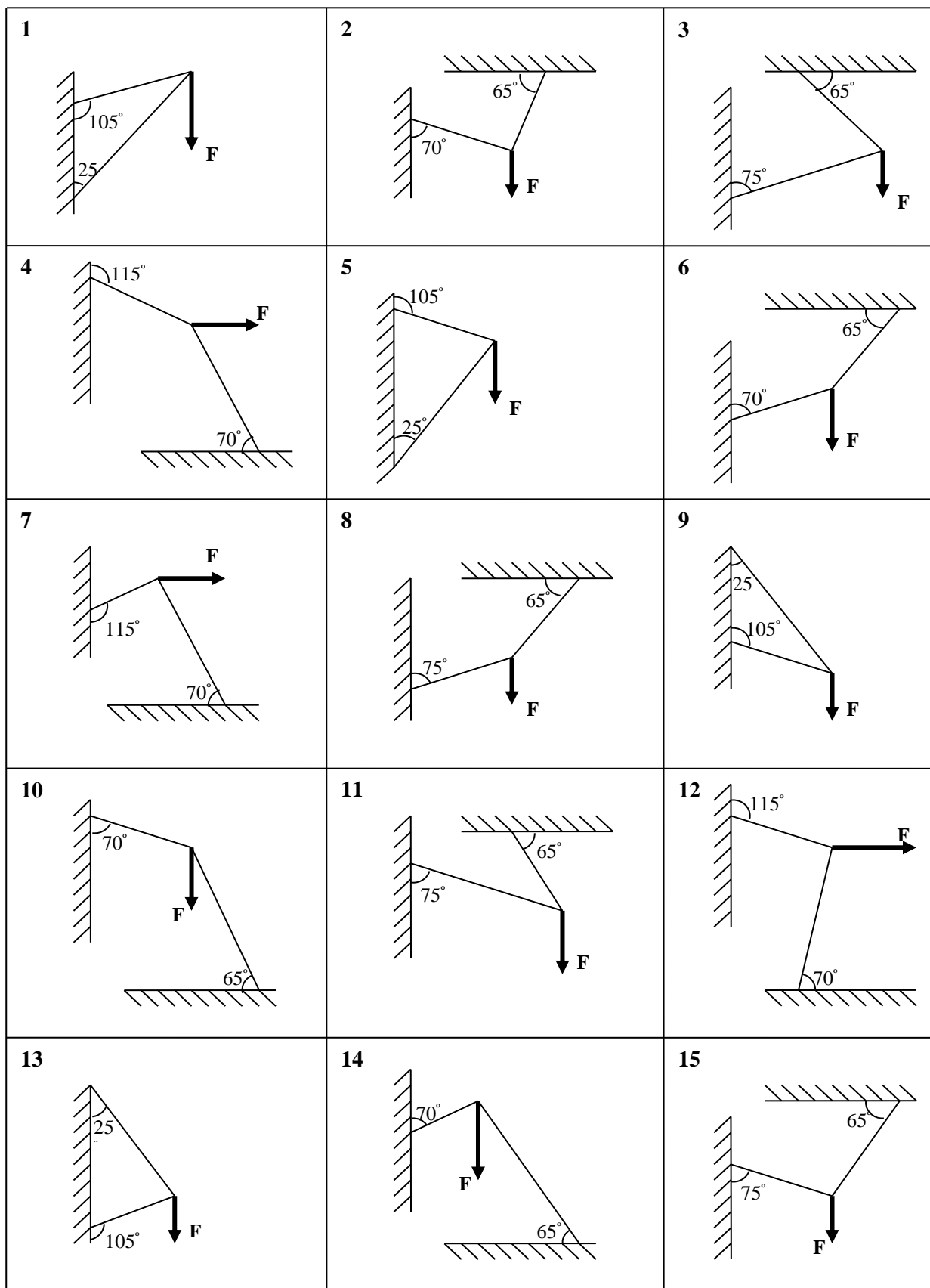


Рисунок 2а

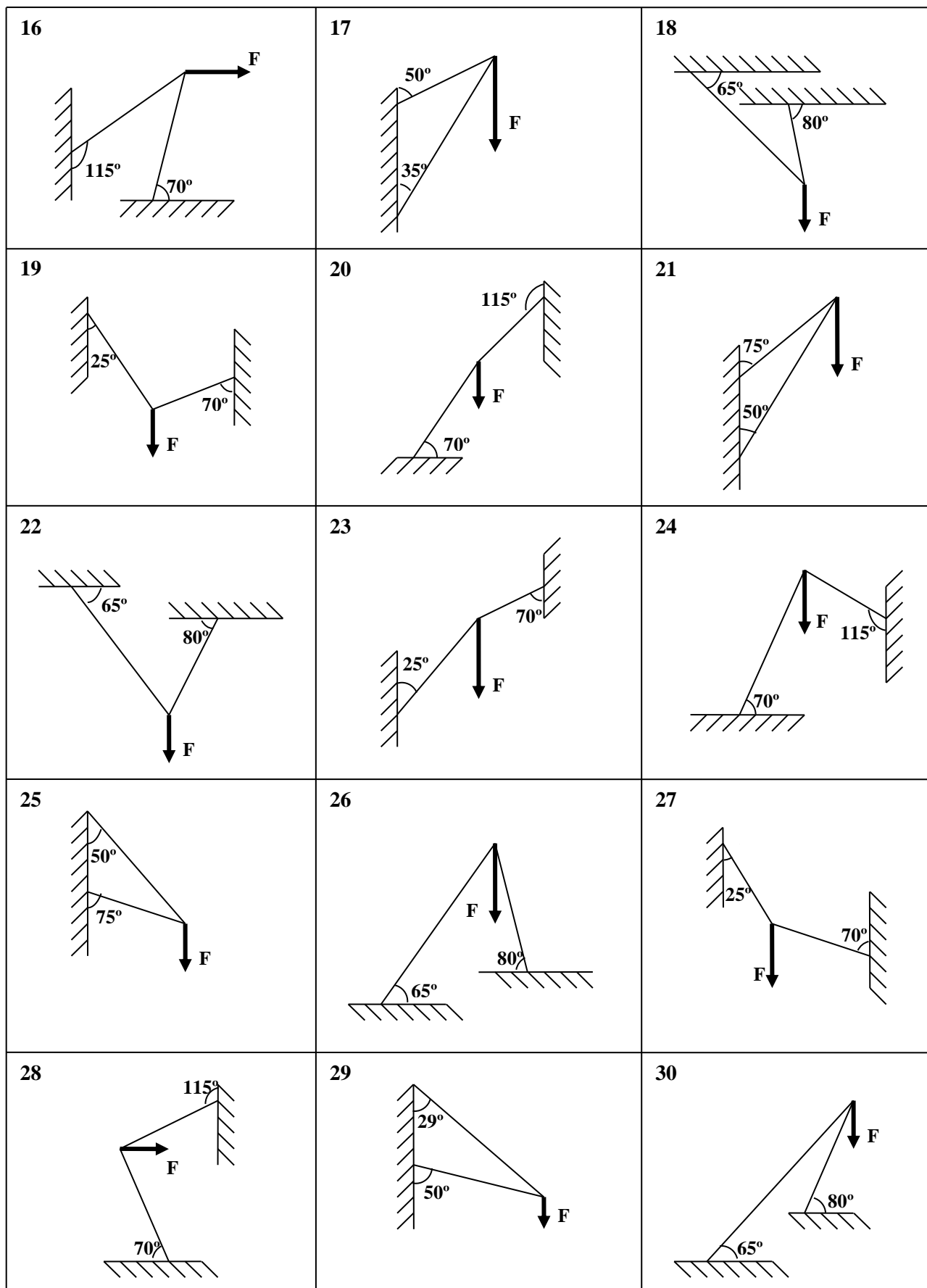


Рисунок 26



### Порядок выполнения работы:

1. Указать в стержнях неизвестные реакции  $R_1$  и  $R_2$ .
2. Поместить полученную систему сил в систему координат.
3. Указать все углы между осями  $x$  и  $y$  и силами.
4. Составить уравнения равновесия  $\Sigma X = 0$ ;  $\Sigma Y = 0$ .
5. Решить полученные уравнения и найти неизвестные реакции  $R_1$  и  $R_2$ .
6. Записать ответ.

## Практическая работа №2

**Тема:** Определение опорных реакций балок

**Цель:** Научиться определять реакции в опорах двухопорных балок

### Задание

Для заданной двухопорной балки (рисунок 3а,б) определить реакции в опорах, если  $F = 15 \text{ кН}$ ,  $m = 25 \text{ кН} \cdot \text{м}$ ,  $q = 10 \text{ кН/м}$ . Схему выбрать согласно варианту.

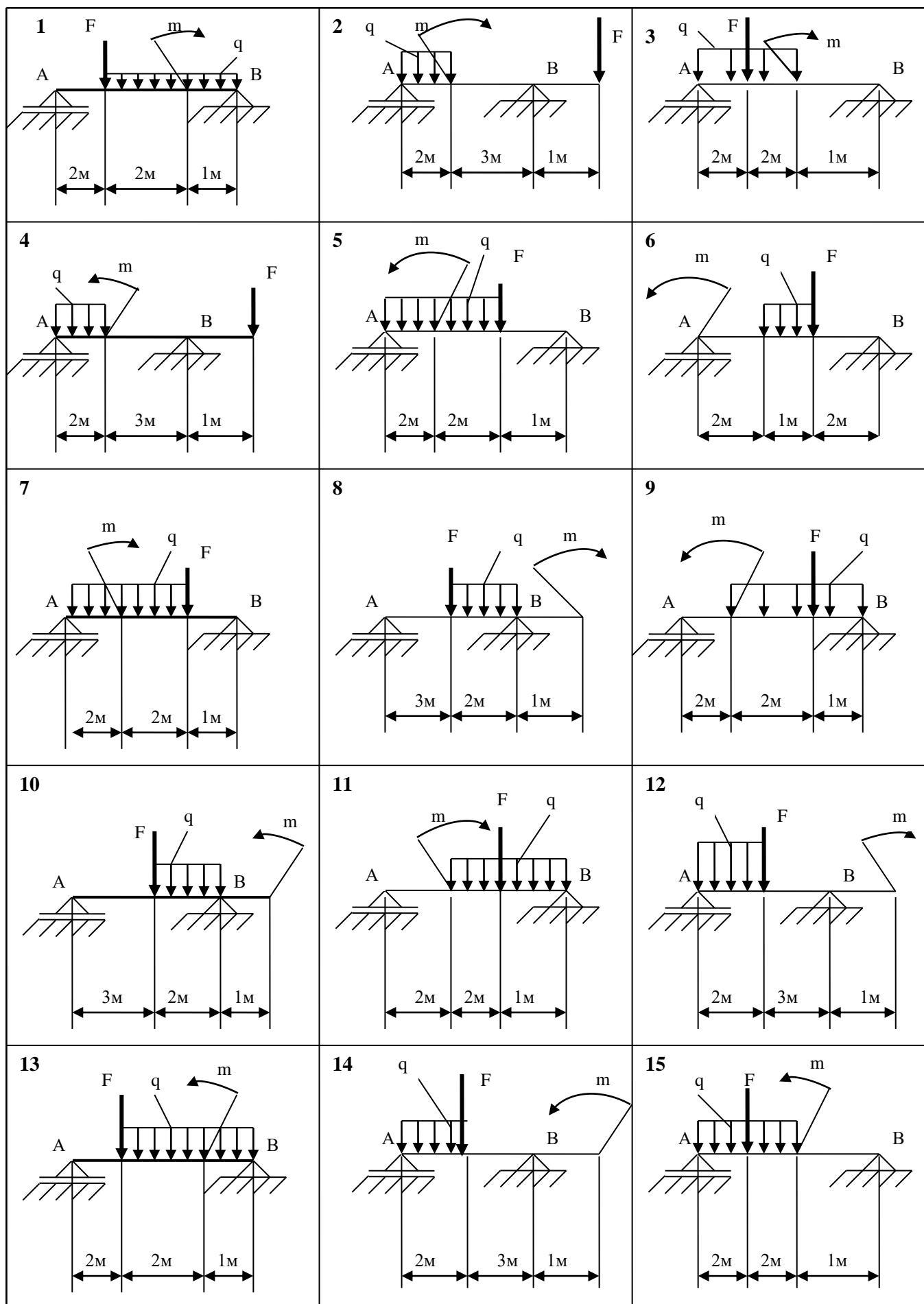


Рисунок 3а

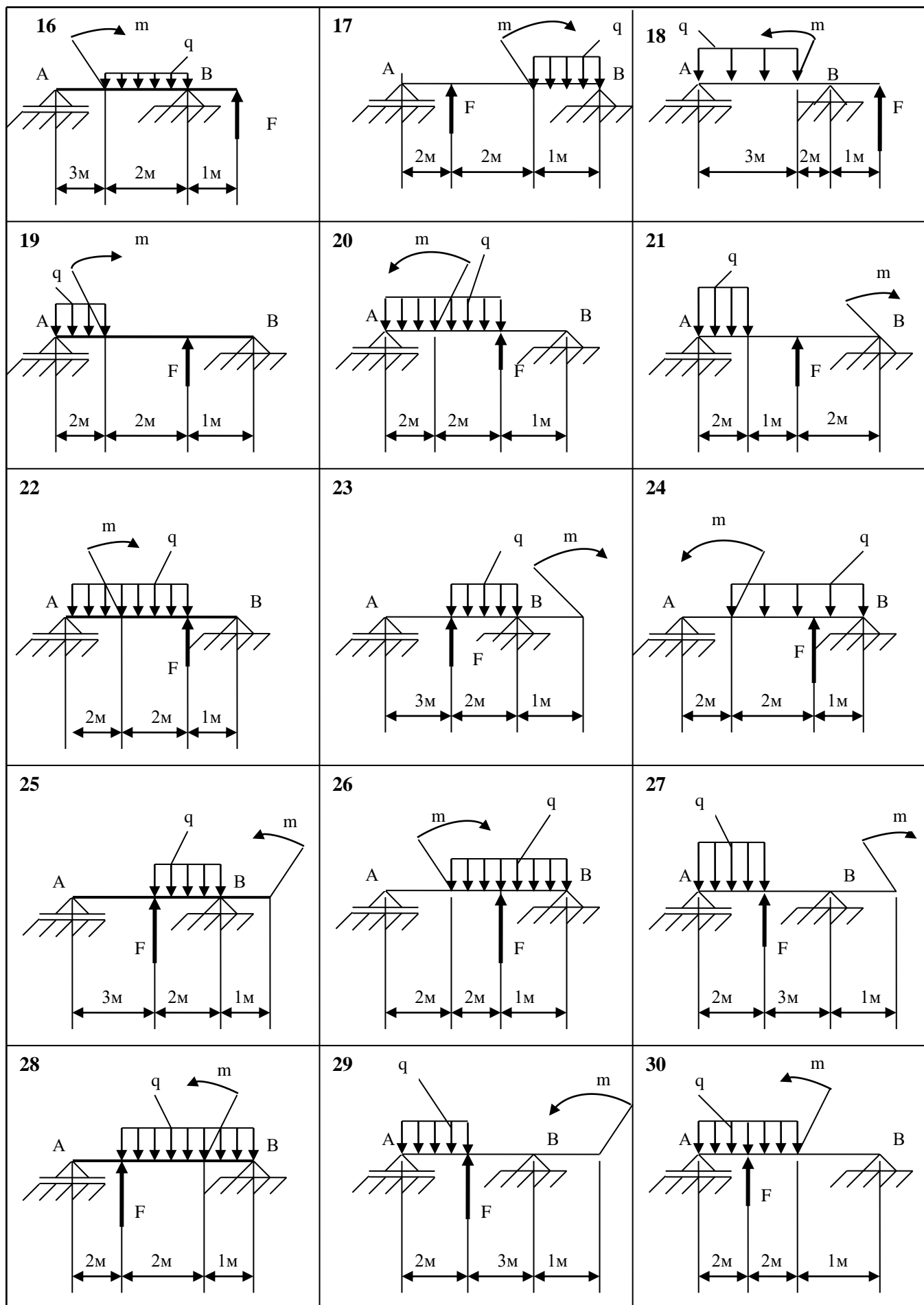


Рисунок 36

### Задание повышенной трудности

Для заданной двухопорной балки (рисунок 4 а, б, в), нагруженной силами  $F_1 = 10\text{кН}$ ,  $F_2 = 20\text{кН}$ ,  $m = 5\text{ кН}\cdot\text{м}$ ,  $q = 10\text{кН/м}$  определить реакции в опорах. Схему выбрать согласно варианту.

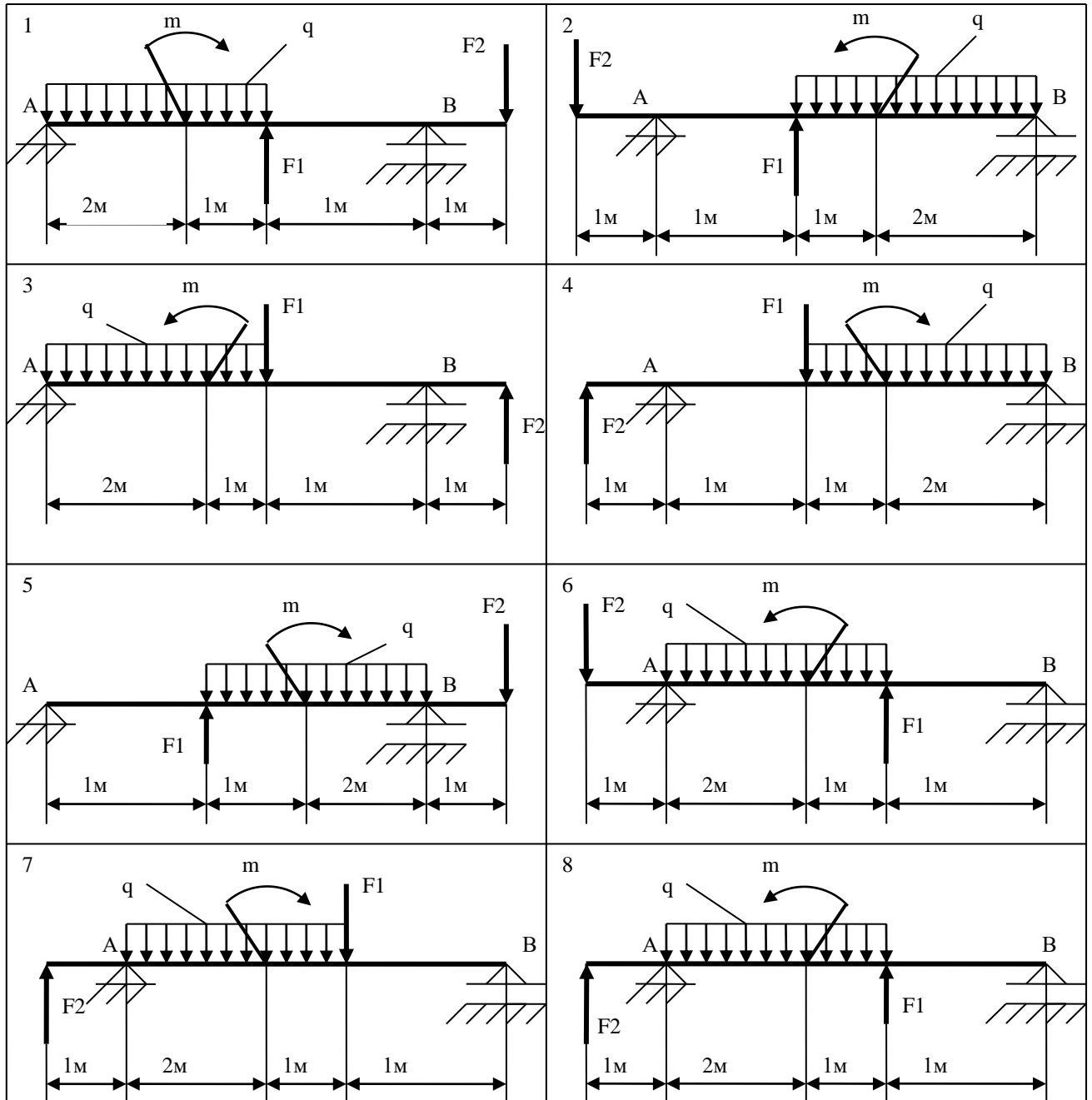


Рисунок 4а

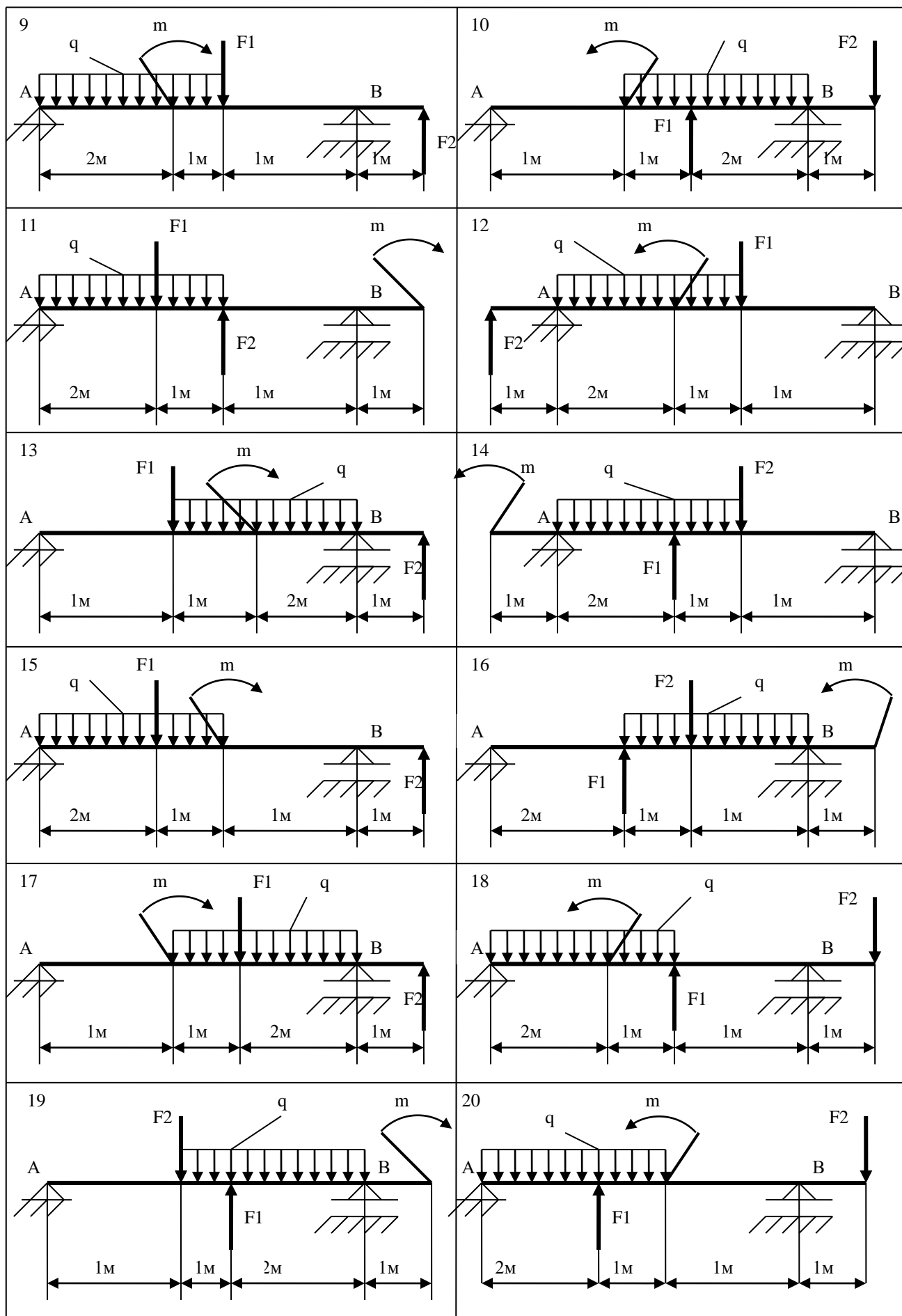


Рисунок 46

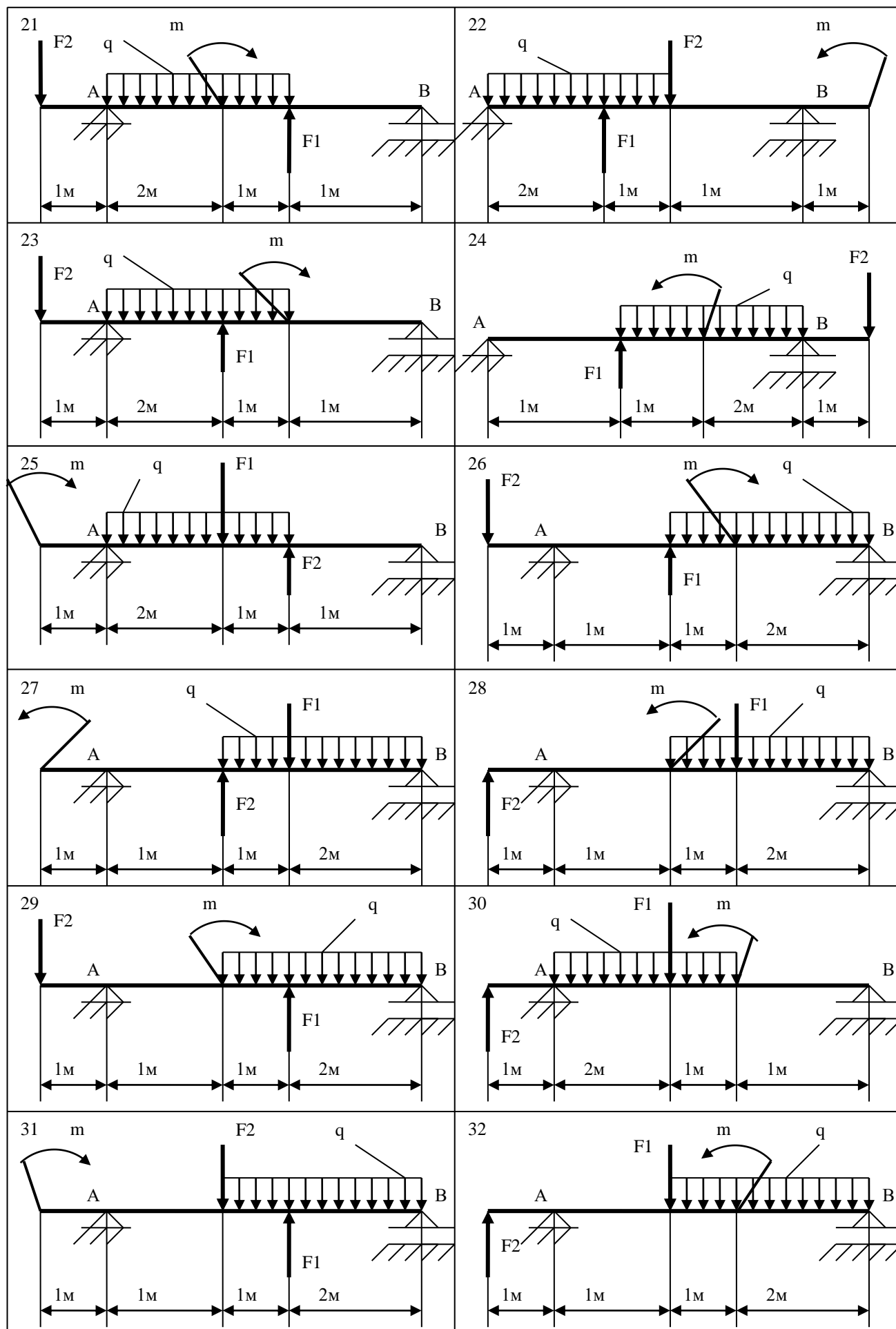


Рисунок 4в

### Порядок выполнения работы:

1. Заменить распределенную нагрузку сосредоточенной силой.  $Q = q \cdot l$ .
2. Указать неизвестные реакции в опорах  $Y_a$  и  $Y_b$ .
3. Составить и решить уравнения равновесия  $\Sigma M_A = 0, \Sigma M_B = 0$ .
4. Выполнить проверку, для этого составить уравнение равновесия  $\Sigma Y = 0$ .
5. Записать ответ.



## Практическая работа №3

**Тема:** Определение изменения длины стержня при растяжении и сжатии

**Цель:** Научиться строить эпюры продольных сил и нормальных напряжений, определять изменение длины стержня при растяжении и сжатии

### Задание

Для заданного стального стержня, нагруженного по схеме (рисунок 5а, б, в), построить эпюры продольных сил, нормальных напряжений и определить суммарное изменение длины стержня. Схему выбрать согласно варианту.

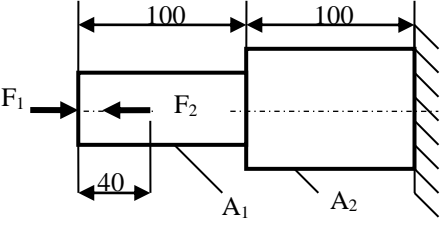
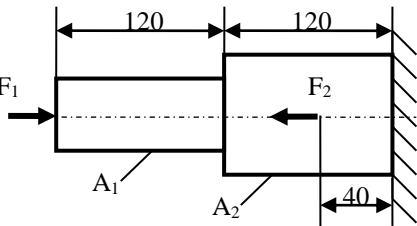
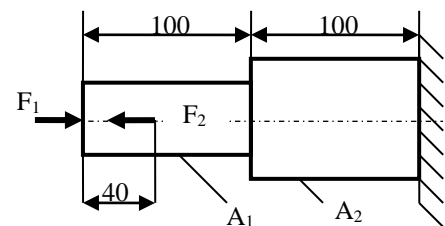
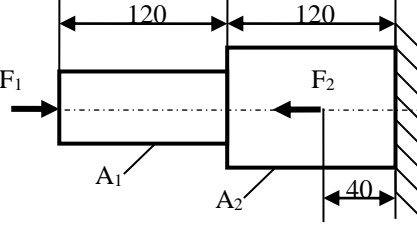
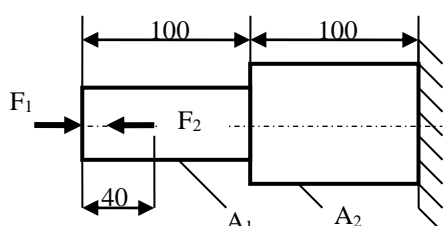
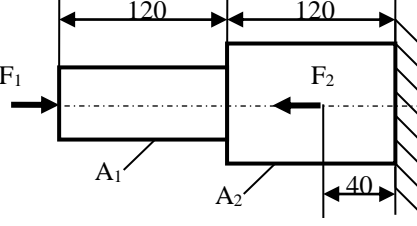
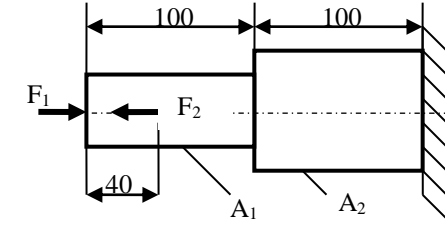
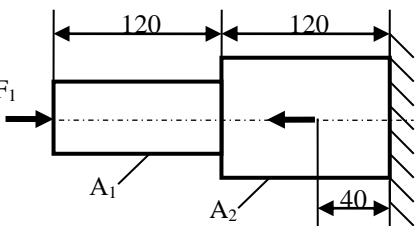
<p>1</p>  <p> <math>F_1 = 18 \text{ кН}</math>  <math>F_2 = 30 \text{ кН}</math>  <math>A_1 = 120 \text{ мм}^2</math>  <math>A_2 = 250 \text{ мм}^2</math>  <math>E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}</math> </p>	<p>2</p>  <p> <math>F_1 = 20 \text{ кН}</math>  <math>F_2 = 40 \text{ кН}</math>  <math>A_1 = 150 \text{ мм}^2</math>  <math>A_2 = 380 \text{ мм}^2</math>  <math>E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}</math> </p>
<p>3</p>  <p> <math>F_1 = 12 \text{ кН}</math>  <math>F_2 = 10 \text{ кН}</math>  <math>A_1 = 90 \text{ мм}^2</math>  <math>A_2 = 240 \text{ мм}^2</math>  <math>E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}</math> </p>	<p>4</p>  <p> <math>F_1 = 28 \text{ кН}</math>  <math>F_2 = 50 \text{ кН}</math>  <math>A_1 = 200 \text{ мм}^2</math>  <math>A_2 = 420 \text{ мм}^2</math>  <math>E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}</math> </p>
<p>5</p>  <p> <math>F_1 = 6 \text{ кН}</math>  <math>F_2 = 14 \text{ кН}</math>  <math>A_1 = 50 \text{ мм}^2</math>  <math>A_2 = 150 \text{ мм}^2</math>  <math>E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}</math> </p>	<p>6</p>  <p> <math>F_1 = 18 \text{ кН}</math>  <math>F_2 = 20 \text{ кН}</math>  <math>A_1 = 80 \text{ мм}^2</math>  <math>A_2 = 120 \text{ мм}^2</math>  <math>E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}</math> </p>
<p>7</p>  <p> <math>F_1 = 15 \text{ кН}</math>  <math>F_2 = 12 \text{ кН}</math>  <math>A_1 = 150 \text{ мм}^2</math>  <math>A_2 = 280 \text{ мм}^2</math>  <math>E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}</math> </p>	<p>8</p>  <p> <math>F_1 = 16 \text{ кН}</math>  <math>F_2 = 32 \text{ кН}</math>  <math>A_1 = 100 \text{ мм}^2</math>  <math>A_2 = 220 \text{ мм}^2</math>  <math>E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}</math> </p>

Рисунок 5а

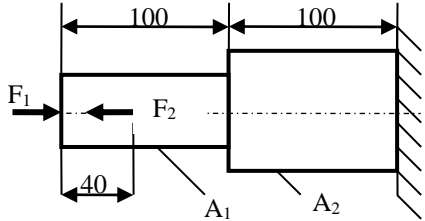
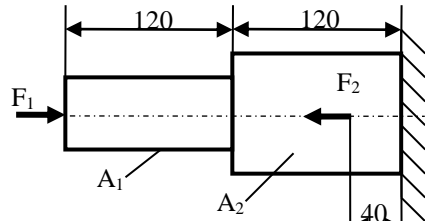
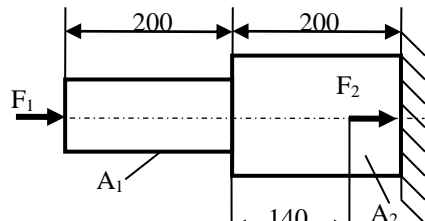
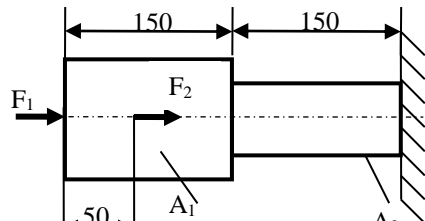
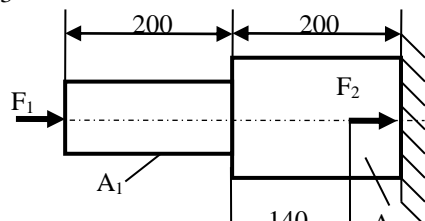
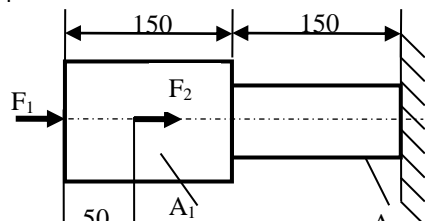
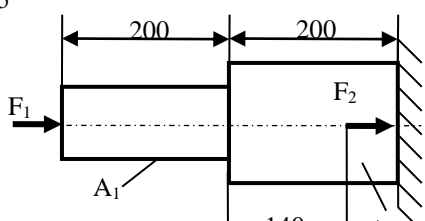
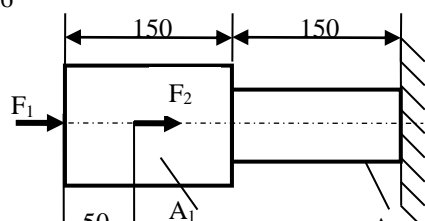
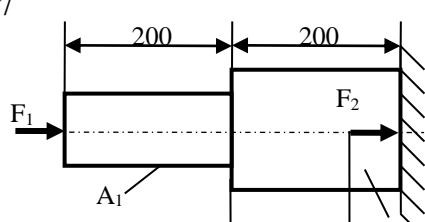
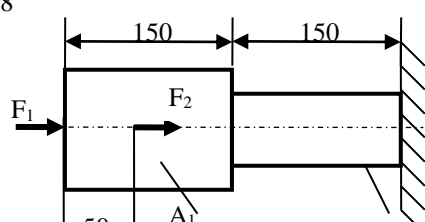
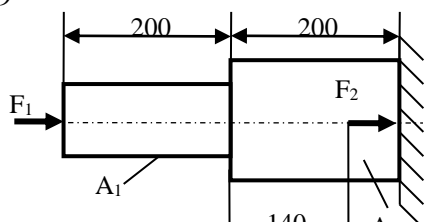
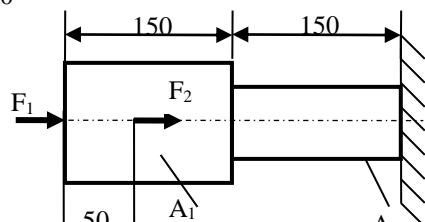
<p>9</p>  <p> <math>F_1=16\text{кН}</math>  <math>F_2=8\text{кН}</math>  <math>A_1=140\text{мм}^2</math>  <math>A_2=360\text{мм}^2</math>  <math>E=2\cdot 10^5\text{МПа}</math> </p>	<p>10</p>  <p> <math>F_1=25\text{кН}</math>  <math>F_2=35\text{кН}</math>  <math>A_1=250\text{мм}^2</math>  <math>A_2=400\text{мм}^2</math>  <math>E=2\cdot 10^5\text{МПа}</math> </p>
<p>11</p>  <p> <math>F_1=3\text{кН}</math>  <math>F_2=8,4\text{кН}</math>  <math>A_1=20\text{мм}^2</math>  <math>A_2=60\text{мм}^2</math>  <math>E=2\cdot 10^5\text{МПа}</math> </p>	<p>12</p>  <p> <math>F_1=4,2\text{кН}</math>  <math>F_2=9,0\text{кН}</math>  <math>A_1=60\text{мм}^2</math>  <math>A_2=30\text{мм}^2</math>  <math>E=2\cdot 10^5\text{МПа}</math> </p>
<p>13</p>  <p> <math>F_1=4,8\text{кН}</math>  <math>F_2=10\text{кН}</math>  <math>A_1=40\text{мм}^2</math>  <math>A_2=80\text{мм}^2</math>  <math>E=2\cdot 10^5\text{МПа}</math> </p>	<p>14</p>  <p> <math>F_1=5\text{кН}</math>  <math>F_2=9,8\text{кН}</math>  <math>A_1=100\text{мм}^2</math>  <math>A_2=50\text{мм}^2</math>  <math>E=2\cdot 10^5\text{МПа}</math> </p>
<p>15</p>  <p> <math>F_1=7,2\text{кН}</math>  <math>F_2=15\text{кН}</math>  <math>A_1=60\text{мм}^2</math>  <math>A_2=150\text{мм}^2</math>  <math>E=2\cdot 10^5\text{МПа}</math> </p>	<p>16</p>  <p> <math>F_1=5,6\text{кН}</math>  <math>F_2=8,6\text{кН}</math>  <math>A_1=200\text{мм}^2</math>  <math>A_2=70\text{мм}^2</math>  <math>E=2\cdot 10^5\text{МПа}</math> </p>
<p>17</p>  <p> <math>F_1=7,2\text{кН}</math>  <math>F_2=14\text{кН}</math>  <math>A_1=80\text{мм}^2</math>  <math>A_2=240\text{мм}^2</math>  <math>E=2\cdot 10^5\text{МПа}</math> </p>	<p>18</p>  <p> <math>F_1=14,4\text{кН}</math>  <math>F_2=24,4\text{кН}</math>  <math>A_1=250\text{мм}^2</math>  <math>A_2=90\text{мм}^2</math>  <math>E=2\cdot 10^5\text{МПа}</math> </p>
<p>19</p>  <p> <math>F_1=9\text{кН}</math>  <math>F_2=22\text{кН}</math>  <math>A_1=100\text{мм}^2</math>  <math>A_2=300\text{мм}^2</math>  <math>E=2\cdot 10^5\text{МПа}</math> </p>	<p>20</p>  <p> <math>F_1=14,4\text{кН}</math>  <math>F_2=28\text{кН}</math>  <math>A_1=320\text{мм}^2</math>  <math>A_2=120\text{мм}^2</math>  <math>E=2\cdot 10^5\text{МПа}</math> </p>

Рисунок 56

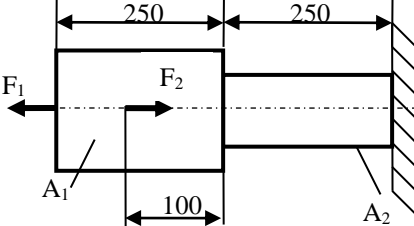
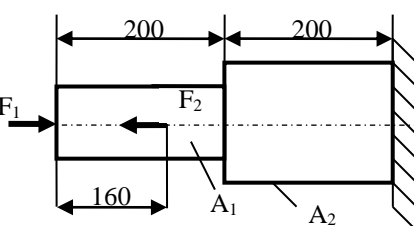
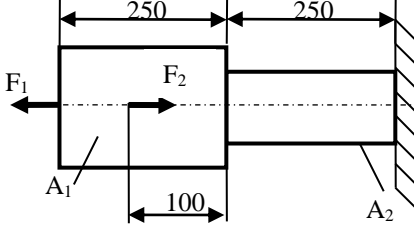
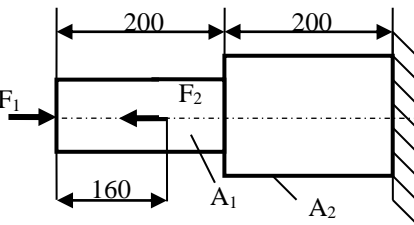
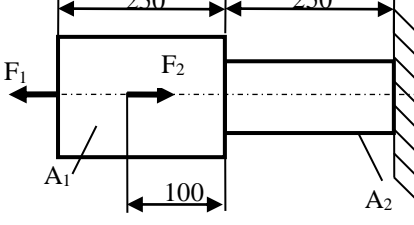
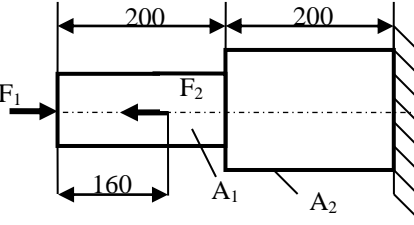
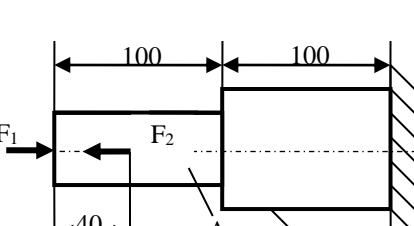
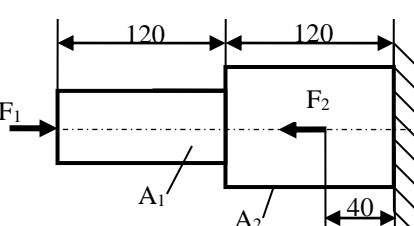
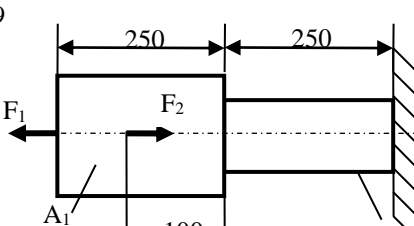
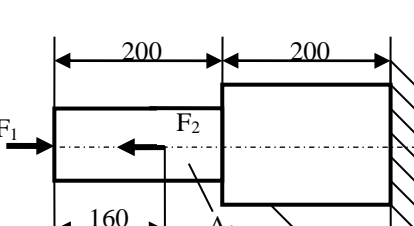
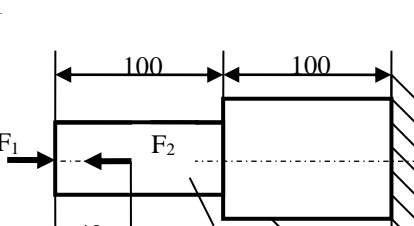
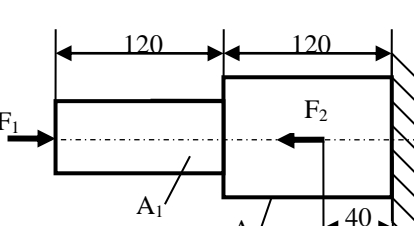
<p>21</p>  <p> <math>F_1=16\text{кН}</math>  <math>F_2=34\text{кН}</math>  <math>A_1=200\text{мм}^2</math>  <math>A_2=150\text{мм}^2</math>  <math>E=2\cdot 10^5\text{МПа}</math> </p>	<p>22</p>  <p> <math>F_1=24\text{кН}</math>  <math>F_2=12\text{кН}</math>  <math>A_1=200\text{мм}^2</math>  <math>A_2=240\text{мм}^2</math>  <math>E=2\cdot 10^5\text{МПа}</math> </p>
<p>23</p>  <p> <math>F_1=40\text{кН}</math>  <math>F_2=42\text{кН}</math>  <math>A_1=280\text{мм}^2</math>  <math>A_2=220\text{мм}^2</math>  <math>E=2\cdot 10^5\text{МПа}</math> </p>	<p>24</p>  <p> <math>F_1=20\text{кН}</math>  <math>F_2=36\text{кН}</math>  <math>A_1=180\text{мм}^2</math>  <math>A_2=250\text{мм}^2</math>  <math>E=2\cdot 10^5\text{МПа}</math> </p>
<p>25</p>  <p> <math>F_1=25\text{кН}</math>  <math>F_2=5\text{кН}</math>  <math>A_1=300\text{мм}^2</math>  <math>A_2=240\text{мм}^2</math>  <math>E=2\cdot 10^5\text{МПа}</math> </p>	<p>26</p>  <p> <math>F_1=38\text{кН}</math>  <math>F_2=50\text{кН}</math>  <math>A_1=250\text{мм}^2</math>  <math>A_2=320\text{мм}^2</math>  <math>E=2\cdot 10^5\text{МПа}</math> </p>
<p>27</p>  <p> <math>F_1=20\text{кН}</math>  <math>F_2=40\text{кН}</math>  <math>A_1=150\text{мм}^2</math>  <math>A_2=380\text{мм}^2</math>  <math>E=2\cdot 10^5\text{МПа}</math> </p>	<p>28</p>  <p> <math>F_1=4,8\text{кН}</math>  <math>F_2=28,8\text{кН}</math>  <math>A_1=250\text{мм}^2</math>  <math>A_2=300\text{мм}^2</math>  <math>E=2\cdot 10^5\text{МПа}</math> </p>
<p>29</p>  <p> <math>F_1=25\text{кН}</math>  <math>F_2=40\text{кН}</math>  <math>A_1=250\text{мм}^2</math>  <math>A_2=200\text{мм}^2</math>  <math>E=2\cdot 10^5\text{МПа}</math> </p>	<p>30</p>  <p> <math>F_1=38\text{кН}</math>  <math>F_2=18\text{кН}</math>  <math>A_1=200\text{мм}^2</math>  <math>A_2=250\text{мм}^2</math>  <math>E=2\cdot 10^5\text{МПа}</math> </p>
<p>31</p>  <p> <math>F_1=12\text{кН}</math>  <math>F_2=10\text{кН}</math>  <math>A_1=90\text{мм}^2</math>  <math>A_2=240\text{мм}^2</math>  <math>E=2\cdot 10^5\text{МПа}</math> </p>	<p>32</p>  <p> <math>F_1=8\text{кН}</math>  <math>F_2=20\text{кН}</math>  <math>A_1=80\text{мм}^2</math>  <math>A_2=120\text{мм}^2</math>  <math>E=2\cdot 10^5\text{МПа}</math> </p>

Рисунок 5в

### Порядок выполнения работы:

1. Разделить стержень на участки. Границами участков являются точки приложения сил и точки, где меняется сечение.
2. На каждом участке определить продольную силу  $N$ , для этого составить уравнения равновесия  $\sum X = 0$ .
3. По полученным значениям строим эпюру  $N$ .
4. Для каждого участка определить нормальное напряжение  $\sigma = \frac{N}{A}$ .
5. По полученным значениям построить эпюру  $\sigma$ .
6. Для каждого участка определить изменение длины  $\Delta l = \frac{l \cdot N}{E \cdot A}$ .
7. Определить суммарное изменение длины стержня  $\Delta l = \Delta l_1 + \Delta l_2 + \dots$ .
8. Записать ответ.

## Практическая работа №4

**Тема:** Расчет на прочность при кручении

**Цель:** Научиться выполнять расчеты на кручение, исходя из условия прочности

### Задание

Для заданного стального бруса (рисунок 6) требуется: 1) построить эпюру крутящих моментов; 2) определить из расчета на прочность диаметр каждого из участков бруса, принимая  $[\tau] = 60 \text{ Н/мм}^2$ ,  $G = 0,8 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ . Полученные по расчету значения диаметров округлить до ближайших больших целых четных чисел или оканчивающихся на 5 (в миллиметрах); 3) при принятых значениях диаметров построить эпюру  $\varphi$ . Данные своего варианта взять из таблицы 1.

Таблица 1

Вариант	Схема	$M_1$	$M_2$	$M_3$
		Н·м		
1	1	200	150	100
2		190	160	170
3		180	170	120
4	2	200	150	600
5		210	160	610
6		220	170	620
7	3	400	100	200
8		410	110	210
9		420	120	220
10	4	100	300	150
11		110	310	160
12		120	320	170
13	5	200	100	700
14		210	110	710
15		220	120	720
16	6	300	400	800
17		310	410	810
18		320	420	820
19	7	400	210	300
20		410	220	310
21		420	230	320
22	8	300	800	150
23		310	810	160
24		320	820	170
25	9	510	400	310
26		520	410	320
27		530	420	330
28	10	300	600	200
29		310	610	200
30		320	620	210

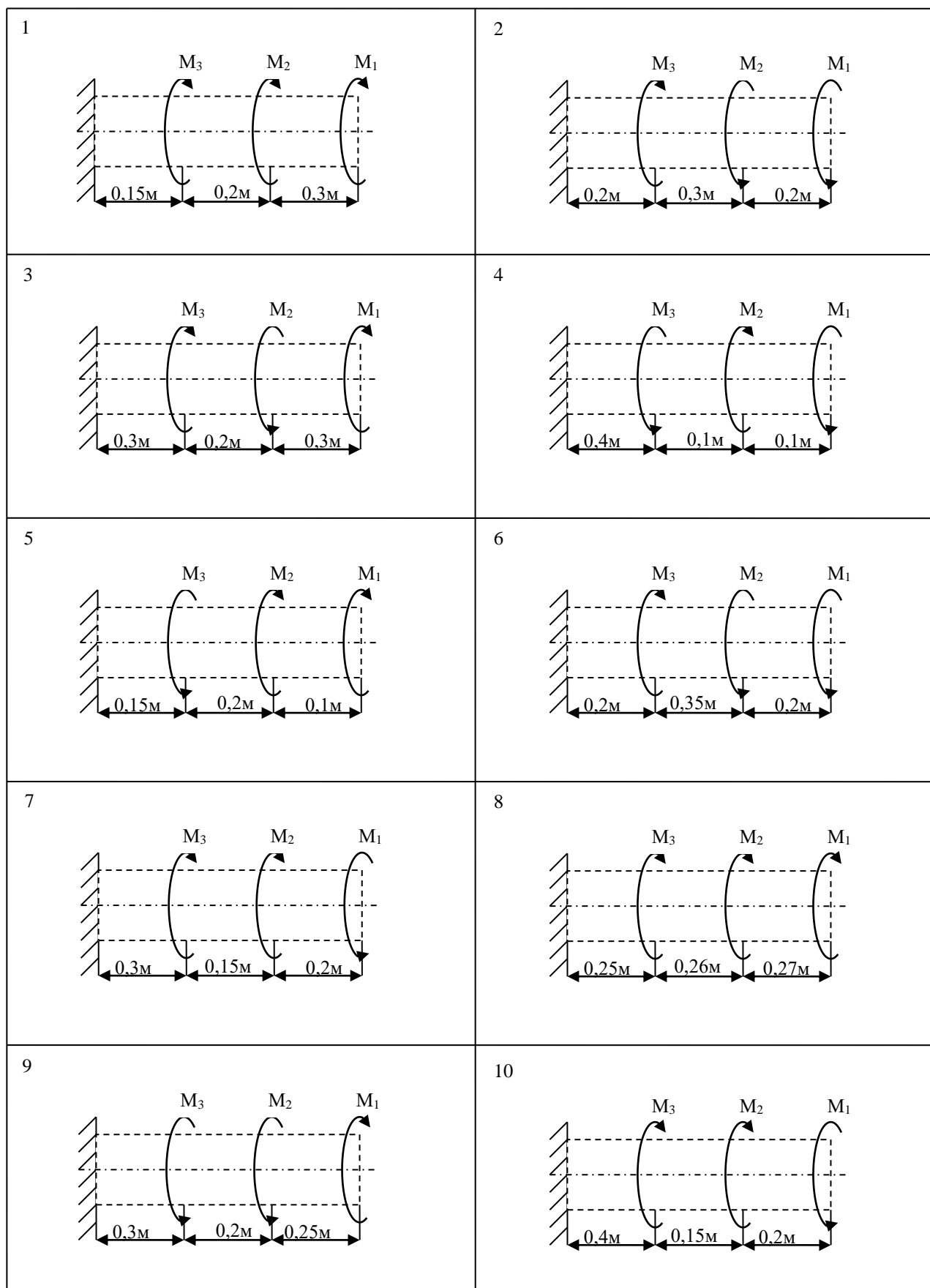


Рисунок 6

### Порядок выполнения работы:

1. Разделить вал на участки;
2. Определить крутящий момент на каждом участке вала;
3. По полученным значениям построить эпюру крутящих моментов
4. Для каждого участка определить диаметр вала из условия прочности

по формуле 
$$d = \sqrt[3]{\frac{|M_{kp}|}{0,2[\tau_k]}}$$
.

5. Определить угол закручивания для каждого участка по формуле

$$\varphi = \frac{M_{kp} \cdot l}{G \cdot J_\rho}.$$

6. Построить эпюру  $\varphi$ , учитывая, что в заделке  $\varphi = 0$ , на 3 участке  $\varphi = \varphi_3$ , на 2 участке  $\varphi = \varphi_3 + \varphi_2$ , на 1 участке  $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3$ .
7. Записать ответ.

## Практическая работа №5

**Тема:** Расчет на прочность при изгибе

**Цель:** Научиться выполнять расчеты на изгиб, исходя из условия прочности

### Задание

Для заданной двухопорной балки (рисунок 7) построить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов. Определить размеры поперечного сечения балки, если:

- а) балка имеет форму двутавра;
- б) балка имеет круглое поперечное сечение.

Полученные по расчету значения диаметров округлить до целых четных чисел или оканчивающихся на пять,  $[\sigma] = 100 \text{ МПа}$ . Данные своего варианта взять из таблицы 2.

Таблица 2

Вариант	Схема	М, кН·м	F <sub>1</sub> кН	F <sub>2</sub> кН
1	1	30	20	100
2		40	10	110
3		50	20	120
4		60	30	80
5	2	10	25	35
6		12	22	30
7		14	20	25
8		15	15	15
9	3	10	12	13
10		11	15	12
11		13	16	10
12		15	18	12
13	4	14	17	13
14		15	18	14
15		16	19	15
16		17	20	16
17	5	10	11	12
18		11	12	13
19		12	13	14
20		13	14	15
21	6	14	15	16
22		15	16	17
23		16	17	18
24		17	18	19
25	7	18	19	20
26		19	20	20
27		20	20	20
28		25	16	17
29	8	14	15	16
30		13	14	15
31		12	13	14
32		13	14	15



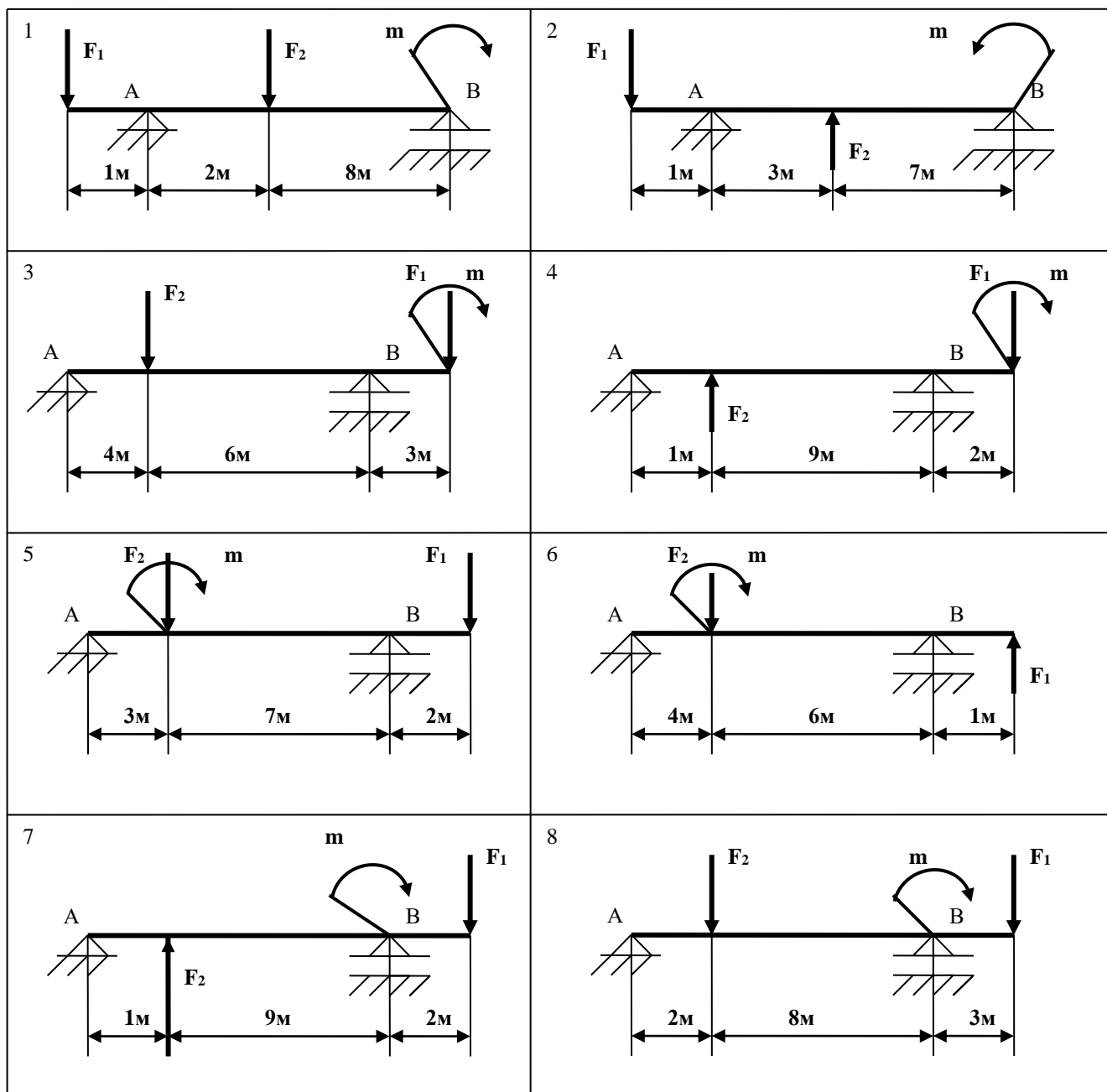


Рисунок 7

### Задание повышенной трудности №1

Для заданной двухопорной балки (рисунок 8а,б) построить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов, если  $F = 15\text{кН}$ ;  $m = 25\text{кН}\cdot\text{м}$ ;  $q = 10\text{кН/м}$ ;  $[\sigma] = 100\text{ МПа}$ . Определить размеры поперечного сечения балки, если:

- балка имеет форму двутавра;
- балка имеет круглое поперечное сечение.

Полученные по расчету значения диаметров округлить до целых четных чисел или оканчивающихся на пять.

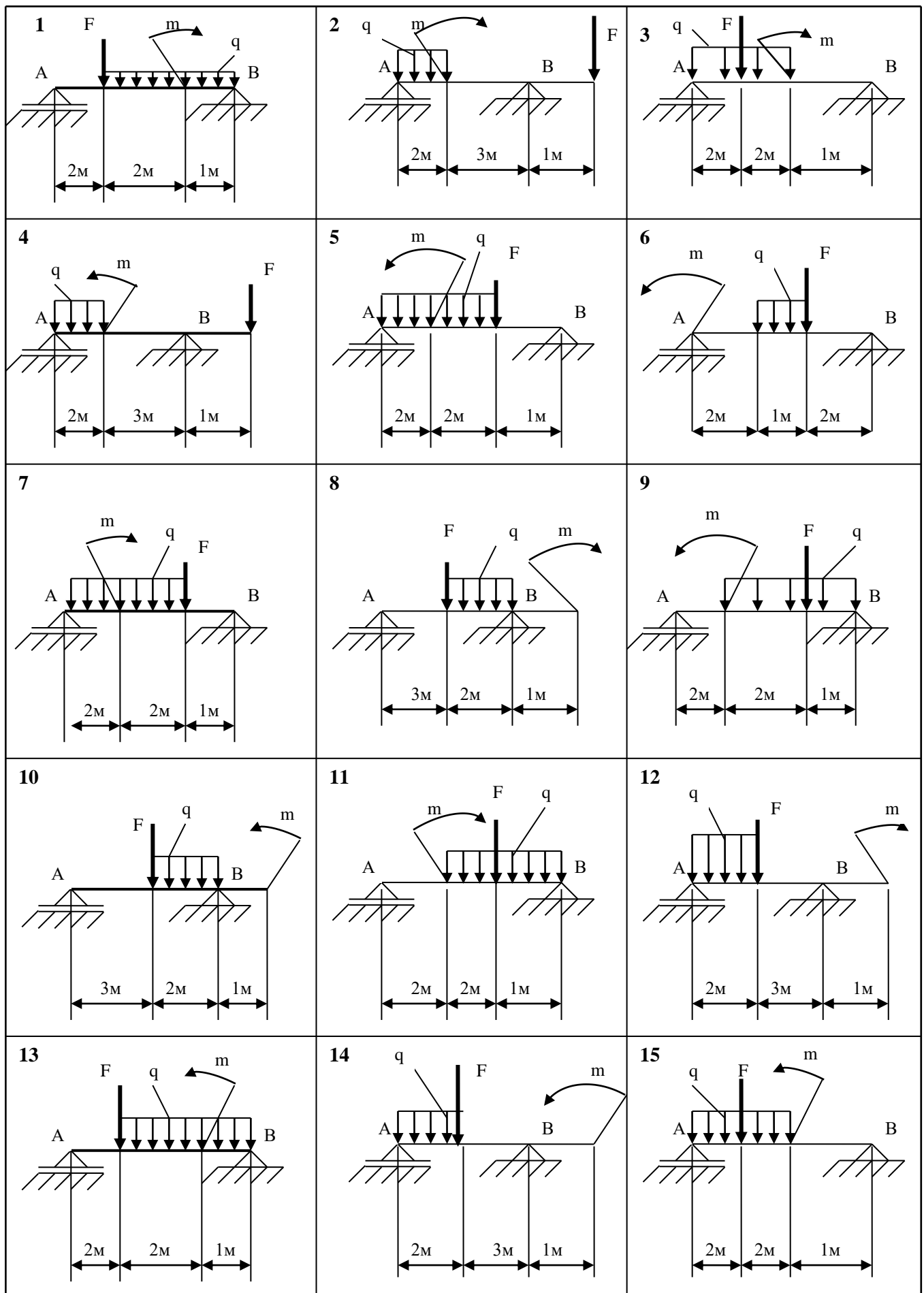


Рисунок 8а

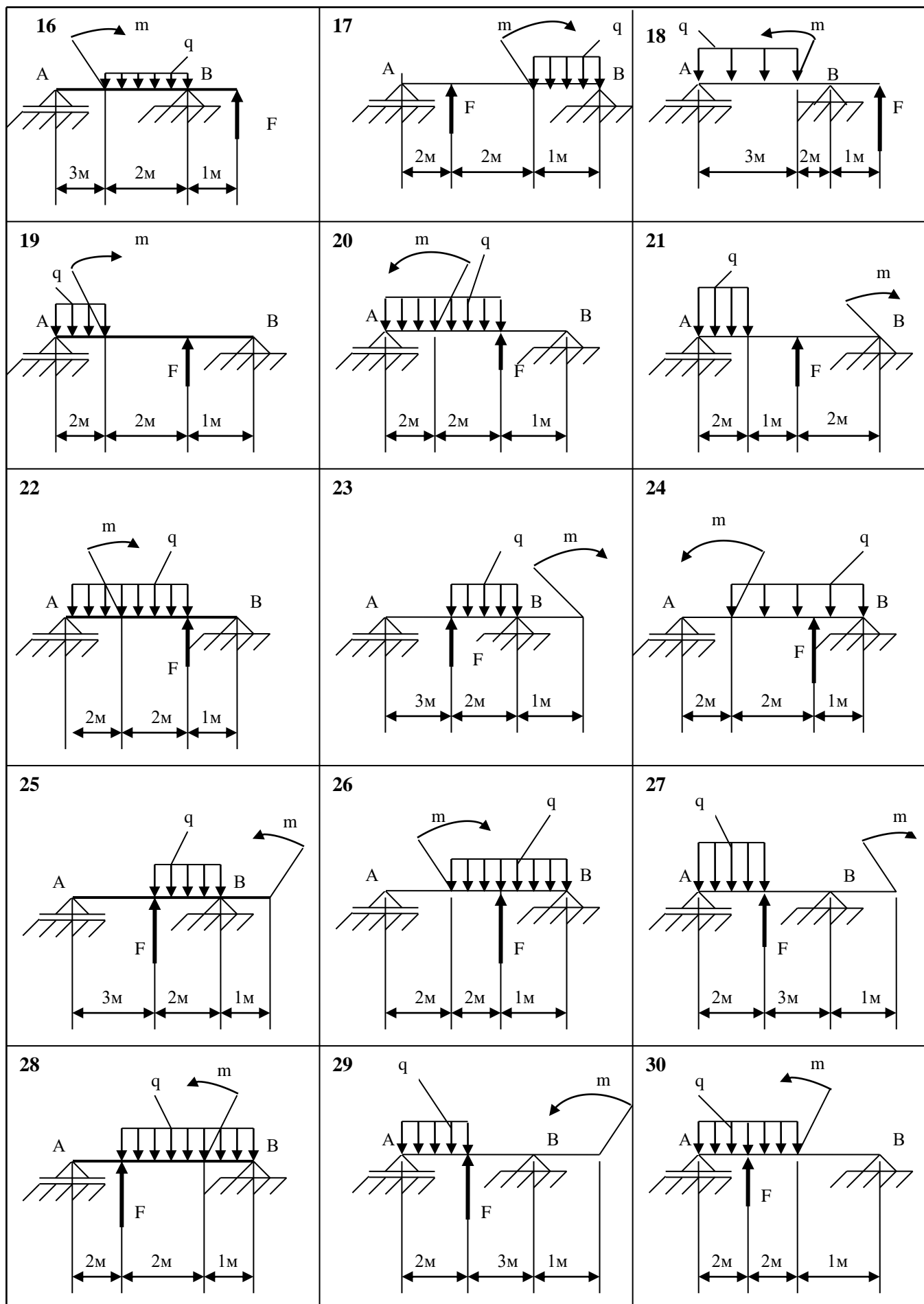


Рисунок 86

### Задание повышенной трудности №2

Для заданной двухопорной балки (рисунок 9а,б,в) построить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов, если  $F_1 = 10\text{кН}$ ,  $F_2 = 20\text{кН}$ ,  $m = 5\text{ кН}\cdot\text{м}$ ,  $q = 10\text{кН/м}$ ,  $[\sigma] = 100\text{ МПа}$ . Определить размеры поперечного сечения балки, если:

- а) балка имеет форму двутавра;
- б) балка имеет круглое поперечное сечение.

Полученные по расчету значения диаметров округлить до целых четных чисел или оканчивающихся на пять. Схему выбрать согласно варианту.

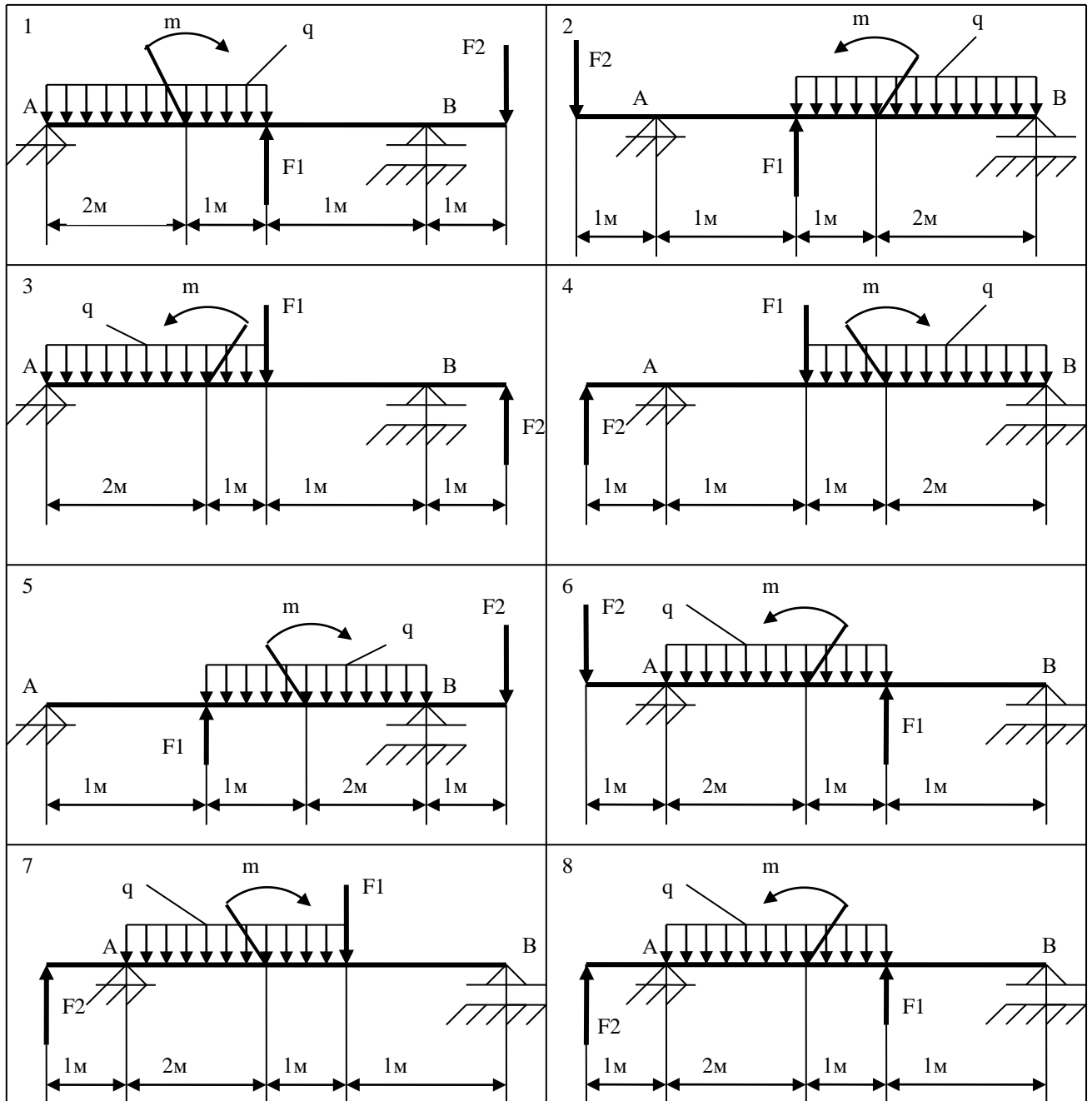


Рисунок 9а

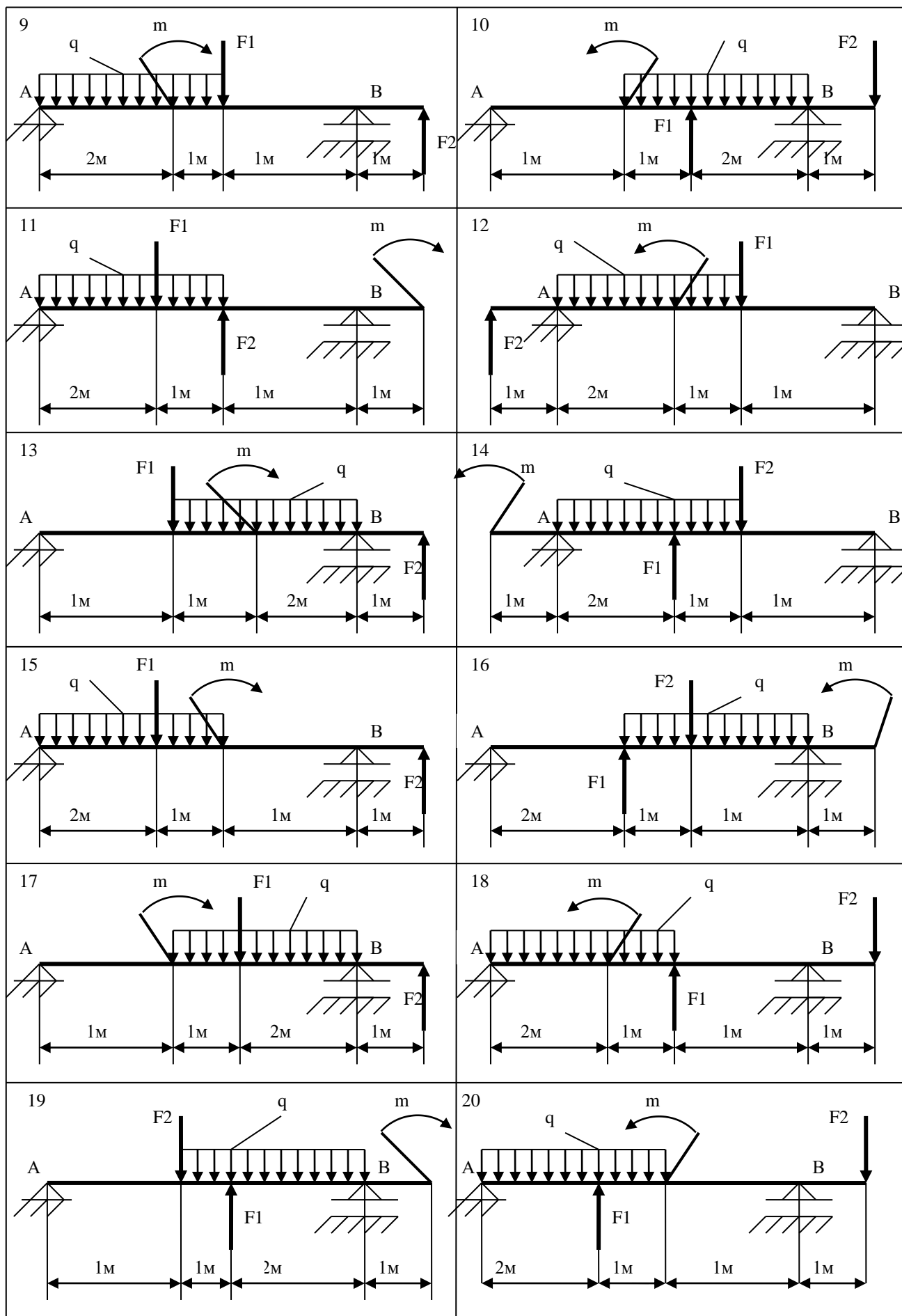


Рисунок 96

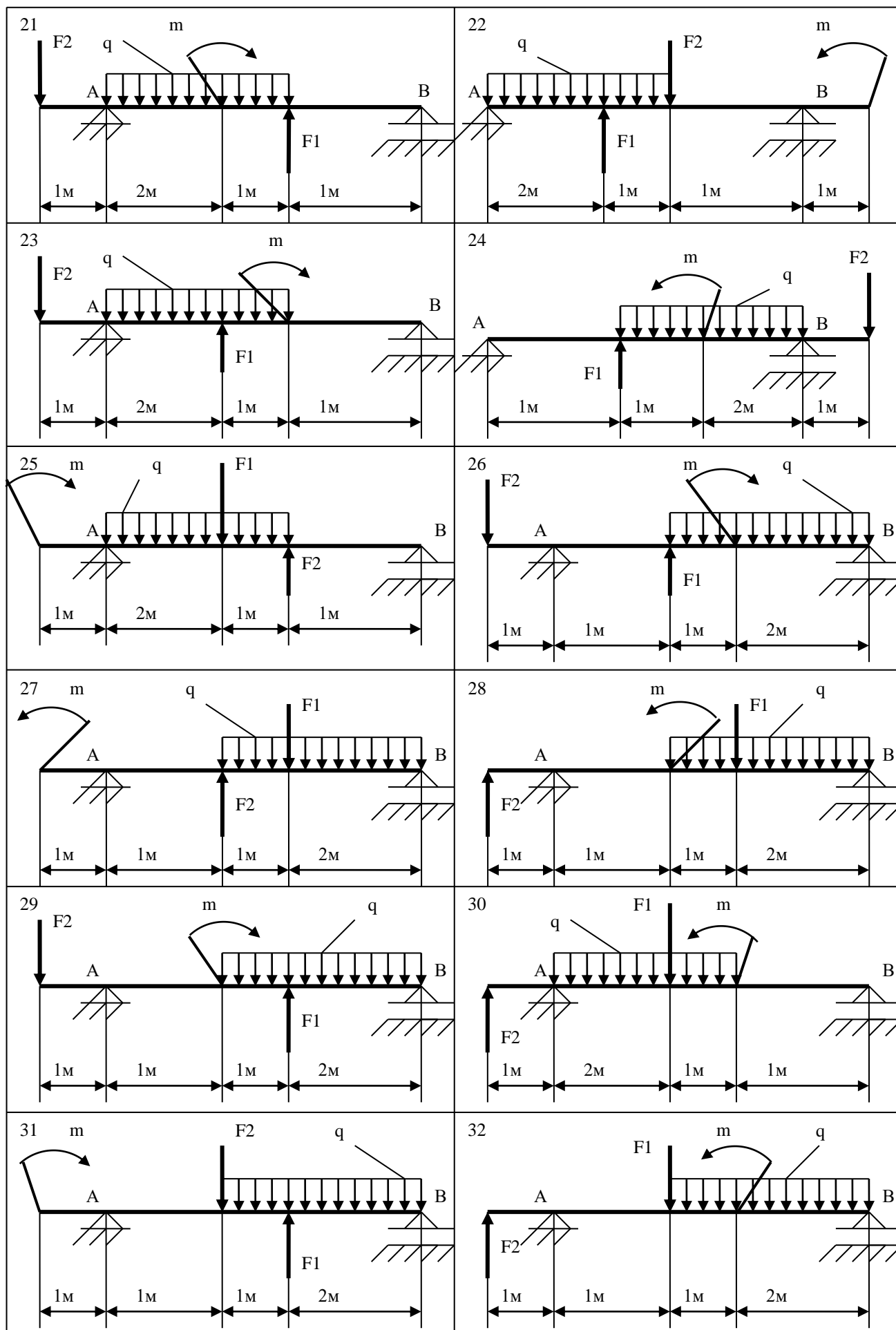


Рисунок 9в

### Порядок выполнения работы:

1. Определить опорные реакции балки, для этого составить два уравнения равновесия  $\sum M_A = 0$  и  $\sum M_B = 0$ . Полученные значения проверить с помощью уравнения  $\sum y = 0$ .
2. Балку разделить на участки. Границами участков являются точки приложения сил, моментов и точки, где начинается и заканчивается распределенная нагрузка.
3. Границы участков обозначить буквами.
4. В каждой точке определить поперечную силу  $Q$ , если в точке действует сосредоточенная сила, то поперечная сила  $Q$  определяется дважды (слева и справа от точки), построить эпюру  $Q$ .
5. В каждой точке определить изгибающий момент  $M$ , если в точке действует момент, то изгибающий момент определяется дважды (слева и справа от точки), построить эпюру  $M$ .
6. Определить осевой момент сопротивления по формуле:  $W_x = \frac{|M_{\max}|}{[\sigma]}$ ,  
где  $|M_{\max}|$  – максимальное, по модулю, значение изгибающего момента.
7. Для балок имеющих круглое поперечное сечение определить диаметр по формуле:  $d = \sqrt[3]{\frac{W_x}{0,2}}$ .
8. Для балок имеющих форму двутавра необходимо полученное значение  $W_x$  перевести в  $\text{см}^3$ , а затем воспользоваться ГОСТ 8239 – 89 (приложение Б) и подобрать значение  $W_x$ , соответствующее расчетному значению.
9. В ответе указать номер балки, соответствующий выбранному значению  $W_x$ .

## Практическая работа №6

**Тема:** Подбор и проверочный расчет шпонок

**Цель:** Научиться осуществлять подбор шпонок по стандарту и выполнять проверочный расчет на прочность

### Задание

Подобрать шпонку на выходной конец вала для соединения с чугунной полумуфтой,  $[\sigma_{см}] = 80 \text{ МПа}$ .

2. Подобрать шпонку для соединения вала со ступицей зубчатого колеса и проверить прочность шпоночного соединения,  $[\sigma_{см}] = 100 \text{ МПа}$ .

Данные своего варианта взять в таблице 3.

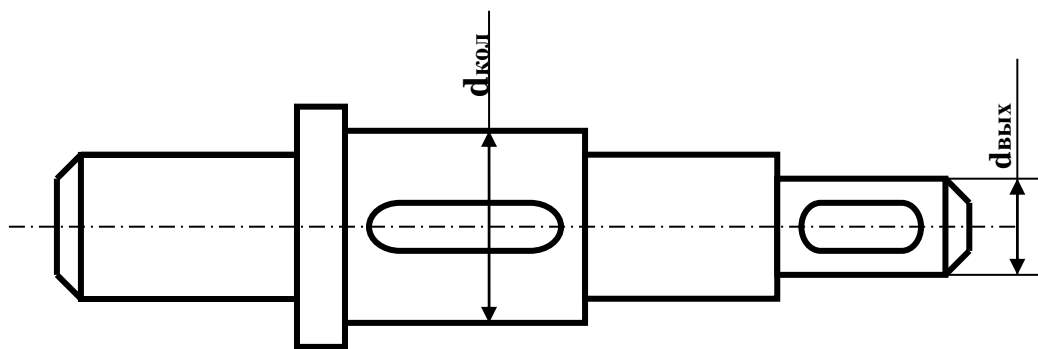


Рисунок 10

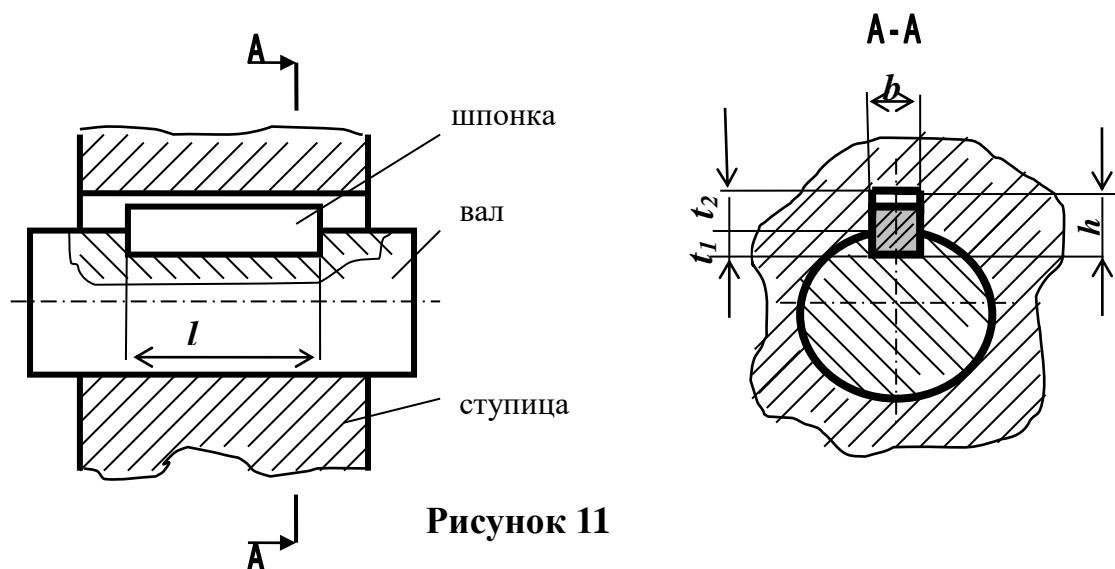


Рисунок 11



Таблица 3

№ варианта	$d_{\text{вых}}, \text{ мм}$	$M, \text{ Н}\cdot\text{м}$	$l_{\text{ст}}, \text{ мм}$	$d_{\text{кол}}, \text{ мм}$
1	15	50	25	24
2	16	68	28	18
3	13	60	26	20
4	14	65	30	20
5	15	80	38	24
6	16	50	34	25
7	17	75	36	25
8	18	55	40	24
9	19	90	42	28
10	20	85	45	28
11	21	95	48	30
12	22	120	50	32
13	24	100	53	34
14	25	110	56	34
15	26	105	50	36
16	28	115	45	36
17	30	140	60	40
18	32	130	63	38
19	33	120	67	45
20	34	150	56	45
21	36	160	63	45
22	38	155	67	45
23	40	165	71	48
24	42	170	75	48
25	45	200	67	55
26	48	190	63	55
27	50	180	60	60
28	52	185	71	60
29	55	210	75	65
30	60	195	80	70
31	63	215	66	75
32	65	300	63	75

**Порядок выполнения:**

- В зависимости от диаметра вала  $d_{\text{вых}}$  выбрать размер призматической шпонки по ГОСТ 23360 -78 (приложение В).  
 $b =$   
 $h =$   
 $t_1 =$
- Определить расчетную длину шпонки по формуле:

$$l = \frac{2 \cdot M}{d(h - t_1) \cdot [\sigma_{см}]} + b$$

3. Уточнить длину шпонки по ГОСТ 23360 -78 (приложение В).  
*Необходимо выбрать окончательную длину шпонки из стандартного ряда (см. примечание к ГОСТу 23360-78).*

4. Для вала диаметром  $d_{\text{кол}}$  подобрать размер призматической шпонки по ГОСТ 23360 -78 (приложение В).

$b =$

$h =$

$t_1 =$

5. Определить расчетную длину шпонки. Рекомендуется размер шпонки принимать на 2 - 10 мм короче ступицы.

$$l = l_{см} - (2 \dots 10)$$

6. Уточнить длину шпонки по ГОСТ 23360 -78(приложение В).

*Необходимо выбрать окончательную длину шпонки из стандартного ряда (см. примечание к ГОСТу 23360-78).*

7. Определить величину фактических напряжений по формуле:

$$\sigma_{см} = \frac{2 \cdot M}{d(h - t_1)(l_{ш} - b)}$$

8. Проверить выполнение условия прочности

$$\sigma_{см} \leq [\sigma_{см}]$$

9. Сделать вывод о пригодности шпонки:

***Прочность шпоночного соединения вала со ступицей колеса обеспечена, если условие прочности выполняется.***

## Практическая работа №7

**Тема:** Расчет прямозубой цилиндрической передачи

**Цель:** Научиться определять параметры прямозубой цилиндрической передачи

### Задание

Рассчитать основные параметры цилиндрической прямозубой передачи, если  $\eta = 0,96$ ;  $[S_H] = 1,1$ ;  $k_a = 49,5$ ;  $\psi_{ba} = 0,25$ ;  $k_{H\beta} = 1,25$ .

Данные своего варианта взять в таблице 4.

Таблица 4

№ вар.	P <sub>1</sub> , кВт	n <sub>1</sub> , об/мин	u	НВ	№ вар.	P <sub>1</sub> , кВт	n <sub>1</sub> , об/мин	u	НВ
1	5,5	750	1,25	300	16	7,5	1500	1,25	350
2	5,5	750	2,0	250	17	7,5	1500	2,0	300
3	5,5	750	2,5	300	18	7,5	1500	2,5	250
4	5,5	750	3,15	300	19	7,5	1500	3,15	270
5	5,5	750	4	200	20	7,5	1500	4	260
6	5,5	1000	1,25	220	21	1,5	750	4	300
7	5,5	1000	2	280	22	2,2	750	3,15	250
8	5,5	1000	2,5	350	23	2,2	750	4	280
9	5,5	1000	3,15	300	24	3,0	750	2,5	270
10	5,5	1000	4	320	25	2,2	750	2,5	300
11	7,5	1000	1,25	350	26	3,0	750	3,15	300
12	7,5	1000	2	250	27	3,0	750	4	250
13	7,5	1000	2,5	270	28	4,0	750	2,5	250
14	7,5	1000	3,15	300	29	4,0	750	3,15	280
15	7,5	1000	4	280	30	4,0	750	4	300

### Порядок выполнения:

1. Определить частоту вращения тихоходного вала по формуле:

$$n_2 = \frac{n_1}{u}$$

2. Определить угловые скорости и вращающие моменты на валах по формулам:

$$\omega_1 = \frac{\pi \cdot n_1}{30}$$

$$\omega_2 = \frac{\pi \cdot n_2}{30}$$

$$T_1 = \frac{P_1 \cdot 1000}{\omega_1}$$

$$T_2 = T_1 \cdot u \cdot \eta$$

3. Определить допускаемое контактное напряжение по формуле:

$$[\sigma_H] = \frac{\sigma_{H0}}{[S_H]},$$

где  $\sigma_{H0} = 2 \cdot HB + 70$  - предел контактной выносливости при базовом числе циклов;

4. Определить межосевое расстояние по формуле:

$$a_w = k_a (u + 1) \sqrt[3]{\frac{T_2 \cdot 1000 \cdot k_{HB}}{[\sigma_H]^2 \cdot u^2 \cdot \psi_{ba}}}$$

Полученное значение округлить до ближайшего большего значения из стандартного ряда: **40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315.**

5. Определить модуль зубьев

$$m = (0,01 \dots 0,02) \cdot a_w = 0,01 \cdot a_w \dots 0,02 \cdot a_w$$

Из полученного интервала принять максимальное значение стандартного модуля.

**Значения стандартных модулей: 1; 1,25; 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 6; 8; 10.**

6. Определить суммарное число зубьев по формуле:

$$Z_\Sigma = \frac{2 \cdot a_w}{m}$$

(Полученное значение округлить до целого числа).

7. Определить число зубьев шестерни и колеса

$$Z_1 = \frac{Z_\Sigma}{u + 1}$$

(Полученное значение округлить до целого числа).

$$Z_2 = Z_\Sigma - Z_1$$

8. По округленным значениям  $Z_1$  и  $Z_2$  уточнить передаточное число

$$u = \frac{Z_2}{Z_1}$$

9. Определить делительные диаметры, диаметры вершин и впадин, колеса и шестерни.

*Делительные диаметры.*

$$\begin{aligned}d_1 &= m \cdot z_1 \\d_2 &= m \cdot z_2\end{aligned}$$

*Диаметры вершин зубьев.*

$$\begin{aligned}d_{a1} &= d_1 + 2m \\d_{a2} &= d_2 + 2m\end{aligned}$$

*Диаметры впадин зубьев.*

$$\begin{aligned}d_{f1} &= d_1 - 2,5m \\d_{f2} &= d_2 - 2,5m\end{aligned}$$

10. Определить ширину зубчатого венца колес.

$$\begin{aligned}b_2 &= \psi_{ba} \cdot a_w \\b_1 &= b_2 + (2...4) = b_2 + 2...b_2 + 4\end{aligned}$$

*Из полученного интервала принять окончательное значение  $b_1$ .*

## Практическая работа №8

**Тема:** Выполнение кинематического и силового расчета передач.

**Цель:** Научиться читать кинематические схемы и выполнять кинематический и силовой расчет многоступенчатых передач.

№ Вар.	Задание
1	Перечислить все элементы, изображенные на схеме (рисунок 12). Определить общее передаточное число механизма, если: $n_1 = 970$ об/мин; $n_2 = 232$ об/мин; $Z_1 = 1$ ; $Z_2 = 60$ ; $Z_3 = 25$ ; $Z_4 = 88$ .
2	Определить частоту вращения элемента поз. 8 (рисунок 12), если: $n_1 = 1500$ об/мин; передаточное число ременной передачи $u = 2$ ; $Z_1 = 2$ ; $Z_2 = 50$ ; передаточное число цепной передачи $u = 2,5$ .
3	Определить частоту вращения червячного колеса (рисунок 12), если: частота вращения двигателя $1200$ об/мин; передаточное число ременной передачи $u = 3$ ; $Z_2 = 50$ ; $Z_1 = 1$ .

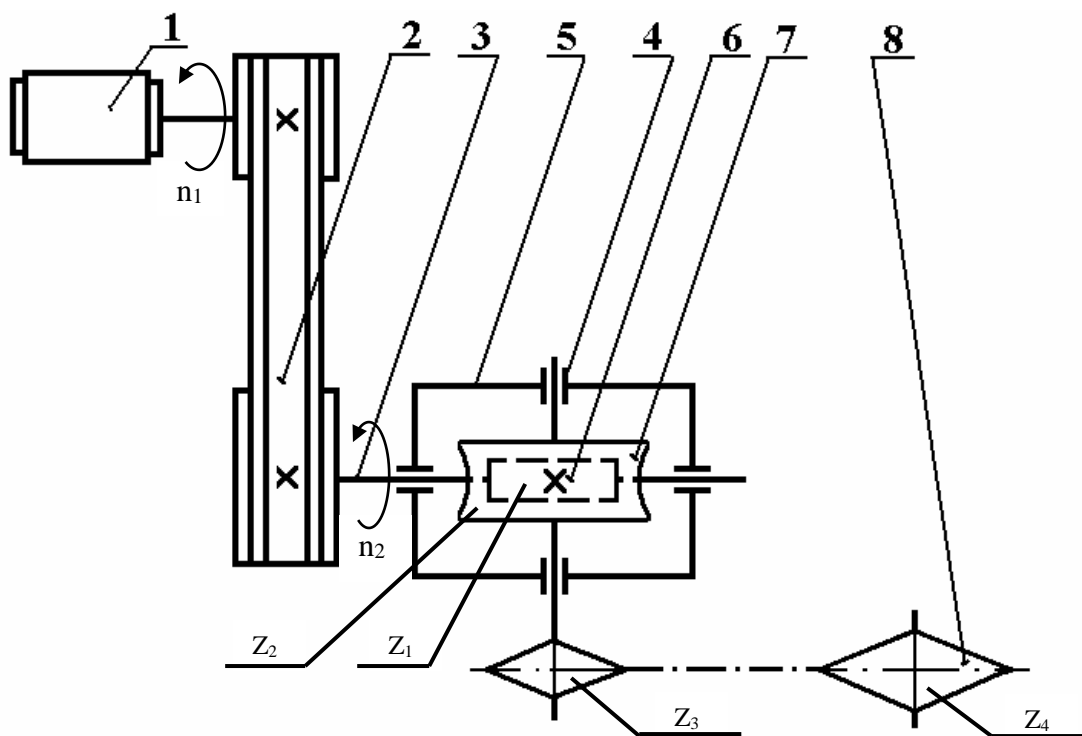


Рисунок 12

№ Вар.	Задание
4	Определить общее передаточное число механизма (рисунок 13), если: в ременной передаче $u_1 = 2,5$ ; в зубчатых передачах $u_2 = 3,15$ ; $u_3 = 3,15$ ; количество зубьев ведущей звездочки $Z_1 = 32$ , ведомой звездочки $Z_2 = 64$ .

5	Определить частоту вращения вала поз. 8 (рисунок 13), если: частота вращения двигателя $n = 1500 \text{ об/мин}$ ; передаточное число ременной передачи $u = 2,5$ ; передаточные числа зубчатых пар $u = 3,15$ ; количество зубьев ведущей звездочки $Z_1 = 25$ , ведомой звездочки $Z_2 = 64$ .
6	Определить угловую скорость элемента поз.7 (рисунок 13), если: частота вращения двигателя $n = 1200 \text{ об/мин}$ ; передаточное число ременной передачи $u = 3,5$ ; передаточные числа зубчатых пар $u = 2,5$ ; передаточное число цепной передачи $u = 4$ .

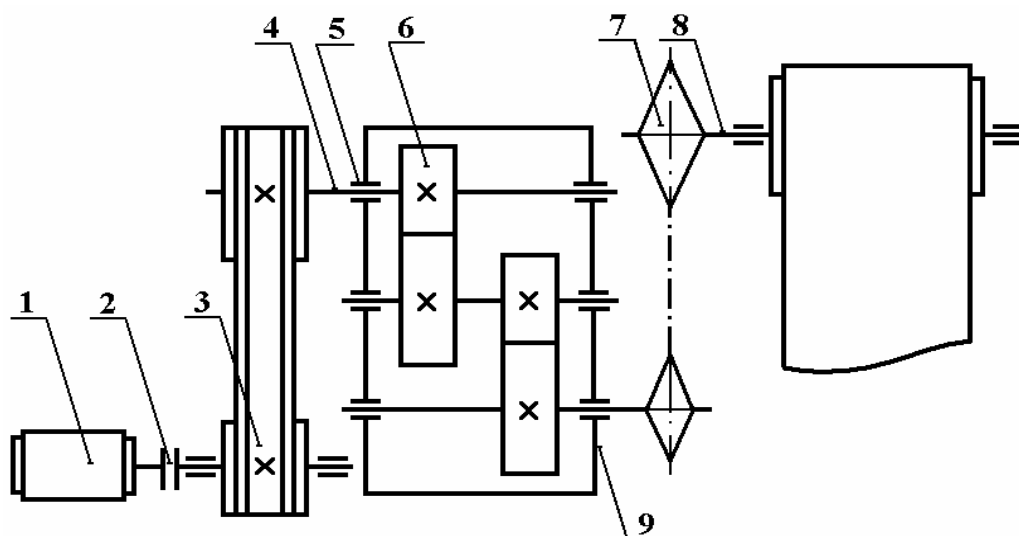


Рисунок 13

№ Вар.	Задание
7	Перечислить все элементы, изображенные на схеме (рисунок 14) и определить общее передаточное число механизма, если: $n_1 = 750 \text{ об/мин}$ ; $n_2 = 188 \text{ об/мин}$ ; $n_3 = 188 \text{ об/мин}$ .
8	Перечислить все элементы, изображенные на схеме (рисунок 14) и определить общее передаточное число механизма, если: $\omega_1 = 157 \text{ рад/с}$ ; $\omega_2 = 62,8 \text{ рад/с}$ ; $\omega_3 = 15,7 \text{ рад/с}$ .

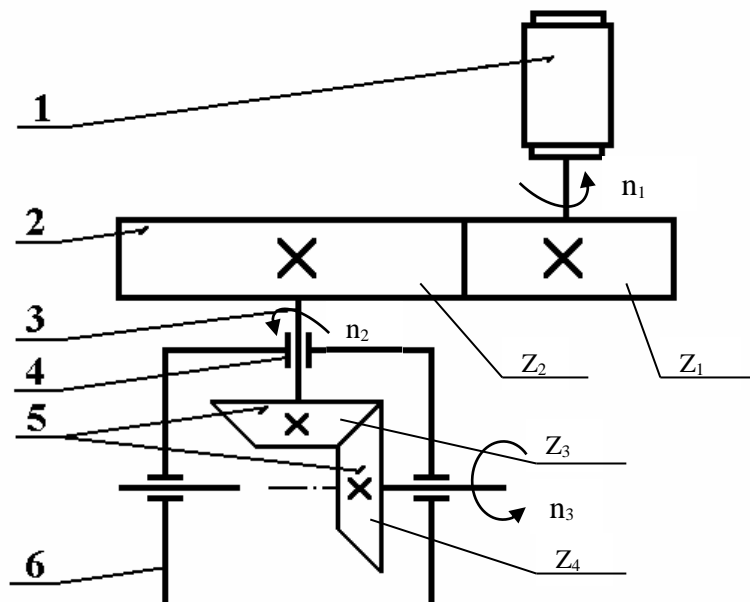


Рисунок 14

№ Вар.	Задание
9	Перечислить все элементы, изображенные на схеме (рисунок 15) и определить общее передаточное число механизма, если: частота вращения вала (A) равна <b>1000 об/мин</b> ; вала (B) – <b>400 об/мин</b> ; вала (C) – <b>127 об/мин</b> ; вала (D) – <b>30 об/мин</b> .
10	Определить частоту вращения вала (D) (рисунок 15), если: частота вращения двигателя <b>1500 об/мин</b> ; передаточное число ременной передачи <b><math>u = 2,5</math></b> ; передаточное число цепной передачи <b><math>u = 3</math></b> ; количество зубьев ведущего и ведомого колеса соответственно <b><math>Z = 17</math></b> и <b><math>Z = 68</math></b> .
11	Определить мощность на выходном валу (рисунок 15), если: мощность двигателя равна <b>12 кВт</b> ; КПД ременной передачи <b>0,94</b> ; КПД зубчатой передачи <b>0,98</b> ; КПД цепной передачи <b>0,96</b> .

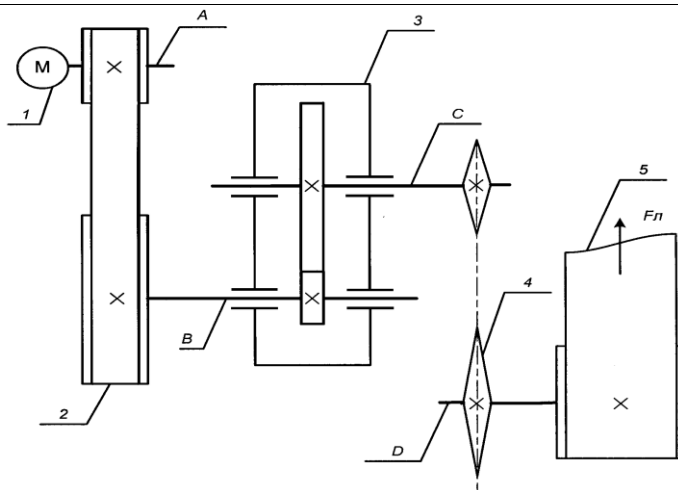


Рисунок 15



№ Вар.	Задание
12	Перечислить все элементы, изображенные на схеме (рисунок 16) и определить общее передаточное число, если: $n_1 = 1500$ об/мин; $n_2 = 375$ об/мин; $n_3 = 150$ об/мин; $n_4 = 38$ об/мин.
13	Определить угловую скорость на выходном валу редуктора (рисунок 16), если: $n_1 = 1500$ об/мин; передаточное число ременной передачи $u = 2,5$ ; передаточное число редуктора $u = 24$ .

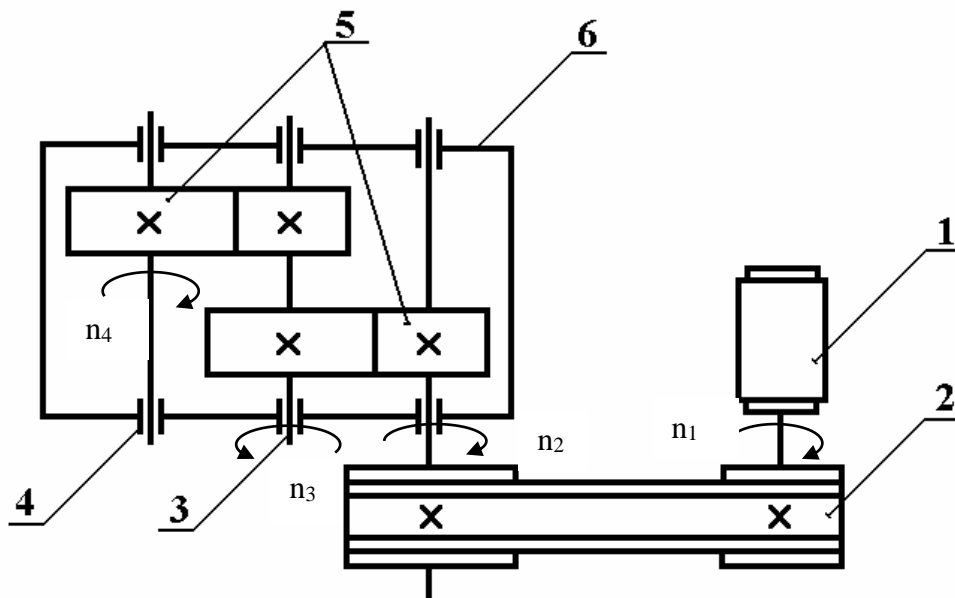


Рисунок 16

№ Вар.	Задание
14	Для заданной многоступенчатой передачи (рисунок 17) определить общее передаточное число, если: $\omega_1 = 100$ рад/с; $\omega_2 = 25$ рад/с; $\omega_3 = 5$ рад/с.
15	Для заданной передачи (рисунок 17) определить частоту вращения ведомого вала, если: $\omega_1 = 100$ рад/с; $u_1 = 3,15$ ; $u_2 = 4,5$ .

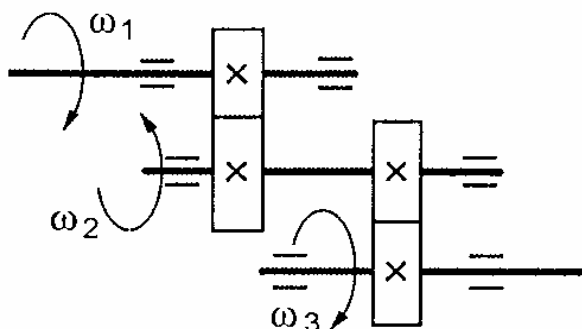


Рисунок 17

№ Вар.	Задание
16	Определить требуемую мощность электродвигателя (рисунок 18), если КПД ременной передачи равен 0,97; КПД цепной передачи - 0,95; КПД зубчатой передачи - 0,97; $P_{\text{вых}} = 10$ кВт.

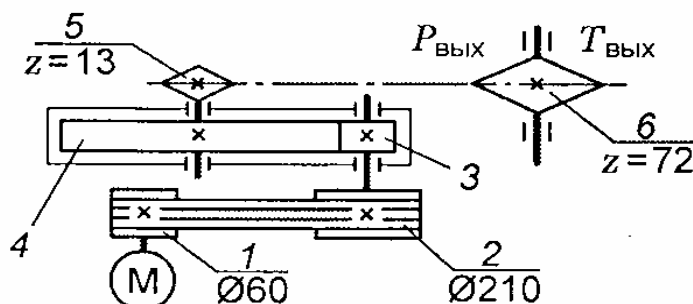


Рисунок 18

№ Вар.	Задание
17	Перечислить все элементы, изображенные на схеме (рисунок 19). Определить общее передаточное число механизма, если: $Z_1 = 18$ ; $Z_2 = 72$ ; $Z_3 = 17$ ; $Z_4 = 60$ .

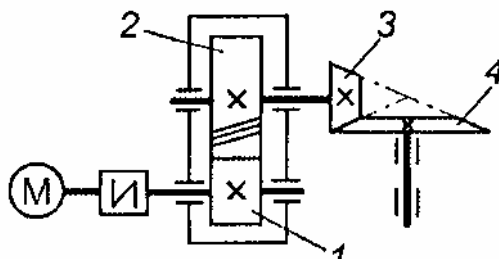


Рисунок 19

№ Вар.	Задание
18	Для заданной передачи (рисунок 20) определить момент на ведущем валу, если мощность на выходе из передачи 6,6 кВт; скорость на входе 60 рад/с; КПД = 0,96.
19	Для заданной передачи (рисунок 20) определить мощность на выходе, если скорость на ведущем валу 60 рад/с; момент на ведущем валу 180 Н·м; КПД = 0,96.

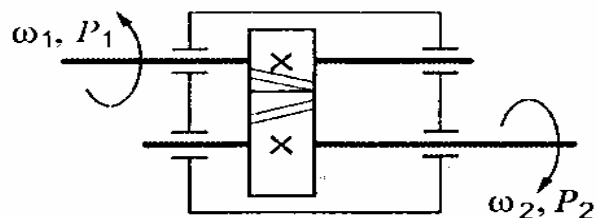


Рисунок 20

№ Вар.	Задание
20	Для заданной передачи (рисунок 21) определить момент на ведомом валу, если: $P_1 = 5$ кВт; $\omega_2 = 62,8$ рад/с; $\eta = 0,97$ .
21	Для заданной передачи (рисунок 21) определить момент на ведущем валу, если: $P_2 = 5$ кВт; $\omega_1 = 157$ рад/с; $\eta = 0,97$ .

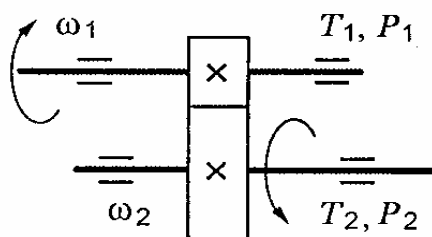


Рисунок 21

№ Вар.	Задание
22	Для заданной передачи (рисунок 22) определить момент на ведомом валу, если: $P_1 = 8$ кВт; $\omega_1 = 40$ рад/с; $\eta = 0,97$ ; $u = 4$ .
23	Для заданной передачи (рисунок 22) определить мощность на входе, если: $T_2 = 200$ Н · м; $\omega_2 = 40$ рад/с; $\eta = 0,97$ .

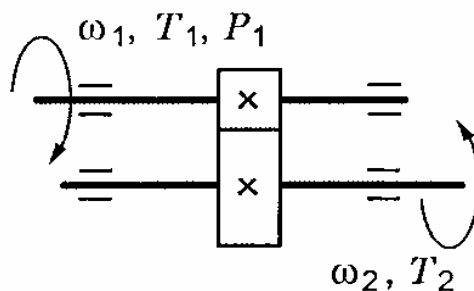


Рисунок 22

№ Вар.	Задание
24	Для заданной схемы (рисунок 23) определить требуемую мощность электродвигателя, если: $P_{\text{вых}} = 5 \text{ кВт}$ ; $\eta_3 = 0,97$ ; $\eta_u = 0,95$ .

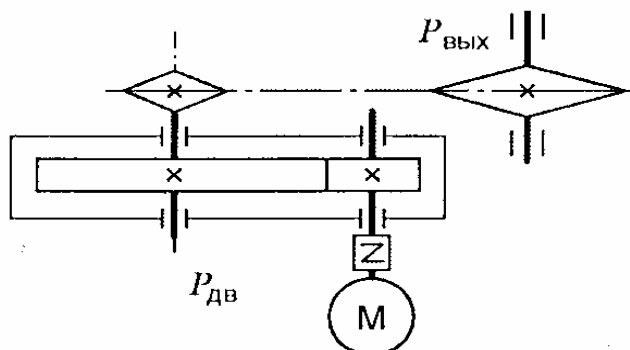


Рисунок 23

№ Вар.	Задание
25	Для заданной схемы (рисунок 24) определить момент на ведомом валу, если: $P_1 = 6 \text{ кВт}$ ; $\omega_1 = 20 \text{ рад/с}$ ; $\eta = 0,97$ ; $u = 2,5$ .
26	Для заданной схемы (рисунок 24) определить момент на ведущем валу, если: $P_{\text{вых}} = 5,6 \text{ кВт}$ ; $\omega_2 = 20 \text{ рад/с}$ ; $\eta = 0,97$ ; $u = 2,5$ .

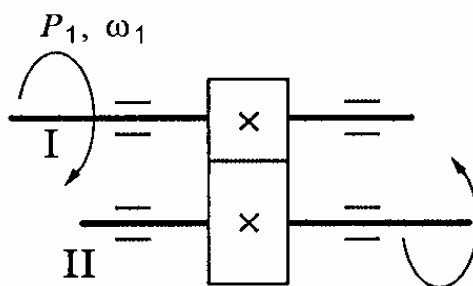
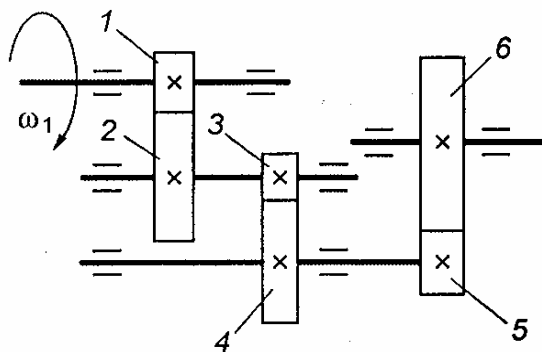


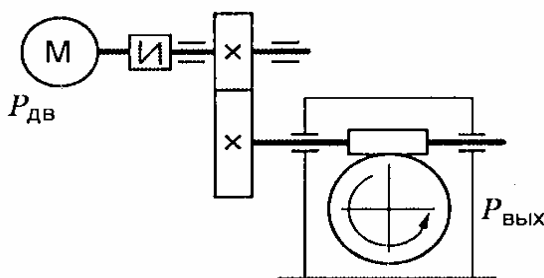
Рисунок 24

№ Вар.	Задание
27	Для заданной многоступенчатой передачи (рисунок 25) определить общее передаточное число, если: $Z_1 = 20$ ; $Z_2 = 80$ ; $Z_3 = 30$ ; $Z_4 = 75$ ; $Z_5 = 40$ ; $Z_6 = 200$ .
28	Для заданной многоступенчатой передачи (рисунок 25) определить общее передаточное число, если: $n_1 = 800 \text{ об/мин}$ ; $n_2 = 400 \text{ об/мин}$ ; $Z_3 = 28$ ; $Z_4 = 70$ ; $d_5 = 40 \text{ мм}$ ; $d_6 = 200 \text{ мм}$ .



### Рисунок 25

№ Вар.	Задание
29	Определить требуемую мощность электродвигателя ( рисунок 26), если $P_{\text{вых}} = 8 \text{ кВт}$ ; $\eta_3 = 0,97$ ; $\eta_4 = 0,82$ .
30	Определить частоту вращения червяка (рисунок 26), если: $n_{\text{дв}} = 1200 \text{ об/мин}$ ; $Z_1 = 13$ ; $Z_2 = 83$ .



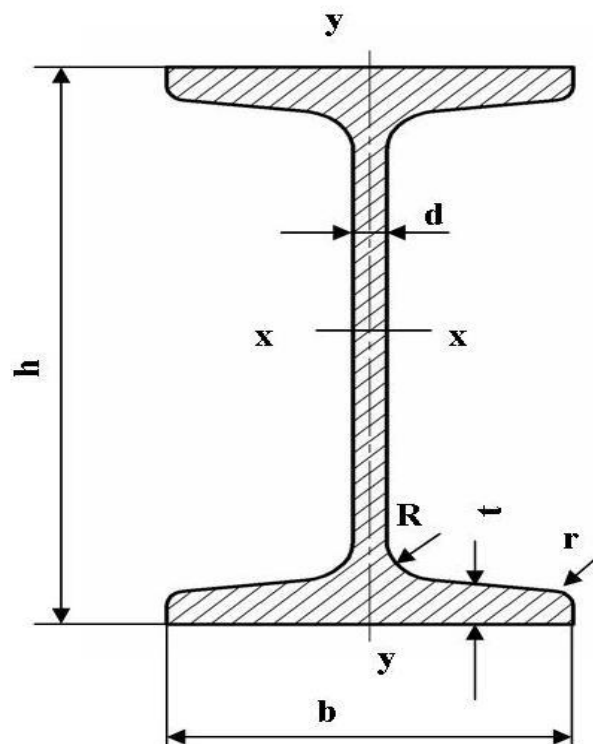
### Рисунок 26

### Порядок решения:

1. В задачах, где требуется определить общее передаточное число механизма необходимо применить формулу:  $u_{общ} = u_1 \cdot u_2 \cdot u_3 \dots \cdot u_n$ , где  $u_1, u_2, u_3, u_n$  – передаточные числа каждой кинематической пары.
2. Передаточные числа, в зависимости от вида передачи и исходных данных, можно определить по формуле:  $u = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{D_2}{D_1}$ .
3. В задачах, где требуется определить частоту вращения необходимо использовать зависимость между передаточным числом и частотой вращения элементов передачи:  $u = \frac{n_1}{n_2}$ .

4. В задачах, где требуется определить угловую скорость элемента передачи необходимо использовать формулу связи угловой скорости и частоты вращения:  $\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}$ .
5. В задачах, где требуется определить мощность необходимо применить формулу:  $\eta = \frac{P_{\text{вх}}}{P_{\text{дв}}}$ .
6. В задачах, где требуется определить момент на ведущем или ведомом валу необходимо применить формулу:  $T = \frac{P}{\omega}$ .

Приложение А  
Сталь горячекатаная. Балки двутавровые. ГОСТ 8239 – 89.



Номер балки	Масса 1 м, кг	Размеры						Площадь А, см <sup>2</sup>	Справочные величины для осей						
		h	b	d	t	R	r		x – x				y – y		
		мм							J <sub>x</sub>	W <sub>x</sub>	i <sub>x</sub>	S <sub>x</sub>	J <sub>y</sub>	W <sub>y</sub>	i <sub>y</sub>
									см <sup>4</sup>	см <sup>3</sup>	см	см <sup>3</sup>	см <sup>4</sup>	см <sup>3</sup>	см
10	9,46	100	55	4,5	7,2	7,0	2,5	12,0	198	39,7	4,06	23,0	17,9	6,49	1,22
12	11,5	120	64	4,8	7,3	7,5	3,0	14,7	350	58,4	4,88	33,7	27,9	8,72	1,38
14	13,7	140	73	4,9	7,5	8,0	3,0	17,4	572	81,7	5,73	46,8	41,9	11,5	1,55
16	15,9	160	81	5,0	7,8	8,5	3,5	20,2	873	109	6,57	62,3	58,6	14,5	1,70
18	18,4	180	90	5,1	8,1	9,0	3,5	23,4	1290	143	7,42	81,4	82,6	18,4	1,88
18a	19,9	180	100	5,1	8,3	9,0	3,5	25,4	1430	159	7,51	89,8	114	22,8	2,12
20	21,0	200	100	5,2	8,4	9,5	4,0	26,8	1840	184	8,28	104,0	115	23,1	2,07
20a	22,7	200	110	5,2	8,6	9,5	4,0	28,9	2030	203	8,37	114	155	28,2	2,32
22	24,0	220	110	5,4	8,7	10,0	4,0	30,6	2550	232	9,13	131	157	28,6	2,27
22a	25,8	220	120	5,4	8,9	10,0	4,0	32,8	2790	254	9,22	143	143	34,3	2,50
24	27,3	240	115	5,6	9,5	10,5	4,0	34,8	3460	289	9,97	163	198	34,5	2,37
24a	29,4	240	125	5,6	9,8	10,5	4,0	37,5	3800	317	10,1	178	260	41,6	2,63
27	31,5	270	125	6,0	9,8	11,0	4,5	40,2	5010	371	11,2	210	260	41,5	2,54
27a	33,9	270	135	6,0	10,2	11,0	4,5	43,2	5500	407	11,3	229	337	50,0	2,80
30	36,5	300	135	6,5	10,2	12,0	5,0	46,5	7080	472	12,3	268	337	49,9	2,69
30a	39,2	300	145	6,5	10,7	12,0	5,0	49,9	7780	518	12,5	292	436	60,1	2,95
33	42,2	330	140	7,0	11,2	13,0	5,0	53,8	9840	597	13,5	339	419	59,9	2,79
36	48,6	360	145	7,5	12,3	14,0	6,0	61,9	13380	743	14,7	423	516	71,1	2,89
40	57,0	400	155	8,3	13,0	15,0	6,0	72,6	19062	953	16,2	545	667	86,1	3,03
45	66,5	450	160	9,0	14,2	16,0	7,0	84,7	27696	1231	18,1	708	808	101	3,09
50	78,5	500	170	10,0	15,2	17,0	7,0	100,0	39727	1589	19,9	919	1043	123	3,23
55	92,6	550	180	11,0	16,5	18,0	7,0	118,0	55962	2035	21,8	1181	1356	151	3,39
60	108	600	190	12,0	17,8	20,0	8,0	138,0	76806	2560	23,6	1491	1725	182	3,54



## Приложение В

### Шпонки призматические (по ГОСТ 23360 -78, с сокращениями)

Диаметр вала d, мм	Размеры шпонки, мм			Глубина паза мм	
	b	h	$\ell$	(вал) $t_1$	(втулка) $t_2$
Св. 12 до 17	5	5	10-56	3	2,3
17...22	6	6	14-70	3,5	2,8
22...30	8	7	18-90	4	3,3
30...38	10	8	22-110	5	3,3
38...44	12	8	28-140	5	3,3
44...50	14	9	36-160	5,5	3,8
50...58	16	10	45-180	6	4,3
58...65	18	11	50-200	7	4,4
65...75	20	12	56-220	7,5	4,9
75...85	22	14	63-250	9	5,4
85...95	25	14	70-280	9	5,4
95...105	28	16	70-280	10,3	5,9
105...120	32	18	80-315	11,5	6,7
120...140	36	20	90-355	12,8	7,4
140...170	40	22	100-400	13,5	8,7
170...200	45	25	110-450	15,3	9,9

Примечание: длину шпонки выбирают из ряда: 6; 8; 10; 14; 16; 18; 20; 25; 28; 32; 36; 40; 45; 50; 56; 63; 70; 80; 90; 100; 110; 125; 140; 160; 180; 200 ... (до 500).

## Список литературы

### Основные источники:

1. Сафонова, Г.Г. Техническая механика / Г.Г. Сафонова, Т.Ю. Артюховская, Д.А.Ермаков. – М.: ИНФРА-М, 2012. – 320с.
2. Эрдеди, А.А. Детали машин. / А.А. Эрдеди, Н.А.Эрдеди. – М.: Издательство «Академия», 2012. – 288 с.

### Дополнительные источники:

1. Вереина, Л.И. Техническая механика / Л.И. Вереина, М.М. Краснов. – М.: Издательство «Академия», 2004. – 288 с.
2. Мовнин, М.С. Основы технической механики / М.С. Мовнин, А.Б. Израелит, А.Г. Рубашкин. – М: Политехника, 2011. – 350 с.
3. Олофинская, В.П. Техническая механика: Курс лекций с вариантами практических и тестовых заданий: учеб. пособ. / В.П.Олофинская. – 3-е изд., испр. – М.:ФОРУМ, 2012. – 352 с.
4. Олофинская, В.П. Детали машин. Краткий курс и тестовые задания: Учеб. пособ. / В.П.Олофинская. – М.:ФОРУМ: ИНФРА-М, 2006. – 208 с.