

**Федеральное агентство железнодорожного транспорта  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«ПЕТЕРБУРГСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ»**

---

**А. С. Кухарева, Н. И. Невзоров,  
Э. Д. Троценков**

## **СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ**

**Часть 1**

**Варианты заданий**

**Учебное пособие**

**Санкт-Петербург  
ПГУПС  
2012**

Федеральное агентство железнодорожного транспорта  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«ПЕТЕРБУРГСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ»

---

А. С. Кухарева, Н. И. Невзоров,  
Э. Д. Троценков

## **СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ**

Часть 1

Варианты заданий

Учебное пособие

Санкт-Петербург  
ПГУПС  
2012

УДК 539.3/.8  
ББК Ж121  
К88

**Р е ц е н з е н т ы:**  
заведующий кафедрой «Сопротивление материалов  
и теория упругости» Санкт-Петербургского института  
машиностроения (ЛМЗ-ВТУЗ),  
доктор технических наук, профессор *Е. В. Соколов*;  
доцент кафедры «Прочность материалов и конструкций» ПГУПС,  
кандидат технических наук *С. А. Видюшенков*

**Кухарева А. С.**  
К88      Сопротивление материалов. Ч. 1. Варианты заданий : учеб. пособие /  
А. С. Кухарева, Н. И. Невзоров, Э. Д. Троценков. – СПб. : Петербургский  
государственный университет путей сообщения, 2012. – 48 с.

ISBN 978-5-7641-0330-3

Учебное пособие содержит задания для контрольных работ по сопротивлению материалов. В нем приведены сортаменты стандартных прокатных профилей, таблицы для расчетов на устойчивость сжатых стержней.

Предназначено для студентов заочной формы обучения.

УДК 539.3/.8  
ББК Ж121

ISBN 978-5-7641-0330-3 (Часть 1)  
ISBN 978-5-7641-0267-2

© Кухарева А. С., Невзоров Н. И.,  
Троценков Э. Д., 2012  
© Петербургский государственный  
университет путей сообщения, 2012

## Введение

Сопротивление материалов является одной из базовых дисциплин в программе подготовки дипломированных специалистов строительного и машиностроительного профилей.

Экспериментально-теоретические основы расчетов элементов конструкций и деталей машин на прочность, жесткость, устойчивость и долговечность, полученные студентами при изучении сопротивления материалов, являются тем фундаментом, без которого невозможно эффективное усвоение целого ряда прикладных дисциплин (основания и фундаменты, мосты, тоннели, здания, строительные конструкции, детали машин и механизмов и др.).

Сопротивление материалов традиционно относится к числу наиболее трудных предметов. Трудности эти объективного характера, так как требуют от студентов способностей находить соответствие между абстрактными понятиями теоретической части курса и реальными объектами.

При изучении сопротивления материалов важное значение имеет практическая часть курса. В процессе решения типовых задач студенты приобретают навык применения на практике полученных знаний, что способствует усвоению дисциплины.

Настоящее пособие представляет сборник заданий по всем основным разделам сопротивления материалов. Планируется выпуск второй и третьей частей, посвященных подробным методическим указаниям по решению всех задач.

Выбор исходных данных производится следующим образом. Две последние цифры зачетной книжки образуют номер схемы стержня или стержневой системы. Например, номеру зачетной книжки 09-ЛТ-35 соответствует схема номер 35. В тех случаях, когда номер зачетной книжки превышает число вариантов схем, номер схемы определяется как разность между номером зачетной книжки и числом (или кратным числом) схем в задании. Например, номер зачетной книжки 09-ЛТ-35, а число схем 25, тогда студент выбирает схему номер  $35 - 25 = 10$ . Или, например, номер зачетной книжки 09-ЛТ-70, тогда номер схемы определяется как  $70 - (25 \times 2) = 20$ . Числовые данные задачи выбираются с помощью двух букв –  $A$  и  $B$ , причем  $A$  – последняя цифра номера зачетной книжки,  $B$  – предпоследняя. Буквы  $A$ ,  $B$ , а также комбинации букв  $(A + B) = C$  и  $|A - B| = D$  определяют номер строки данных. Например, номеру зачетной книжки 09-ЛТ-35 соответствуют  $A = 5$ ,  $B = 3$ ,  $C = 8$ ,  $D = 2$ . В тех случаях, когда число  $(A + B)$  двузначное, выбирается последняя цифра. Например, номеру зачетной книжки 08-МТ-39 соответствуют номер строки данных 2, так как  $(A + B) = (9 + 3) = 12$ .

## Задача 1. Расчет прямоосного ступенчатого стержня на осевое действие сил

Прямоосный ступенчатый стержень нагружен осевыми силами  $F$  и равномерно распределенной нагрузкой  $q$  (табл. 1.1).

Требуется:

1. Сделать схематический чертеж стержня по заданным размерам, соблюдая масштаб.
2. Построить эпюру продольной силы  $N_z$  (эпюра продольной силы должна быть расположена рядом со схемой стержня).
3. Подобрать площадь поперечного сечения каждого участка стержня.
4. Вычислить перемещение точки  $K$  и удлинение стержня. Материал стержня – дерево;  $[\sigma] = 12 \text{ МПа}$ ,  $E = 10^4 \text{ МПа}$ .

Исходные данные приведены в табл. 1.2.

Таблица 1.1

1	2	3
4	5	6

<p>7</p>	<p>8</p>	<p>9</p>
<p>10</p>	<p>11</p>	<p>12</p>
<p>13</p>	<p>14</p>	<p>15</p>

<p>16</p>	<p>17</p>	<p>18</p>
<p>19</p>	<p>20</p>	<p>21</p>
<p>22</p>	<p>23</p>	<p>24</p>

<p>25</p>	<p>26</p>	<p>27</p>
<p>28</p>	<p>29</p>	<p>30</p>
<p>31</p>	<p>32</p>	<p>33</p>



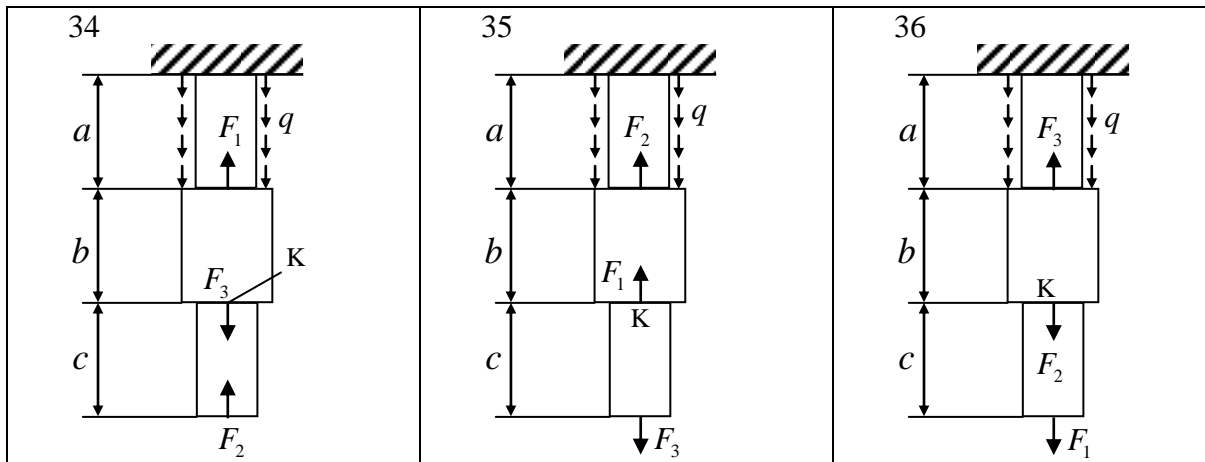


Таблица 1.2

Номер строки	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$q$
	м			кН			кН/м
1	0,6	0,6	0,6	40	40	40	60
2	0,7	0,7	0,7	60	60	60	80
3	0,8	0,8	0,8	80	80	80	100
4	0,9	0,9	0,9	100	100	100	120
5	0,4	0,4	0,4	120	120	120	60
6	0,5	0,5	0,5	100	100	100	80
7	0,6	0,6	0,6	80	80	80	100
8	0,7	0,7	0,7	60	60	60	120
9	0,8	0,8	0,8	40	40	40	100
0	0,9	0,9	0,9	70	70	70	80
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>A</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>A</i>	<i>B</i>

## Задача 2. Расчет статически определимой шарнирно-стержневой системы

Статически определимая шарнирно-стержневая система нагружена силой  $F$  и равномерно распределенной нагрузкой  $q$  (табл. 2.1).

Требуется:

1. Выполнить чертеж конструкции по заданным размерам, соблюдая масштаб.
2. Определить величину продольной силы в каждом стержне.
3. Определить размеры поперечных сечений заданной формы.
4. Вычислить удлинение каждого стержня.

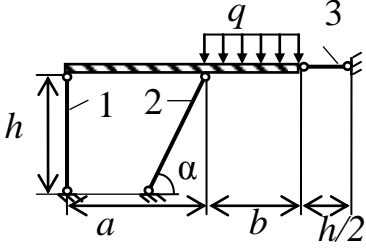
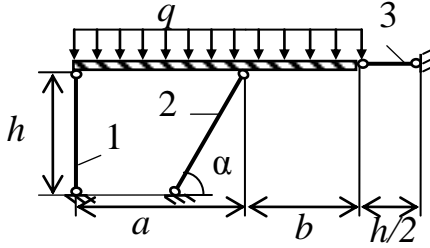
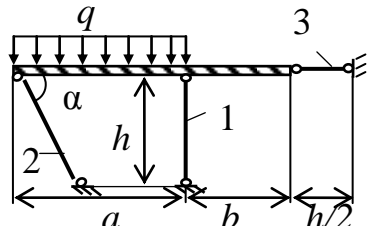
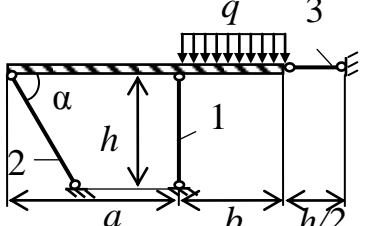
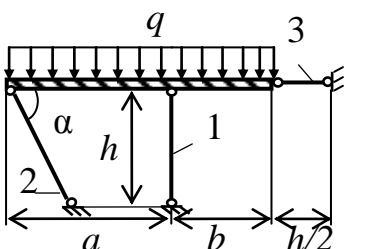
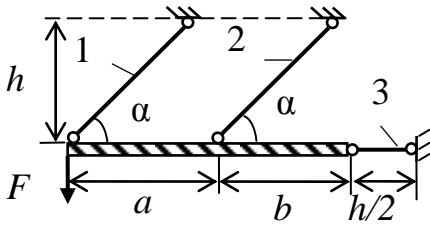
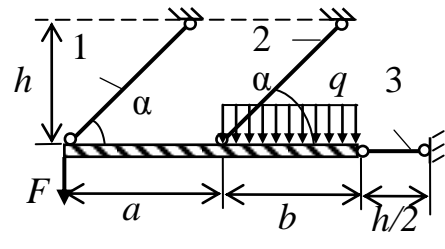
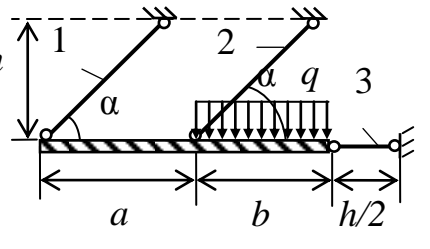
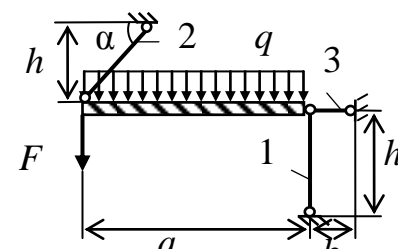
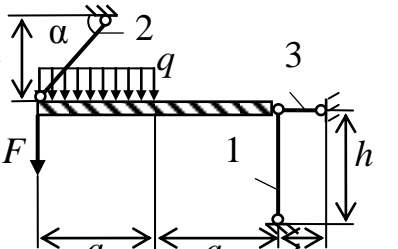
Стержни 1 и 2 деревянные квадратного сечения ( $E_d = 10^4$  МПа,  $[\sigma] = 12$  МПа).

Стержень 3 стальной круглого сечения ( $E_{ст} = 2 \cdot 10^5$  МПа,  $[\sigma] = 160$  МПа).

Исходные данные приведены в табл. 2.2.

Таблица 2.1

<p>1</p>	<p>2</p>
<p>3</p>	<p>4</p>
<p>5</p>	<p>6</p>
<p>7</p>	<p>8</p>
<p>9</p>	<p>10</p>

<p>11</p> 	<p>12</p> 
<p>13</p> 	<p>14</p> 
<p>15</p> 	<p>16</p> 
<p>17</p> 	<p>18</p> 
<p>19</p> 	<p>20</p> 

<p>21</p>	<p>22</p>
<p>23</p>	<p>24</p>
<p>25</p>	<p>26</p>
<p>27</p>	<p>28</p>
<p>29</p>	<p>30</p>

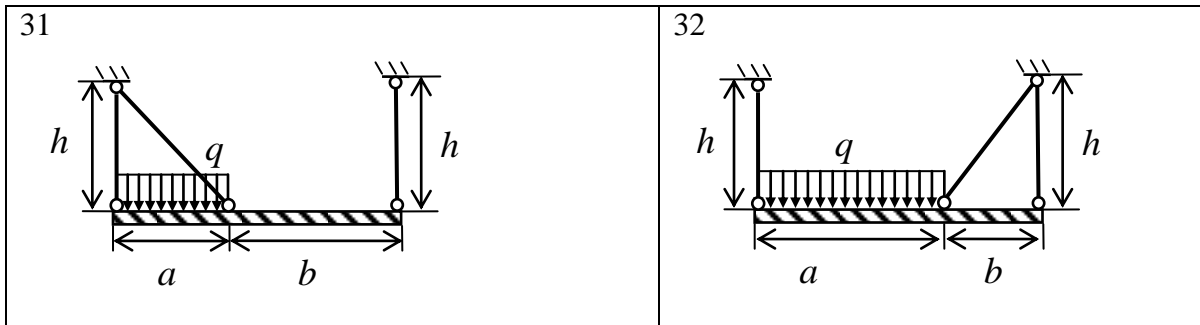


Таблица 2.2

Номер строки	$a$	$b$	$h$	$\alpha$	$F$	$q$
	м			град.	кН	кН/м
1	1,2	1,2	1,2	40	25	30
2	1,4	1,4	1,4	50	30	40
3	1,6	1,6	1,6	60	40	50
4	1,8	1,8	1,8	45	50	60
5	2,2	2,2	2,2	55	60	65
6	2,4	2,4	2,4	35	55	30
7	1,4	1,4	1,4	40	50	35
8	1,6	1,6	1,6	50	45	40
9	1,8	1,8	1,8	60	40	45
0	2,2	2,2	2,2	50	35	55
	$A$	$B$	$C$	$A$	$D$	$B$

### Задача 3. Расчет статически неопределимой шарнирно-стержневой системы

Требуется:

1. Сделать чертеж конструкции по заданным размерам, соблюдая масштаб.
2. Раскрыть статическую неопределимость задачи.
3. Найти усилия в стержнях в зависимости от силы  $F$ .
4. Определить в процессе увеличения силы  $F$  ее значение, при котором напряжение в одном из стержней достигнет предела текучести.
5. Определить в процессе дальнейшего увеличения силы  $F$  ее значение, при котором несущая способность системы будет исчерпана.
6. Найти грузоподъемность системы из расчета по методу допустимых напряжений и методу допускаемых нагрузок при одном и том же коэффициенте запаса по прочности ( $k = 1,5$ ).

Материал стержней – сталь  $[\sigma] = 160$  МПа,  $\sigma_T = 240$  МПа,  $E = 2 \cdot 10^5$  МПа. Исходные данные приведены в табл. 3.1 и 3.2.

Таблица 3.1

<p>1</p>	<p>2</p>
<p>3</p>	<p>4</p>
<p>5</p>	<p>6</p>
<p>7</p>	<p>8</p>
<p>9</p>	<p>10</p>

<p>11</p>	<p>12</p>
<p>13</p>	<p>14</p>
<p>15</p>	<p>16</p>
<p>17</p>	<p>18</p>
<p>19</p>	<p>20</p>

<p>21</p>	<p>22</p>
<p>23</p>	<p>24</p>
<p>25</p>	<p>26</p>
<p>27</p>	<p>28</p>
<p>29</p>	<p>30</p>



<p>31</p>	<p>32</p>
<p>33</p>	<p>34</p>
<p>35</p>	<p>36</p>
<p>37</p>	<p>38</p>
<p>39</p>	<p>40</p>

Таблица 3.2

	$a$	$b$	$h_1$	$h_2$	$\alpha$	$F$	$q_1$	$q_2$
	м				град	кН	кН/м	
1	1,2	1,2	1,2	1,2	45	30	30	15
2	1,4	1,4	1,4	1,4	50	40	40	20
3	1,6	1,6	1,6	1,6	60	50	50	25
4	1,8	1,8	1,8	1,8	45	55	20	30
5	2,2	2,2	2,2	2,2	55	35	25	20
6	2,4	2,4	2,4	2,4	45	45	30	15
7	1,4	1,4	1,4	1,4	40	40	35	25
8	1,6	1,6	1,6	1,6	50	25	40	15
9	1,8	1,8	1,8	1,8	60	35	25	30
0	2,2	2,2	2,2	2,2	50	40	35	20
	$A$	$B$	$C$	$D$	$A$	$D$	$B$	$A$

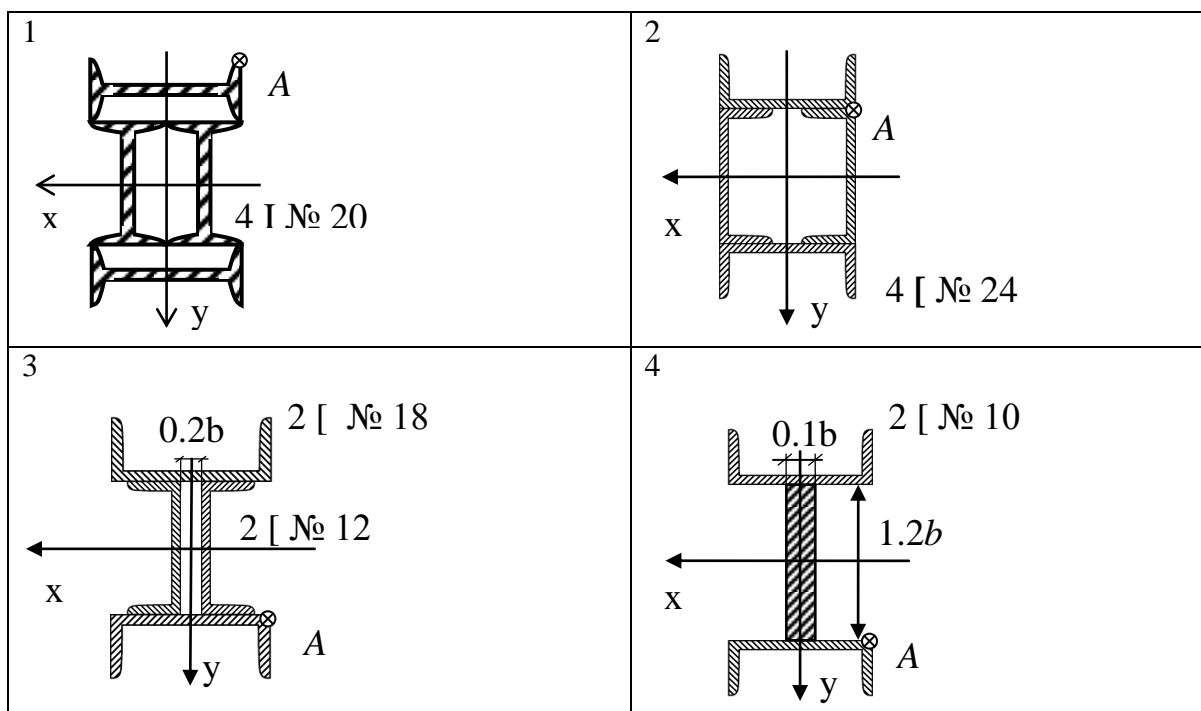
#### Задача 4. Геометрические характеристики площади плоских фигур

Для сечения заданной формы и размеров (табл. 4.1–4.3) требуется:

1. Вычертить в масштабе сечение и показать все размеры.
2. Определить положение центра тяжести сечения.
3. Определить положение главных центральных осей инерции, вычислить главные моменты инерции, радиусы инерции и моменты сопротивления.

Числовые значения параметра ( $c$ ) приведены в табл. 4.4;  $b$  – размер полки указанного прокатного профиля.

Таблица 4.1



<p>5</p> <p>2 [ № 10</p>	<p>6</p> <p>2 [ № 20</p>
<p>7</p> <p>2 [ № 20</p>	<p>8</p> <p>2 I № 20</p>
<p>9</p> <p>2 [ № 30</p>	<p>10</p> <p>4 [ № 8</p>
<p>11</p> <p>2 [ № 20</p>	<p>12</p> <p>I № 20</p>
<p>13</p> <p>4 L 80×80×8</p>	<p>14</p> <p>3I №24</p>

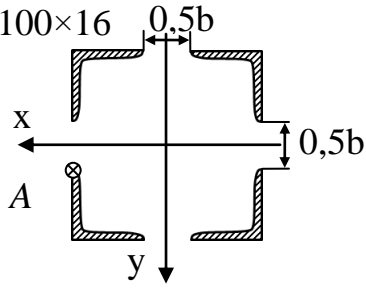
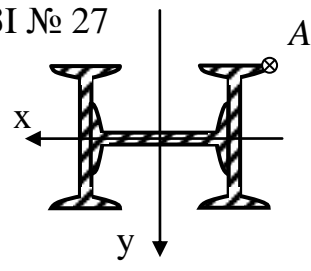
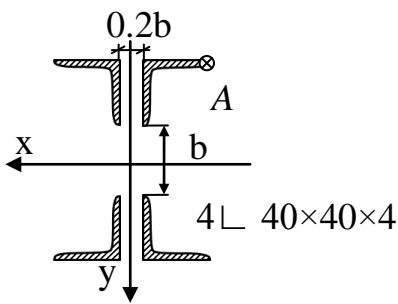
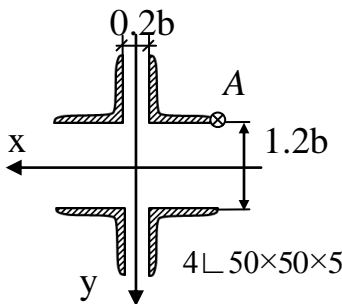
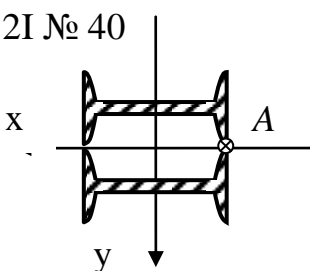
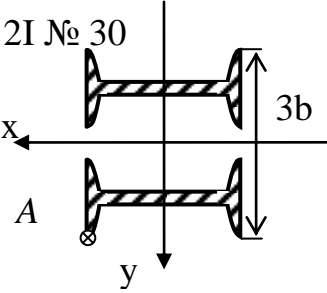
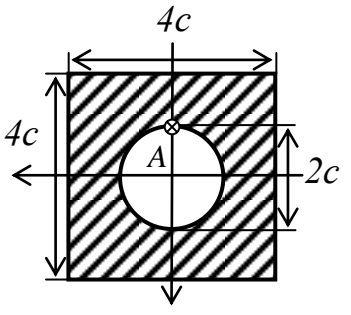
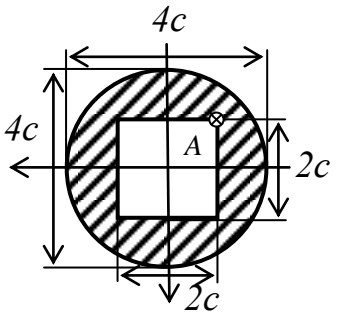
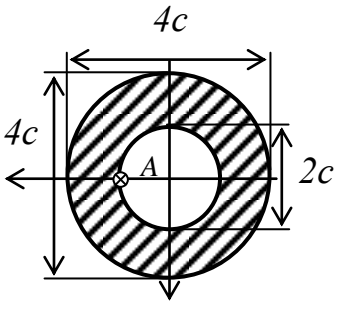
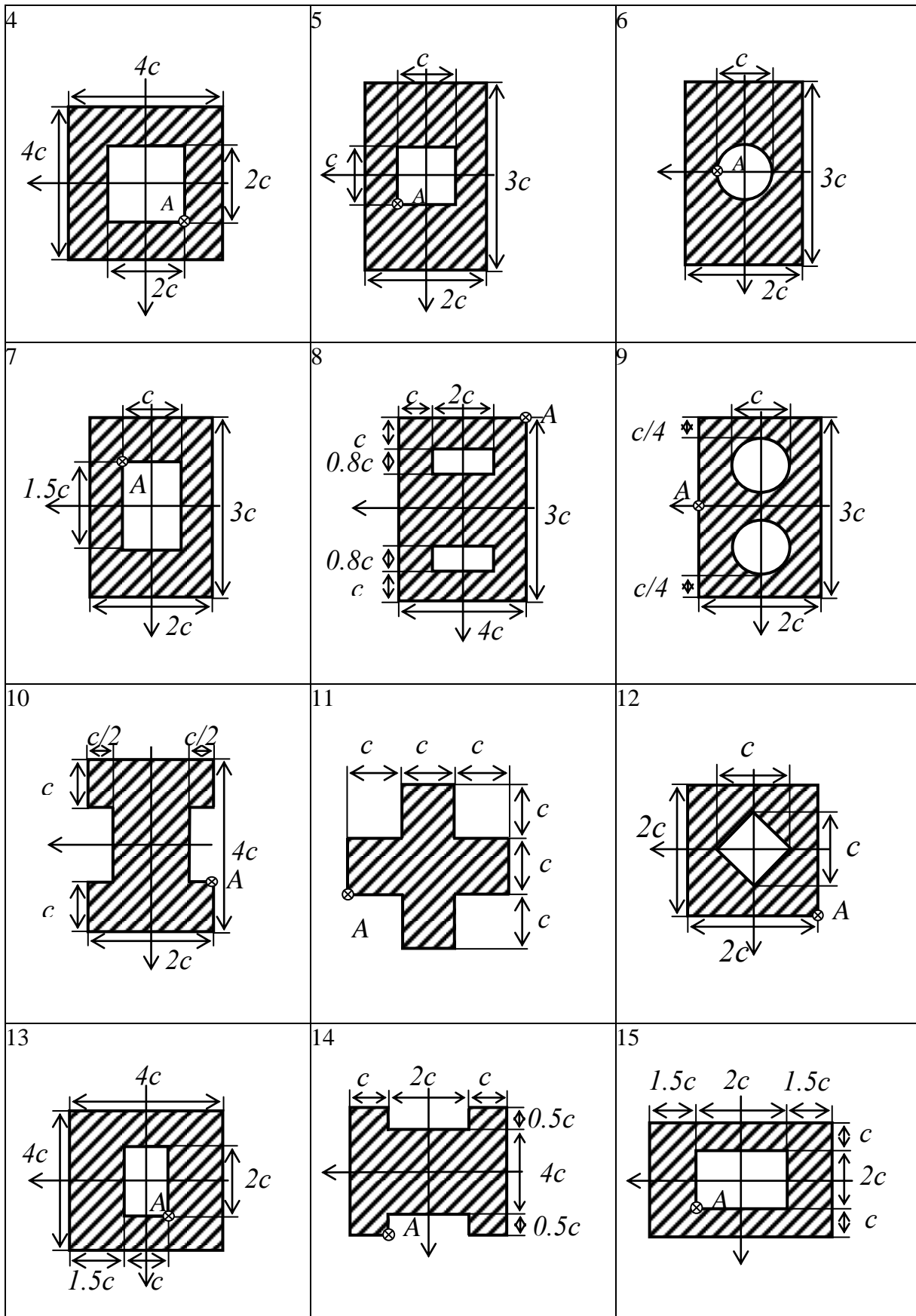
<p>15</p> <p>4L 100×100×16</p> 	<p>16</p> <p>3I № 27</p> 
<p>17</p>  <p>4L 40×40×4</p>	<p>18</p>  <p>4L 50×50×5</p>
<p>19</p> <p>2I № 40</p> 	<p>20</p> <p>2I № 30</p> 

Таблица 4.2

<p>1</p> 	<p>2</p> 	<p>3</p> 
--	--	--



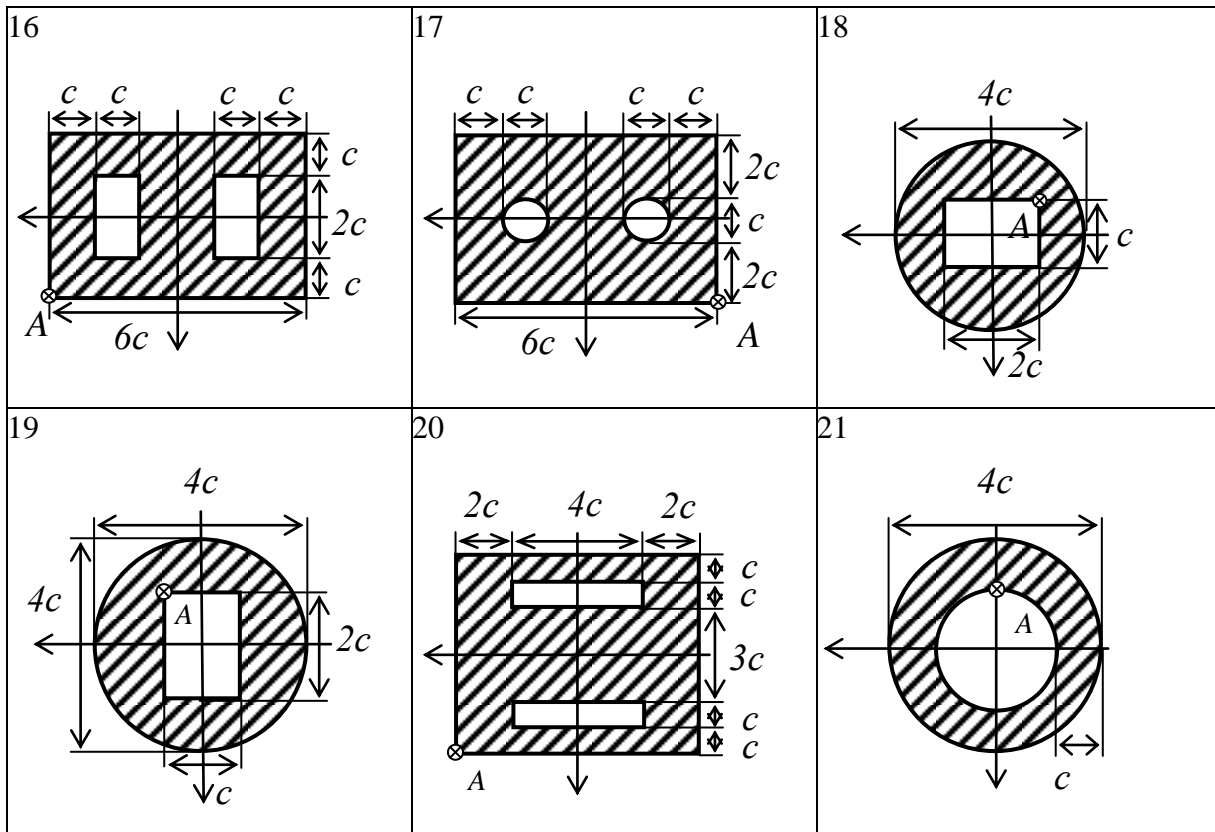
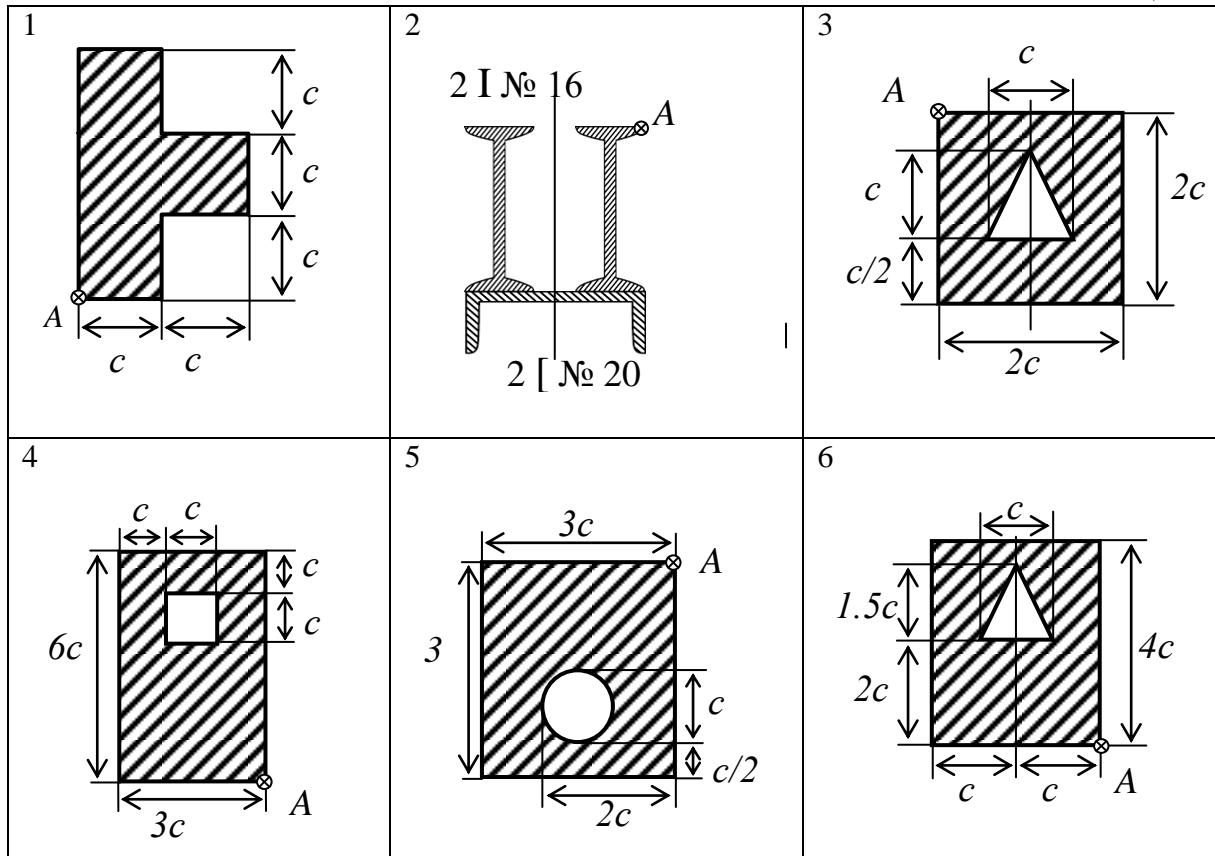


Таблица 4.3



<p>7</p>	<p>8</p>	<p>9</p> <p>[ № 12</p>
<p>10</p>	<p>11</p>	<p>12</p>
<p>13</p>	<p>14</p>	<p>15</p>
<p>16</p>	<p>17</p>	<p>18</p>

<p>19</p>	<p>20</p>	<p>21</p>
<p>22</p>	<p>23</p>	<p>24</p>
<p>25</p>	<p>26</p>	<p>27</p>
<p>28</p>	<p>29</p>	<p>30</p>



Таблица 4.4

$c$ , см	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	
Индекс	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	$B$

### Задача 5. Кручение валов кругового сечения

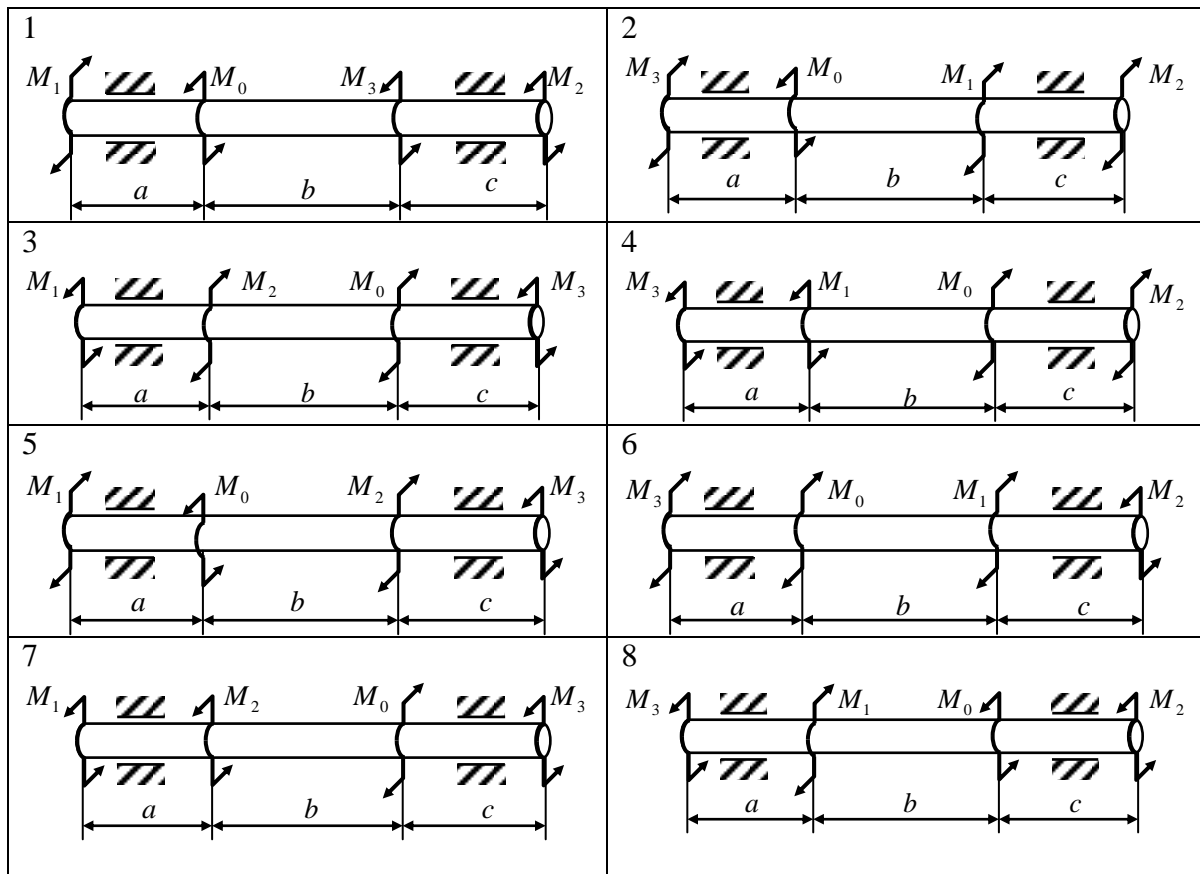
Последовательность решения задачи:

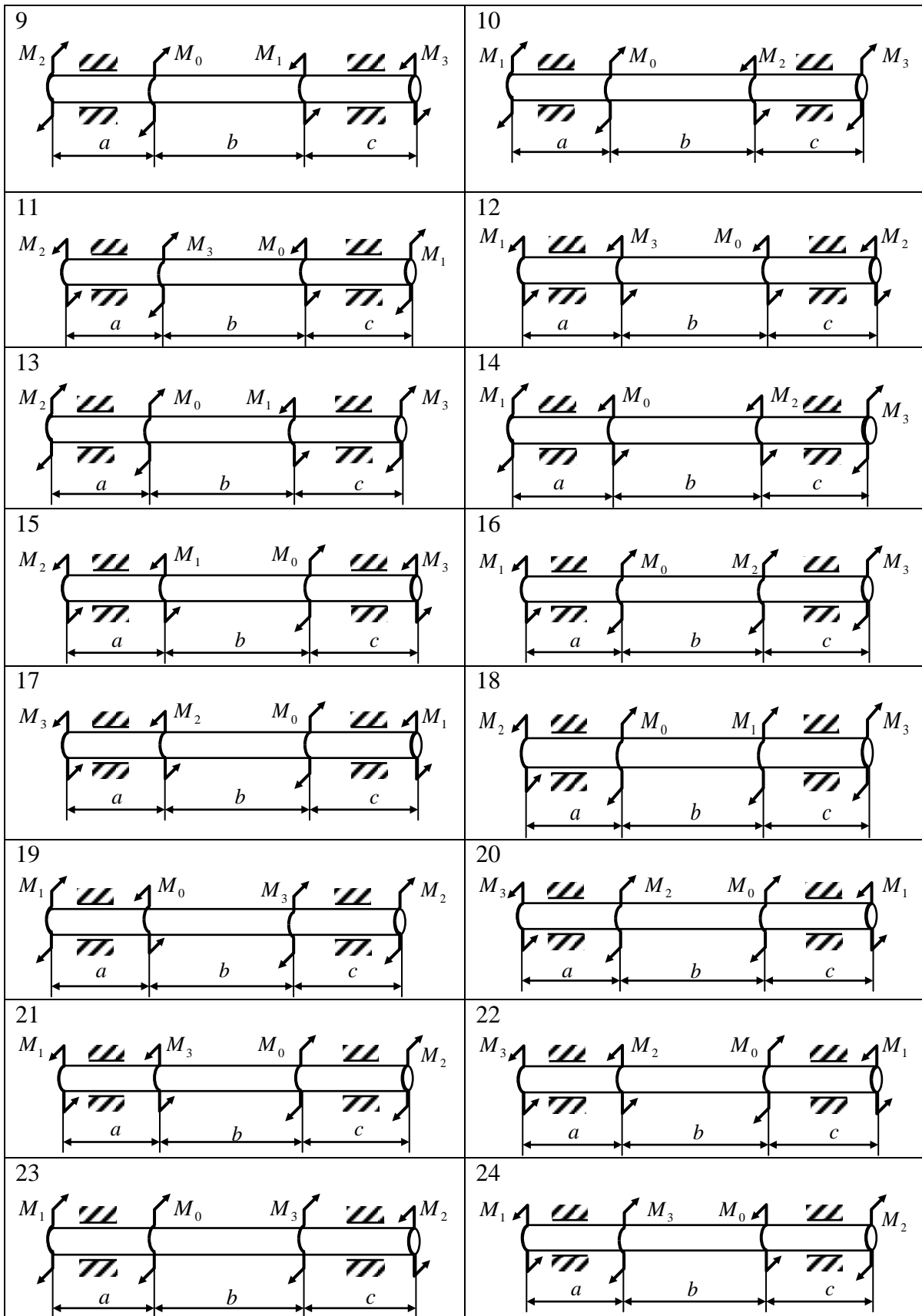
1. Из условия равновесия найти  $M_0$ .
2. Построить эпюру крутящего момента.
3. Подобрать диаметр сплошного вала кругового сечения по условиям прочности и жесткости.
4. Подобрать диаметр полого вала по условиям прочности и жесткости, приняв отношение внутреннего диаметра к внешнему равным 0,8.
5. Вычислить в процентах величину экономии материала для полого вала.
6. Построить эпюру углов закручивания, приняв в качестве неподвижного левое крайнее сечение.

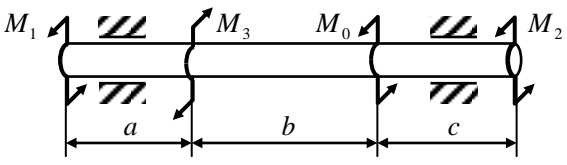
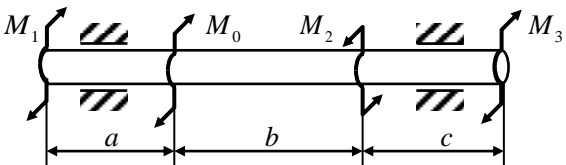
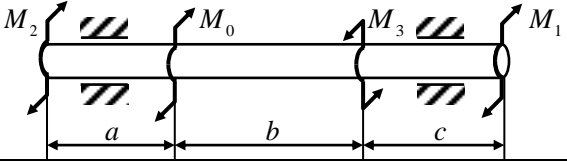
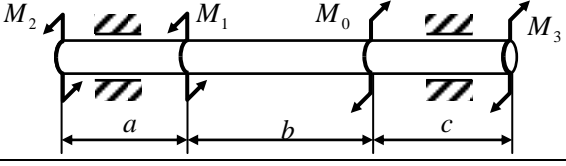
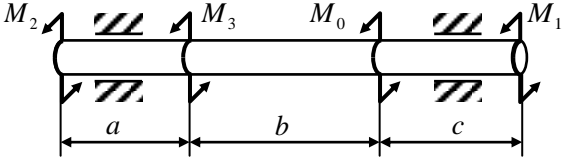
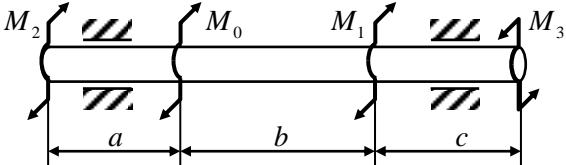
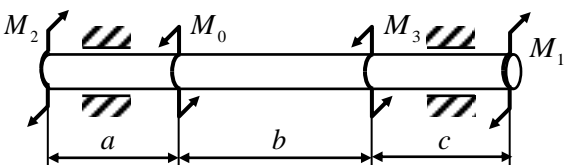
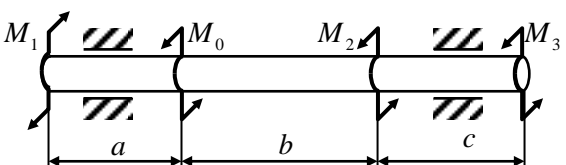
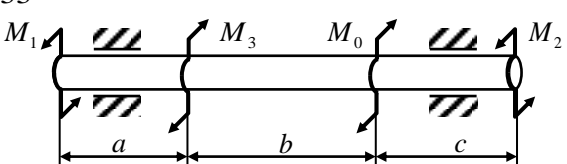
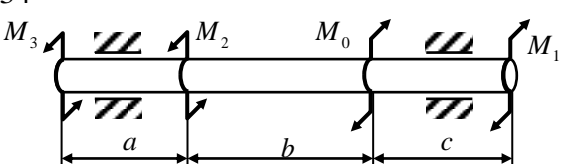
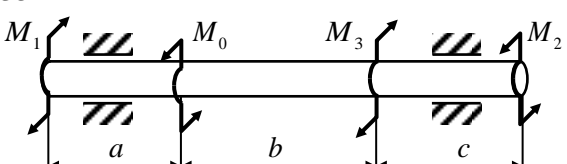
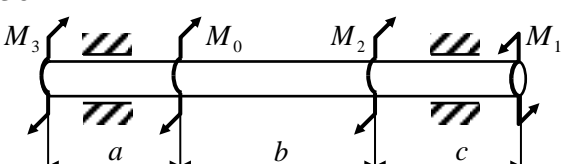
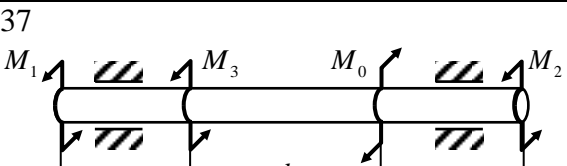
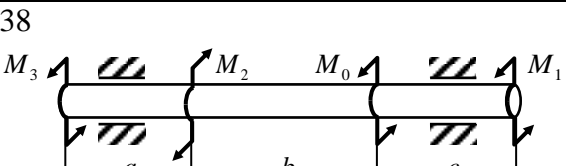
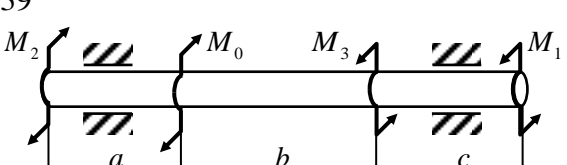
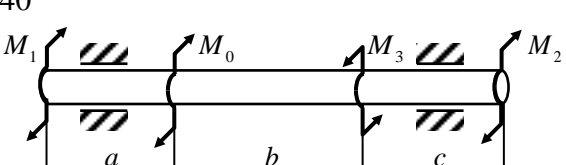
Материал стержня – сталь,  $[\tau] = 80$  МПа,  $G = 0,8 \cdot 10^5$  МПа.

Исходные данные принять по табл. 5.1 и 5.2.

Таблица 5.1





<p>25</p> 	<p>26</p> 
<p>27</p> 	<p>28</p> 
<p>29</p> 	<p>30</p> 
<p>31</p> 	<p>32</p> 
<p>33</p> 	<p>34</p> 
<p>35</p> 	<p>36</p> 
<p>37</p> 	<p>38</p> 
<p>39</p> 	<p>40</p> 

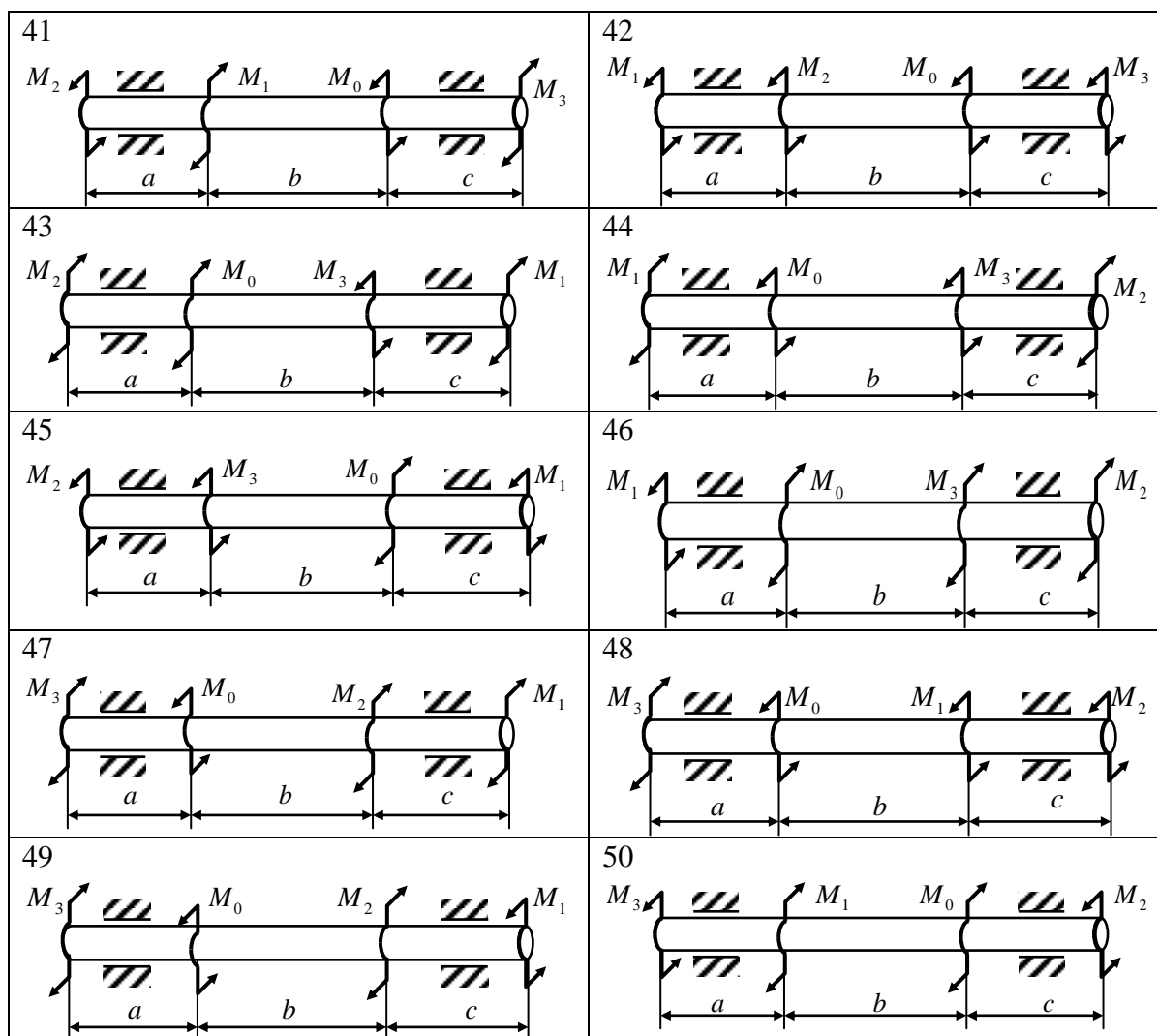


Таблица 5.2

	$a$	$b$	$c$	$M_1$	$M_2$	$M_3$	$[\varphi]$
	м			кН · м			град/м
1	1,2	1,2	1,2	50	50	50	0,4
2	1,4	1,4	1,4	60	60	60	0,5
3	1,6	1,6	1,6	80	80	80	0,6
4	1,8	1,8	1,8	70	70	70	0,35
5	2,2	2,2	2,2	65	65	65	0,45
6	2,4	2,4	2,4	75	75	75	0,55
7	1,4	1,4	1,4	50	50	50	0,4
8	1,6	1,6	1,6	60	60	60	0,35
9	1,8	1,8	1,8	80	80	80	0,45
0	2,2	2,2	2,2	70	70	70	0,55
	$A$	$B$	$C$	$D$	$B$	$A$	$C$

## Задача 6. Плоский поперечный изгиб стержня

Статически определимая балка нагружена равномерно распределенной нагрузкой  $q$ , сосредоточенными силами  $F$  и моментами  $M$  (табл. 6.1).

Требуется:

1. Вычертить в масштабе схему балки и указать числовые значения размеров и нагрузок.

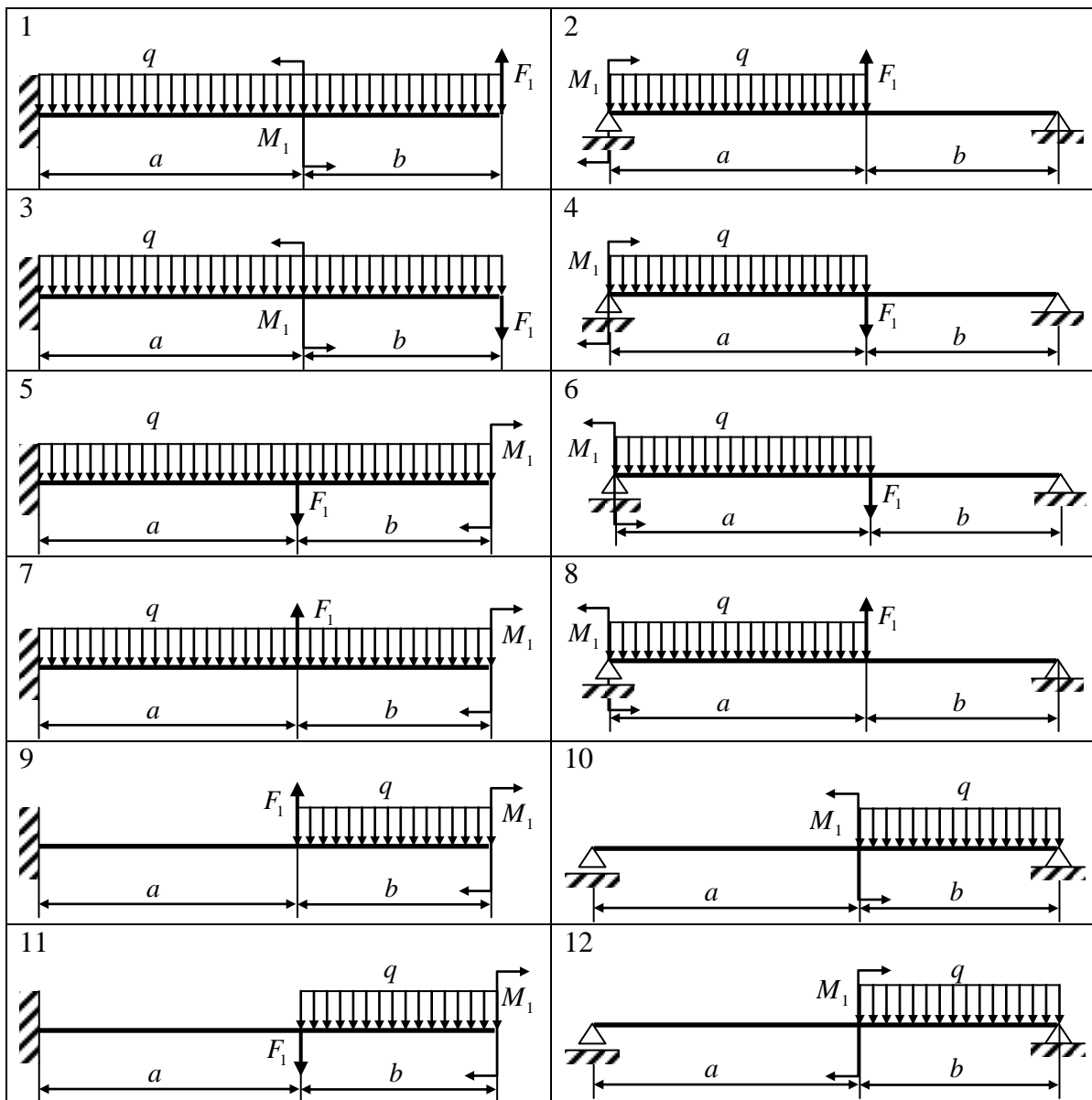
2. Построить эпюры изгибающего момента  $M_x$  и поперечной силы  $Q_y$  (эпюры  $M_x$  и  $Q_y$  располагаются под схемой балки).

3. Подобрать поперечное сечение балки в виде двутавра.

4. Проверить прочность балки в точках, расположенных на нейтральной оси.

Исходные данные приведены в табл. 6.2.

Таблица 6.1



<p>13</p>	<p>14</p>
<p>15</p>	<p>16</p>
<p>17</p>	<p>18</p>
<p>19</p>	<p>20</p>
<p>21</p>	<p>22</p>
<p>23</p>	<p>24</p>
<p>25</p>	<p>26</p>
<p>27</p>	<p>28</p>
<p>29</p>	<p>30</p>

<p>31</p>	<p>32</p>
<p>33</p>	<p>34</p>
<p>35</p>	<p>36</p>
<p>37</p>	<p>38</p>
<p>39</p>	<p>40</p>
<p>41</p>	<p>42</p>
<p>43</p>	<p>44</p>
<p>45</p>	<p>46</p>
<p>47</p>	<p>48</p>

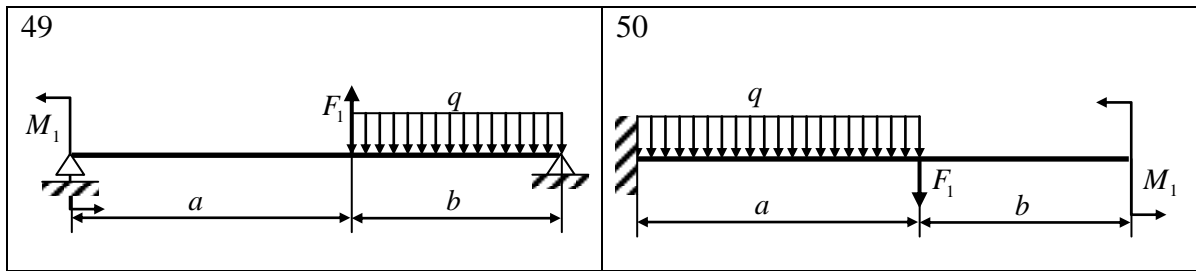


Таблица 6.2

	$a$	$b$	$F_1$	$F_2$	$M_1$	$M_2$	$q$
	м		кН		кН · м		кН/м
1	2,2	2,2	15	15	50	50	20
2	2,4	2,4	25	25	60	60	25
3	2,6	2,6	30	30	80	80	30
4	2,8	2,8	40	40	70	70	35
5	3	3	50	50	65	65	40
6	2,2	2,2	15	15	75	75	45
7	2,4	2,4	25	25	50	50	25
8	2,6	2,6	30	30	60	60	30
9	2,8	2,8	40	40	80	80	35
0	3	3	50	50	70	70	40
	$A$	$B$	$C$	$A$	$D$	$B$	$A$

### Задача 7. Косой изгиб стержня

Для заданной балки (табл. 6.1) от нагрузки, действующей в плоскости, отклоненной от вертикали на угол  $\alpha$ , необходимо:

1. Построить полную эпюру изгибающих моментов в плоскости действия сил.

2. Подобрать размеры поперечного сечения, приняв  $[\sigma] = 20$  МПа.

3. Определить положение нейтральной оси.

4. В опасном сечении построить эпюру нормального напряжения.

Числовые данные в табл. 7.1. Схемы сечений приведены в табл. 4.2.



Таблица 7.1

	$a$	$b$	$F_1$	$F_2$	$M_1$	$M_2$	$q$	$\alpha$
	м		кН		кН · м		кН/м	град
1	2,2	2,2	15	15	50	50	20	5
2	2,4	2,4	25	25	60	60	25	10
3	2,6	2,6	30	30	80	80	30	15
4	2,8	2,8	40	40	70	70	35	20
5	2,2	2,2	50	50	65	65	40	-5
6	2,4	2,4	15	15	75	75	45	-10
7	2,6	2,6	25	25	50	50	25	-15
8	2,8	2,8	30	30	60	60	30	-20
9	2,4	2,4	40	40	80	80	35	10
0	2,2	2,2	50	50	70	70	40	-10
	$D$	$C$	$B$	$C$	$A$	$D$	$B$	$C$

*Примечание.* Положительный угол откладывается против часовой стрелки.

### Задача 8. Внецентренное сжатие стержня большой изгибной жесткости

На стержень заданного поперечного сечения в точке  $A$  действует сжимающая сила  $F$  (табл. 4.2).

Требуется:

1. Вычертить в масштабе сечение стержня, показав положение главных центральных осей инерции.
2. Определить положение нейтральной линии и показать ее на схеме сечения.
3. Построить эпюру нормального напряжения  $\sigma_z$  и отметить в сечении положение опасных точек.
4. Определить величину допускаемой нагрузки, приняв  $[\sigma]_p = 10 \text{ МПа}$ ,  $[\sigma]_c = 40 \text{ МПа}$ .

### Задача 9. Определение перемещений при плоском поперечном изгибе стержня

Статически определимая балка нагружена равномерно распределенной нагрузкой  $q$ , сосредоточенными силами  $F$  и моментами  $M$  (табл. 6.1).

Требуется:

1. Вычертить в масштабе схему балки и указать числовые значения размеров и нагрузок.
2. Построить эпюры изгибающего момента  $M_x$  и поперечной силы  $Q_y$  (эпюры  $M_x$  и  $Q_y$  располагаются под схемой балки).

3. Подобрать поперечное сечение балки в виде двутавра.

4. Построить изогнутую ось стержня, вычислив прогибы не менее чем в двух характерных сечениях.

При вычислении перемещений использовать графоаналитические приемы вычисления интеграла Мора (прием Верещагина, формулу трапеций, формулу Симпсона).

Исходные данные приведены в табл. 9.1.

Таблица 9.1

	<i>a</i>	<i>b</i>	$F_1$	$F_2$	$M_1$	$M_2$	<i>q</i>
	м		кН		кН · м		кН/м
1	2,2	2,2	15	15	50	50	25
2	2,4	2,4	25	25	60	60	20
3	2,6	2,6	30	30	80	80	35
4	2,8	2,8	40	40	70	70	35
5	2,2	2,2	50	50	65	65	40
6	2,4	2,4	15	15	75	75	45
7	2,6	2,6	25	25	50	50	25
8	2,8	2,8	30	30	60	60	30
9	2,4	2,4	40	40	80	80	35
0	2,2	2,2	50	50	70	70	40
	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>A</i>	<i>D</i>	<i>B</i>	<i>A</i>	<i>B</i>

### Задача 10. Расчет статически неопределимой балки на прочность по допускаемым напряжениям

Для заданной схемы балки (табл. 10.1) требуется:

1. Раскрыть статическую неопределимость задачи с помощью метода сил.

2. Построить эпюры изгибающего момента и поперечной силы.

3. Подобрать поперечное сечение балки в виде двутавра, приняв  $[\sigma] = 160$  МПа.

Исходные данные приведены в табл. 10.2.

Таблица 10.1

<p>1</p>	<p>2</p>
<p>3</p>	<p>4</p>
<p>5</p>	<p>6</p>
<p>7</p>	<p>8</p>
<p>9</p>	<p>10</p>
<p>11</p>	<p>12</p>
<p>13</p>	<p>14</p>
<p>15</p>	<p>16</p>

<p>17</p>	<p>18</p>
<p>19</p>	<p>20</p>
<p>21</p>	<p>22</p>
<p>23</p>	<p>24</p>
<p>25</p>	<p>26</p>
<p>27</p>	<p>28</p>
<p>29</p>	<p>30</p>
<p>31</p>	<p>32</p>

<p>33</p>	<p>34</p>
<p>35</p>	<p>36</p>
<p>37</p>	<p>38</p>
<p>39</p>	<p>40</p>
<p>41</p>	<p>42</p>
<p>43</p>	<p>44</p>
<p>45</p>	<p>46</p>
<p>47</p>	<p>48</p>
<p>49</p>	<p>50</p>

Таблица 10.2

	$a$	$b$	$F_1$	$F_2$	$M_1$	$M_2$	$q$
	м		кН		кН · м		кН/м
1	3,2	3,2	20	20	50	50	20
2	3,4	3,4	25	25	60	60	25
3	3,6	3,6	30	30	80	80	30
4	3,8	3,8	40	40	70	70	35
5	3,2	3,2	50	50	65	65	40
6	3,4	3,4	15	15	75	75	45
7	3,6	3,6	25	25	50	50	25
8	3,8	3,8	30	30	60	60	30
9	3,4	3,4	40	40	80	80	35
0	3,2	3,2	50	50	70	70	40
	$A$	$B$	$C$	$A$	$D$	$B$	$A$

### Задача 11. Устойчивость сжатых стержней

Для заданной схемы стержня (табл. 11.1) и поперечного сечения заданной формы (табл. 4.1) требуется:

1. Определить величину критической силы.
2. Вычислить величину допускаемой нагрузки на устойчивость.
3. Определить величину коэффициента запаса по устойчивости.

В схемах сечений (табл. 4.1) параметр  $b$  соответствует размеру полки указанного прокатного профиля.

Таблица 11.1

Схемы стержня											
№ п/п	Схема	$l$ , м	№ п/п	Схема	$l$ , м	№ п/п	Схема	$l$ , м	№ п/п	Схема	$l$ , м
1		2	9		3	17		4	25		1
2		3	10		4	18		5	26		2
3		4	11		5	19		6	27		2,5
4		5	12		6	20		7	28		2
5		2	13		7	21		8	29		1
6		3	14		6	22		9	30		2
7		4	15		5	23		10	31		2,5
8		5	16		4	24		8	32		2

При упруго-пластической потере устойчивости в расчете использовать данные табл. 11.2.

Материал стержня – сталь.

Таблица 11.2

Материал	$\lambda_0$	$\lambda_{пр}$	МПа		
			<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
Ст. 3	40	100	267	0,667	0
Чугун	0	80	780	12	0,056
Дерево	0	70	40	0,286	0

### Библиографический список

1. *Александров А. В.* Сопротивление материалов / А. В. Александров, В. Д. Потапов, Б. П. Державин. – 3-е изд., испр. – М. : Высшая школа, 2003. – 560 с. : ил.

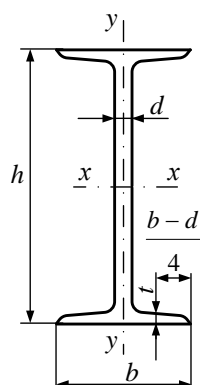
2. *Елизаров С. В.* Сопротивление материалов : базовый курс лекций / С. В. Елизаров, Ю. П. Каптелин. – СПб. : Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2007. – 254 с.

3. Сопротивление материалов. Основы теории. Примеры. Задачи : учеб. пособие / С. В. Елизаров, Ю. П. Каптелин, Я. К. Кульгавий, Н. М. Савкин; под общ. ред. С. В. Елизарова. – СПб. : Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2006. – 400 с.

4. *Феодосьев В. И.* Сопротивление материалов : учебник для вузов / В. И. Феодосьев. – 11-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005. – 592 с. – (Сер. Механика в техническом университете).

5. *Васильев В. З.* Краткий курс сопротивления материалов с основами теории упругости : учеб. пособие. – СПб. : Изд-во «Иван Федоров», 2001. – 256 с.

**СТАЛЬ ГОРЯЧЕКАТАНАЯ. БАЛКИ ДВУТАВРОВЫЕ (по ГОСТ 8239–89)**



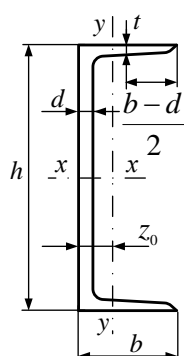
- $h$  – высота балки;
- $b$  – ширина балки;
- $d$  – толщина стенки;
- $t$  – средняя толщина полки;
- $F$  – площадь сечения;
- $I$  – момент инерции;
- $W$  – момент сопротивления;
- $i$  – радиус инерции;
- $S$  – статический момент полусечения.

Таблица П.1

Но- мер про- филя	Мас- са, кг/м	Размеры, мм				$F$ , см <sup>2</sup>	$I_x$ , см <sup>4</sup>	$W_{x3}$ , см <sup>3</sup>	$i_x$ , см	$S_{x3}$ , см <sup>3</sup>	$I_y$ , см <sup>4</sup>	$W_{y3}$ , см <sup>3</sup>	$i_y$ , см
		$h$	$b$	$d$	$t$								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
10	9,46	100	55	4,5	7,2	12,0	198	39,7	4,06	23,0	17,9	6,49	1,22
12	11,5	120	64	4,8	7,3	14,7	350	58,4	4,88	33,7	27,9	8,72	1,38
14	13,7	140	73	4,9	7,5	17,4	572	81,7	5,73	46,8	41,9	11,5	1,55
16	15,9	160	81	5,0	7,8	20,2	873	109	6,57	62,3	58,6	14,5	1,70
18	18,4	180	90	5,1	8,1	23,4	1290	143	7,42	81,4	82,6	18,4	1,88
20	21	200	100	5,2	8,4	26,8	1840	184	8,28	104	115	23,1	2,07
22	24	220	110	5,4	8,7	30,6	2550	232	9,13	131	157	28,6	2,27
24	27,3	240	115	5,6	9,5	34,8	3460	289	9,97	163	198	34,5	2,37
27	31,5	270	125	6,0	9,8	40,2	5010	371	11,2	210	260	41,5	2,54
30	36,5	300	135	6,5	10,2	46,5	7080	472	12,3	268	337	49,9	2,69
33	42,2	330	140	7,0	11,2	53,8	9840	597	13,5	339	419	59,9	2,79
36	48,6	360	145	7,5	12,3	61,9	13380	743	14,7	423	516	71,1	2,89
40	57	400	155	8,3	13,0	72,6	19062	953	16,2	545	667	86,1	3,03
45	66,5	450	160	9,0	14,2	84,7	27696	1231	18,1	708	808	101	3,09
50	78,5	500	170	10	15,2	100	39727	1589	19,9	919	1043	123	3,23
55	92,6	550	180	11	16,5	118	55962	2035	21,8	1181	1356	151	3,39
60	108	600	190	12	17,8	138	76806	2560	23,6	1491	1725	182	3,54



**СТАЛЬ ГОРЯЧЕКАТАНАЯ. ШВЕЛЛЕРЫ (по ГОСТ 8240–89)**



- $h$  – высота швеллера;
- $b$  – ширина швеллера;
- $d$  – толщина стенки;
- $t$  – средняя толщина полки;
- $I$  – момент инерции;
- $F$  – площадь швеллера;
- $W$  – момент сопротивления;
- $i$  – радиус инерции;
- $S$  – статический момент полусечения;
- $z_0$  – расстояние от оси  $y$  до наружной грани стенки.

Таблица П.2

Номер профиля	Масса, кг/м	Размеры, мм				$F$ , см <sup>2</sup>	$I_x$ , см <sup>4</sup>	$W_x$ , см <sup>3</sup>	$i_x$ , см	$S_x$ , см <sup>3</sup>	$I_y$ , см <sup>4</sup>	$W_y$ , см <sup>3</sup>	$i_y$ , см	$z_0$ , см
		$h$	$b$	$d$	$t$									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
5	4,84	50	32	4,4	7,0	6,16	22,8	9,1	1,92	5,59	5,61	2,75	0,954	1,16
6,5	5,9	65	36	4,4	7,2	7,51	48,6	15,0	2,54	9,00	8,70	3,68	1,08	1,24
8	7,05	80	40	4,5	7,4	8,98	89,4	22,4	3,16	13,3	12,8	4,75	1,19	1,31
10	8,59	100	46	4,5	7,6	10,9	174	34,8	3,99	20,4	20,4	6,46	1,37	1,44
12	10,4	120	52	4,8	7,8	13,3	304	50,6	4,78	29,6	31,2	8,52	1,53	1,54
14	12,3	140	58	4,9	8,1	15,6	491	70,2	5,60	40,8	45,4	11,0	1,70	1,68
16	14,2	160	64	5	8,4	18,1	747	93,4	6,12	54,1	63,6	13,8	1,87	1,80
16a	15,3	160	68	5	9	19,5	823	103	6,49	59,4	78,8	16,4	2,01	2,00
18	16,3	180	70	6,1	8,7	20,7	1090	121	7,24	69,8	86	17	2,04	1,94
18a	17,4	180	74	5,1	9,3	22,2	1190	132	7,32	76,1	105	20	2,18	2,13
20	18,4	200	80	5,2	9,0	23,4	1520	152	8,07	87,8	113	20,5	2,20	2,07
22	21	220	82	5,4	8,5	26,7	2110	192	8,89	110	151	25,1	2,37	2,21
24	24	240	90	5,6	10,0	30,6	2900	242	9,73	139	208	31,6	2,60	2,42
27	27,7	270	95	6,0	10,5	35,2	4160	308	10,9	178	262	37,3	2,73	2,47
30	31,8	300	100	6,5	11,0	40,5	5810	387	12,0	224	327	43,6	2,84	2,52
33	36,5	330	105	7,0	11,7	46,5	7980	484	13,1	281	410	51,8	2,97	2,59
36	41,9	360	110	7,5	12,6	53,4	10820	601	14,2	350	513	61,7	3,10	2,68
40	48,3	400	115	8,0	13,5	61,5	15220	761	15,7	444	642	73,4	3,23	2,75

Сортамент прокатной стали

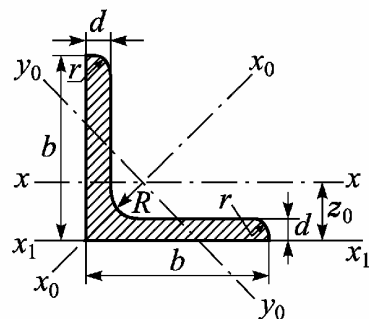


Таблица П.3

СТАЛЬ ПРОКАТНАЯ УГЛОВАЯ РАВНОПОЛОЧНАЯ. ГОСТ 8509–72

Номер про- филя	$b$	$d$	$R$	$r$	Площадь сечения, см <sup>2</sup>	Справочные величины для осей								Масса 1 м длины профиля, кг
	мм					$x-x$		$x_0-x_0$		$y_0-y_0$		$x_1-x_1$	$z_0$ , см	
	$J_x$ , см <sup>4</sup>	$i_x$ , см	$J_{x_0 \max}$ , см <sup>4</sup>	$i_{x_0 \max}$ , см		$J_{y_0 \min}$ , см <sup>4</sup>	$i_{y_0 \min}$ , см	$J_{x_1}$ , см <sup>4</sup>						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
2	20	3	3,5	1,2	1,13	0,40	0,59	0,63	0,75	0,17	0,39	0,81	0,60	0,89
		4	1,46		0,50	0,58	0,78	0,73	0,22	0,38	1,09	0,64	1,15	
2,5	25	3	3,5	1,2	1,43	0,81	0,75	1,29	0,95	0,34	0,49	1,57	0,73	1,12
		4	1,86		1,03	0,74	1,62	0,93	0,44	0,48	2,11	0,76	1,46	
2,8	28	3	4,0	1,3	1,62	1,16	0,85	1,84	1,07	0,48	0,55	2,20	0,80	1,27
3,2	32	3	4,5	1,5	1,86	1,77	0,97	2,80	1,23	0,74	0,63	3,26	0,89	1,46
		4	2,43		2,26	0,96	3,58	1,21	0,94	0,62	4,39	0,94	1,91	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
3,6	36	3	4,5	1,5	2,10	2,56	1,10	4,06	1,39	1,06	0,71	4,64	0,99	1,65
		4			2,75	3,29	1,09	5,21	1,38	1,36	0,70	6,24	1,04	2,16
4	40	3	5,0	1,7	2,35	3,55	1,23	5,63	1,55	1,47	0,79	6,35	1,09	1,85
		4			3,08	4,58	1,22	7,26	1,53	1,90	0,78	8,53	1,13	2,42
		5			3,79	5,53	1,20	8,75	1,54	2,30	0,78	10,73	1,17	2,97
4,5	45	3	5,0	1,7	2,65	5,13	1,39	8,13	1,75	2,12	0,89	9,04	1,21	2,08
		4			3,48	6,63	1,38	10,50	1,74	2,74	0,89	12,10	1,26	2,73
		5			4,20	8,03	1,37	12,70	1,72	3,33	0,88	15,30	1,30	3,37
5	50	3	5,5	1,8	2,96	7,11	1,55	11,30	1,95	2,95	1,00	12,40	1,33	2,32
		4			3,89	9,21	1,54	14,60	1,94	3,80	0,99	16,60	1,38	3,05
		5			4,80	11,20	1,53	17,80	1,92	4,63	0,98	20,90	1,42	3,77
5,6	56	4	6,0	2,0	4,38	13,10	1,73	20,80	2,18	5,41	1,11	23,30	1,52	3,44
		5			5,41	16,00	1,72	25,40	2,16	6,59	1,10	29,20	1,57	4,25
6,3	63	4	7,0	2,3	4,96	18,90	1,95	29,90	2,45	7,81	1,25	33,10	1,69	3,90
		5			6,13	23,10	1,94	36,60	2,44	9,52	1,25	41,50	1,74	4,81
		6			7,28	27,10	1,93	42,90	2,43	11,20	1,24	50,00	1,78	5,72
7	70	4,5	8	2,7	6,20	29,0	2,16	46,0	2,72	12,0	1,39	51,0	1,88	4,87
		5			6,86	31,9	2,16	50,7	2,72	13,2	1,39	56,7	1,90	5,38
		6			8,15	37,6	2,15	59,6	2,71	15,5	1,38	68,4	1,94	6,39
		7			9,42	43,0	2,14	68,2	2,69	17,8	1,37	80,1	1,99	7,39
		8			10,70	48,2	2,13	76,4	2,68	20,0	1,37	91,9	2,02	8,37

Продолжение табл. П.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
7,5	75	5	9	3,0	7,39	39,5	2,31	62,6	2,91	16,4	1,49	69,6	2,02	5,80
		6			8,78	46,6	2,30	73,9	2,90	19,3	1,48	83,9	2,06	6,89
		7			10,10	53,3	2,29	84,6	2,89	22,1	1,48	98,3	2,10	7,96
		8			11,50	59,8	2,28	94,6	2,87	24,8	1,47	113,0	2,15	9,02
		9			12,80	66,1	2,27	105,0	2,86	27,5	1,46	127,0	2,18	10,10
8	80	5,5	9	3,0	8,63	52,7	2,47	83,6	3,11	21,8	1,59	93,2	2,17	6,78
		6			9,38	57,0	2,47	90,4	3,11	23,5	1,58	102,0	2,19	7,36
		7			10,80	65,3	2,45	104,0	3,09	27,0	1,58	119,0	2,23	8,51
		8			12,30	73,4	2,44	116,0	3,08	30,3	1,57	137,0	2,27	9,65
9	90	6	10	3,3	10,60	82,1	2,78	130,0	3,50	34,0	1,79	145,0	2,43	8,33
		7			12,30	94,3	2,77	150,0	3,49	38,9	1,78	169,0	2,47	9,64
		8			13,90	106,0	2,76	168,0	3,48	43,8	1,77	194,0	2,51	10,90
		9			15,60	118,0	2,75	186,0	3,46	48,6	1,77	219,0	2,55	12,20
10	100	6,5	12	4,0	12,80	122,0	3,09	193,0	3,88	50,7	1,99	214,0	2,68	10,10
		7			13,80	131,0	3,08	207,0	3,88	54,2	1,98	231,0	2,71	10,80
		8			15,60	147,0	3,07	233,0	3,87	60,9	1,98	265,0	2,75	12,20
		10			19,20	179,0	3,05	284,0	3,84	74,1	1,96	333,0	2,83	15,10
		12			22,80	209,0	3,03	331,0	3,81	86,9	1,95	402,0	2,91	17,90
		14			26,30	237,0	3,00	375,0	3,78	99,3	1,94	472,0	2,99	20,60
11	110	7	12	4,0	15,20	176,0	3,40	279,0	4,29	72,7	2,19	308,0	2,96	11,90
		8			17,20	198,0	3,39	315,0	4,28	81,8	2,18	353,0	3,00	13,50

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
12,5	125	8	14	4,6	19,7	294,0	3,87	467,0	4,87	122,0	2,49	516,0	3,36	15,5
		9			22,0	327,0	3,86	520,0	4,86	135,0	2,48	582,0	3,40	17,3
		10			24,3	360,0	3,85	571,0	4,84	149,0	2,47	649,0	3,45	19,1
		12			28,9	422,0	3,82	670,0	4,82	174,0	2,46	782,0	3,53	22,7
		14			33,4	482,0	3,80	764,0	4,78	200,0	2,45	916,0	3,61	26,2
14	140	16	14	4,6	37,8	539,0	3,78	853,0	4,75	224,0	2,44	1051,0	3,68	29,6
		9			24,7	466,0	4,34	739,0	5,47	192,0	2,79	818,0	3,78	19,4
		10			27,3	512,0	4,33	814,0	5,46	211,0	2,78	911,0	3,82	21,5
16	160	12	16	5,3	32,5	602,0	4,31	957,0	5,43	248,0	2,76	1097,0	3,90	25,5
		10			31,4	774	4,96	1229	6,25	319	3,19	1356	4,30	24,7
		11			34,4	844	4,95	1341	6,24	348	3,18	1494	4,35	27,0
		12			37,4	913	4,94	1450	6,23	376	3,17	1633	4,39	29,4
		14			43,3	1046	4,92	1662	6,20	431	3,16	1911	4,47	34,0
		16			49,1	1175	4,89	1866	6,17	485	3,14	2191	4,55	38,5
18	180	18	16	5,3	54,8	1299	4,87	2061	6,13	537	3,13	2472	4,63	43,0
		20			60,4	1419	4,85	2248	6,10	589	3,12	2756	4,70	47,4
		11			38,8	1216	5,60	1933	7,06	500	3,59	2128	4,85	30,5
18	180	12	16	5,3	42,2	1317	5,59	2093	7,04	540	3,58	2324	4,89	33,1

Окончание табл. П.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
20	200	12	18	6,0	47,1	1823	6,22	2896	7,84	749	3,99	3182	5,37	37,0
		13			50,9	1961	6,21	3116	7,83	805	3,98	3452	5,42	39,9
		14			54,6	2097	6,20	3333	7,81	861	3,97	3722	5,46	42,8
		16			62,0	2363	6,17	3755	7,78	970	3,96	4264	5,54	48,7
		20			76,5	2871	6,12	4560	7,72	1182	3,93	5355	5,70	60,1
		25			94,3	3466	6,06	5494	7,63	1438	3,91	6733	5,89	74,0
		30			111,5	4020	6,00	6351	7,55	1688	3,89	8130	6,07	87,6
22	220	14	21	7,0	60,4	2814	6,83	4470	8,60	1159	4,38	4941	5,93	47,4
		16			68,6	3175	6,81	5045	8,58	1306	4,36	5661	6,02	53,8
25	250	16	24	8	78,4	4717	7,76	7492	9,78	1942	4,98	8286	6,75	61,5
		18			87,7	5247	7,73	8337	9,75	2158	4,96	9342	6,83	68,9
		20			97,0	5765	7,71	9160	9,72	2370	4,94	10401	6,91	76,1
		22			106,1	6270	7,69	9961	9,69	2579	4,93	11464	7,00	83,3
		25			119,7	7006	7,65	11125	9,64	2887	4,91	13064	7,11	94,0
		28			133,1	7717	7,61	12244	9,59	3190	4,89	14674	7,23	104,5
		30			142,0	8177	7,59	12965	9,56	3389	4,89	15753	7,31	111,4

**Значения коэффициента  $\varphi$  в зависимости от гибкости  $\lambda$   
для различных материалов**

Таблица П.4

Гиб- кость $\lambda$	Коэффициент $\varphi$							
	Сталь			Чугун		Дерево (независимо от породы)	Бетон	
	Ст.0 Ст.2 Ст.3 Ст.4	Ст. 5 НЛ-1	НЛ-2	СЧ 15-30 СЧ 15-18 СЧ 15-36 СЧ 41-40	СЧ 21-44 СЧ 28-48		тяже- лый	лег- кий
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
10	0,99	0,98	0,98	0,97	0,95	0,99	1,00	1,00
20	0,97	0,95	0,95	0,91	0,87	0,97	0,96	0,96
30	0,95	0,93	0,93	0,81	0,75	0,92	0,90	0,86
40	0,92	0,90	0,90	0,69	0,60	0,87	0,84	0,73
50	0,89	0,84	0,83	0,57	0,43	0,80	0,76	0,68
60	0,86	0,80	0,78	0,44	0,32	0,71	0,70	0,59
70	0,81	0,74	0,71	0,34	0,23	0,61	0,63	0,52
80	0,75	0,66	0,63	0,26	0,18	0,49	0,57	0,46
90	0,69	0,59	0,54	0,20	0,14	0,38	0,51	–
100	0,60	0,50	0,45	0,16	0,12	0,31	0,45	–
110	0,52	0,43	0,39	–	–	0,26	–	–
120	0,45	0,38	0,33	–	–	0,22	–	–
130	0,40	0,32	0,29	–	–	0,18	–	–
140	0,36	0,28	0,26	–	–	0,15	–	–
150	0,32	0,27	0,23	–	–	0,14	–	–
160	0,29	0,24	0,21	–	–	0,12	–	–
170	0,26	0,21	0,19	–	–	0,11	–	–
180	0,23	0,19	0,17	–	–	0,10	–	–
190	0,21	0,17	0,15	–	–	–	–	–
200	0,19	0,16	0,14	–	–	–	–	–

## Оглавление

Введение .....	3
Задача 1. Расчет прямоосного ступенчатого стержня на осевое действие сил .....	4
Задача 2. Расчет статически определимой шарнирно-стержневой системы .....	8
Задача 3. Расчет статически неопределимой шарнирно-стержневой системы ....	12
Задача 4. Геометрические характеристики площади плоских фигур.....	17
Задача 5. Кручение валов кругового сечения .....	24
Задача 6. Плоский поперечный изгиб стержня.....	28
Задача 7. Косой изгиб стержня.....	31
Задача 8. Внецентренное сжатие стержня большой изгибной жесткости .....	32
Задача 9. Определение перемещений при плоском поперечном изгибе стержня.....	32
Задача 10. Расчет статически неопределимой балки на прочность по допускаемым напряжениям .....	33
Задача 11. Устойчивость сжатых стержней .....	37
Библиографический список .....	38
Приложение 1 .....	39
Приложение 2 .....	40
Приложение 3 .....	41
Приложение 4.....	46



*Учебное издание*

**Кухарева Анна Сергеевна,  
Невзоров Николай Иванович,  
Трощенко Эдуард Дмитриевич**

## **СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ**

Часть 1

Варианты заданий

Учебное пособие

Редактор и корректор *И. А. Шабранская*  
Компьютерная верстка *Л. А. Каратановой*

План 2011 г., № 23

Подписано в печать с оригинал-макета 30.03.2012.

Формат 60×84 1/16. Бумага для множ. апп. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 3,0. Тираж 500 экз.

Заказ 361.

Петербургский государственный университет путей сообщения.  
190031, СПб., Московский пр., 9.

Типография ПГУПС. 190031, СПб., Московский пр., 9.