



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
Кафедра «Строительная механика и теория сооружений»

## **Практикум**

о порядке выполнения расчетно-  
графической работы на тему «Расчет ба-  
лок и плоских рам на жесткость»  
по дисциплинам

**«Сопротивление материалов»,  
«Техническая механика», «Ар-  
хитектурно-строительная меха-  
ника», «Теоретическая и при-  
кладная механика», «Строи-  
тельная механика»**

Авторы  
Еремин В. Д.

Ростов-на-Дону, 2024

## Аннотация

Практикум предназначен для студентов всех форм обучения технических направлений подготовки (специальностей), в частности, для студентов, обучающихся по направлениям 08.03.01 – Строительство; 07.03.01 – Архитектура; 07.03.02 – Реконструкция и реставрация архитектурного наследия; 07.03.04 – Градостроительство; 23.03.03 – Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов; 29.03.04 – Технология художественной обработки материалов и специальностям 08.05.01 – Строительство уникальных зданий; 27.05.01 – Прикладная геодезия; 23.05.01 – Наземные транспортно-технологические средства.

## Авторы

к.т.н., профессор кафедры «Сопротивление материалов»

Еремин В.Д.



## Оглавление

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. Общие методические указания по выполнению расчетно-графической работы .....</b>                               | <b>4</b>  |
| <b>2. Указания о порядке выполнения расчетно-графической работы «Расчет балок и плоских рам на жесткость» .....</b> | <b>5</b>  |
| 2.1. Индивидуальные данные .....  | 8         |
| 2.2. Задача № 1. Расчетные схемы статически определимых стальных балок на двух шарнирных опорах .....               | 9         |
| 2.3. Задача № 2. Расчетные схемы статически определимых балок с промежуточным шарниром .....                        | 11        |
| 2.4. Задача № 3. Расчетные схемы статически определимых плоских рам .....   | 15        |
| 2.5. Задача № 4. Расчетные схемы статически неопределимых деревянных балок .....                                    | 19        |
| 2.6. Контрольные вопросы к расчетно-графической работе на тему «Расчет балок и рам на жесткость» .....              | 22        |
| <b>Рекомендуемая литература .....</b>   | <b>22</b> |
| <b>Приложение .....</b>   | <b>23</b> |

## 1. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

- Вариант работы включает номер индивидуальных данных (табл. 1) и номера расчетных схем задач (табл. 2, 3.4 и 5).

- Выдача варианта работы и номеров задач, входящих в состав расчетно-графической работы, осуществляется преподавателем.

- Нельзя приступать к расчетам, не разобравшись досконально по учебнику или конспекту лекций в теории, связанной с выполнением расчетно-графической работы.

- Все расчеты необходимо вести очень четко и аккуратно, с предельной внимательностью, сначала в общем виде, затем в числах.

- Расчет на всех его этапах надо сопровождать необходимыми схемами и чертежами, выполненными с обязательным соблюдением масштабов.

Графическое оформление помогает не только произвести расчет, но и облегчает его просмотр с целью ознакомления с ним или для контроля правильности выполненного этапа работы.

- Необходимо использовать все средства для самоконтроля правильности выполненной части работы. Такие возможности обычно имеются на каждом этапе расчета.

- Все вычисления, как правило, достаточно производить с точностью до третьей значащей цифры.

- Чистовой вариант расчетно-графической работы сдается преподавателю на проверку в виде аккуратно оформленной и сброшюрованной пояснительной записки на листах писчей бумаги формата А 4 с угловыми штампами, с титульным листом, исходными данными, всеми необходимыми расчетами, выполненными в общем виде и числах, схемами и чертежами.

- Графическая часть работы выполняется с соблюдением масштабов, на листах бумаги, швиваемых в пояснительную записку.

После проверки работы преподавателем и ее защиты расчетно-графическая работа сканируется и ее электронный вариант вместе с оригиналом сдается на кафедру.

## 2. УКАЗАНИЯ О ПОРЯДКЕ ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ «РАСЧЕТ БАЛОК И ПЛОСКИХ РАМ НА ЖЕСТКОСТЬ»

Для выполнения работ будем использовать экспериментальную плату Системы управления температурой, скоростью и освещенностью SO4201-5V.

**Для выполнения расчетно-графической работы требуется:**

**Задача № 1.** Для заданной расчетной схемы статически определимой стальной балки на двух шарнирных опорах (табл. 2) с размерами и нагрузкой, определяемыми по табл. 1, необходимо:

1. Определить опорные реакции.
2. Построить эпюры поперечных сил  $Q$  и изгибающих моментов  $M$ .
3. Из условия прочности по методу допускаемых напряжений подобрать сечение балки из двутавра или двух швеллеров, приняв допускаемое нормальное напряжение  $[\sigma] = 160 \text{ МПа}$ .
4. Проверить прочность выбранного сечения балки по нормальным напряжениям по методу допускаемых напряжений.
5. Проверить прочность выбранного сечения балки по касательным напряжениям, приняв допускаемое касательное напряжение  $[\tau] = 0,6[\sigma]$ .
6. Найти значение жесткости поперечного сечения ( $EJ_y$ ).
7. Вычислить, пользуясь методом начальных параметров, численные значения углов поворота поперечных сечений и прогибов оси в характерных точках участков балки. Построить их эпюры.
8. Проверить правильность построения эпюр, используя дифференциальные зависимости между  $Q$ ,  $M$ ,  $\varphi$  и  $v$ .
9. Для выбранного в пункте 3 типа сечения (двутавр или два швеллера) из условия жесткости подобрать номер прокатного

профиля, приняв величину допускаемого прогиба  $[f] = \frac{L}{400}$ ,

где  $L$  – длина пролета балки.

10. Сравнить результаты, полученные в п. 3 и п. 9.

**Индивидуальные данные взять из таблиц 1 и 2.**

**Задача № 2.** Для заданной расчетной схемы статически определимой балки с промежуточным шарниром (табл. 3) с раз-

мерами и нагрузкой, определяемыми по табл. 1, необходимо:

1. Построить поэтажную схему. Определить опорные реакции.
2. Построить эпюры изгибающих моментов **M** и поперечных сил **Q**.
3. Определить перемещение (прогиб) в заданном сечении **№ 1** балки методом Мора с использованием правила Верещагина, приняв  **$EI_y = const$** .
4. Определить угол поворота в заданном сечении **№ 2** балки методом Мора с использованием правила Верещагина, приняв  **$EI_y = const$** .

**Замечание.** Если сечение, в котором определяется угол поворота, совпадает с шарниром, тогда необходимо определить взаимный угол поворота примыкающих к шарниру сечений.

**Индивидуальные данные взять из таблиц 1 и 3.**

**Задача № 3.** Для заданной расчетной схемы статически определимой плоской рамы (табл.4) с размерами и нагрузкой, определяемыми по табл. 1, необходимо:

1. Определить опорные реакции.
2. Построить эпюры изгибающих моментов **M**, поперечных **Q** и продольных сил **N**.
3. Определить перемещение (вертикальное или горизонтальное) в заданном сечении **№ 1** рамы с помощью интеграла Мора с использованием правила Верещагина.
4. Определить угол поворота в заданном сечении **№ 2** рамы методом Мора с использованием правила Верещагина.

**Замечание.** Поскольку в задаче расчета статически определимых плоских рам жесткости отдельных стержней различны и

заданы только их соотношения  $\frac{EJ_1}{EJ_2} = \frac{J_1}{J_2}$ , то искомые переме-

щения должны быть выражены через  **$EJ_1$**  или  **$EJ_2$** .

**Индивидуальные данные взять из таблиц 1 и 4.**

**Задача № 4.** Для заданной расчетной схемы деревянной статически неопределимой балки (табл. 5) с размерами и нагрузкой, определяемыми по табл. 1, необходимо:

1. Раскрыть статическую неопределимость балки (определить опорные реакции) методом начальных параметров.
2. Построить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов.

3. Из условия прочности по методу допускаемых нормальных напряжений подобрать размеры прямоугольного поперечного сечения (рис. 1) деревянной балки при заданных соотношениях  $\beta = h/b$ . Принять допускаемое нормальное напряжение  $[\sigma] = 12 \text{ МПа}$ .

4. Проверить прочность выбранного сечения балки по нормальным напряжениям по методу допускаемых напряжений.

6. Проверить прочность выбранного сечения балки по касательным напряжениям, приняв  $[\tau] = 2 \text{ МПа}$ .

5. Вычислить, пользуясь методом начальных параметров, численные значения прогибов оси в характерных точках участков балки и построить эпюру прогибов.

6. Определить величину максимального прогиба и проверить выполнение условия жесткости балки, приняв допускаемый прогиб  $[f] = \frac{L}{150}$ , где  $L$  – длина пролета (для консолей пролет  $L$  равен удвоенному вылету консоли).

**Индивидуальные данные взять из таблиц 1 и 5.**

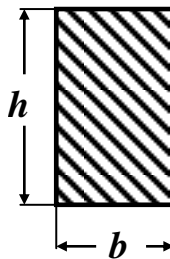


Рис. 1

## 2.1. Индивидуальные данные

Таблица 1

| №<br>п/п | а<br>(м) | в<br>(м) | с<br>(м) | д<br>(м) | F<br>(кН) | q<br>(кН/м) | m<br>(кНм) | $\beta =$<br>$=h/b$ | $\frac{I_1}{I_2}$ | Вид<br>перемещения |
|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-------------|------------|---------------------|-------------------|--------------------|
| 1        | 1        | 3        | 1        | 1,2      | 18        | 14          | 16         | 2,5                 | 0,5               | Вертикальное       |
| 2        | 0,5      | 3        | 1        | 0,5      | 16        | 12          | 14         | 1,5                 | 2,0               | Вертикальное       |
| 3        | 1        | 3        | 0,5      | 1,2      | 14        | 16          | 10         | 2,5                 | 0,5               | Вертикальное       |
| 4        | 0,5      | 3        | 0,5      | 0,5      | 12        | 18          | 14         | 1,5                 | 2,5               | Вертикальное       |
| 5        | 1        | 2        | 1        | 0,5      | 10        | 16          | 18         | 2,5                 | 0,5               | Вертикальное       |
| 6        | 1        | 3        | 1        | 1,2      | 12        | 14          | 16         | 1,5                 | 1,5               | Вертикальное       |
| 7        | 0,5      | 3        | 0,5      | 1,2      | 18        | 12          | 14         | 1,5                 | 0,5               | Вертикальное       |
| 8        | 1        | 3        | 0,5      | 0,5      | 16        | 10          | 12         | 2,0                 | 1,5               | Вертикальное       |
| 9        | 0,5      | 2        | 0,5      | 1        | 14        | 18          | 16         | 1,0                 | 1,5               | Горизонтальное     |
| 10       | 0,5      | 3        | 0,5      | 0,5      | 12        | 10          | 16         | 2,0                 | 1,5               | Вертикальное       |
| 11       | 1        | 2        | 1        | 1,2      | 10        | 14          | 12         | 2,5                 | 2,0               | Вертикальное       |
| 12       | 0,5      | 2        | 0,5      | 0,5      | 16        | 12          | 14         | 1,5                 | 1,5               | Горизонтальное     |
| 13       | 1        | 3        | 1        | 1,2      | 18        | 10          | 16         | 2,5                 | 2,0               | Горизонтальное     |
| 14       | 1,5      | 3        | 1        | 0,5      | 12        | 16          | 18         | 1,5                 | 1,5               | Горизонтальное     |
| 15       | 1        | 3        | 0,5      | 1,2      | 12        | 18          | 16         | 2,5                 | 0,5               | Вертикальное       |
| 16       | 0,5      | 3        | 0,5      | 0,5      | 18        | 16          | 14         | 1,5                 | 2,5               | Вертикальное       |
| 17       | 1        | 2        | 1        | 1,2      | 10        | 14          | 12         | 1,5                 | 0,5               | Горизонтальное     |
| 18       | 1        | 3        | 1        | 0,5      | 14        | 18          | 10         | 2,0                 | 1,5               | Вертикальное       |
| 19       | 0,5      | 3        | 0,5      | 1,2      | 10        | 16          | 18         | 1,0                 | 2,5               | Вертикальное       |
| 20       | 1        | 3        | 0,5      | 0,5      | 18        | 14          | 16         | 2,0                 | 1,5               | Вертикальное       |
| 21       | 0,5      | 3        | 0,5      | 0,5      | 12        | 18          | 10         | 2,5                 | 0,5               | Вертикальное       |
| 22       | 1        | 2        | 1        | 1,2      | 18        | 20          | 12         | 1,5                 | 1,5               | Вертикальное       |
| 23       | 1        | 3        | 1        | 0,5      | 14        | 18          | 10         | 2,5                 | 2,0               | Вертикальное       |
| 24       | 0,5      | 3        | 0,5      | 1,2      | 16        | 12          | 18         | 2,0                 | 1,5               | Вертикальное       |
| 25       | 1        | 3        | 0,5      | 0,5      | 12        | 14          | 16         | 1,5                 | 2,5               | Вертикальное       |
| 26       | 0,5      | 2        | 0,5      | 1,2      | 16        | 12          | 14         | 2,0                 | 1,5               | Вертикальное       |
| 27       | 1        | 3        | 1        | 1,2      | 14        | 18          | 12         | 2,5                 | 2,0               | Горизонтальное     |
| 28       | 0,5      | 3        | 1        | 0,5      | 18        | 14          | 12         | 1,0                 | 0,5               | Горизонтальное     |
| 29       | 1        | 3        | 0,5      | 1,2      | 20        | 12          | 10         | 2,0                 | 1,5               | Вертикальное       |
| 30       | 0,5      | 3        | 0,5      | 0,5      | 16        | 14          | 18         | 2,5                 | 0,5               | Вертикальное       |
| 31       | 1        | 2        | 1        | 0,5      | 18        | 14          | 16         | 1,5                 | 1,5               | Вертикальное       |
| 32       | 1        | 3        | 1        | 1,2      | 16        | 12          | 14         | 2,5                 | 2,5               | Горизонтальное     |
| 33       | 0,5      | 3        | 0,5      | 1,2      | 14        | 10          | 12         | 2,0                 | 1,5               | Горизонтальное     |
| 34       | 1        | 3        | 0,5      | 0,5      | 12        | 18          | 10         | 1,5                 | 1,5               | Вертикальное       |
| 35       | 0,5      | 2        | 0,5      | 1        | 10        | 16          | 18         | 2,5                 | 2,0               | Горизонтальное     |



**2.2. Задача № 1. Расчетные схемы статически определимых стальных балок на двух шарнирных опорах**

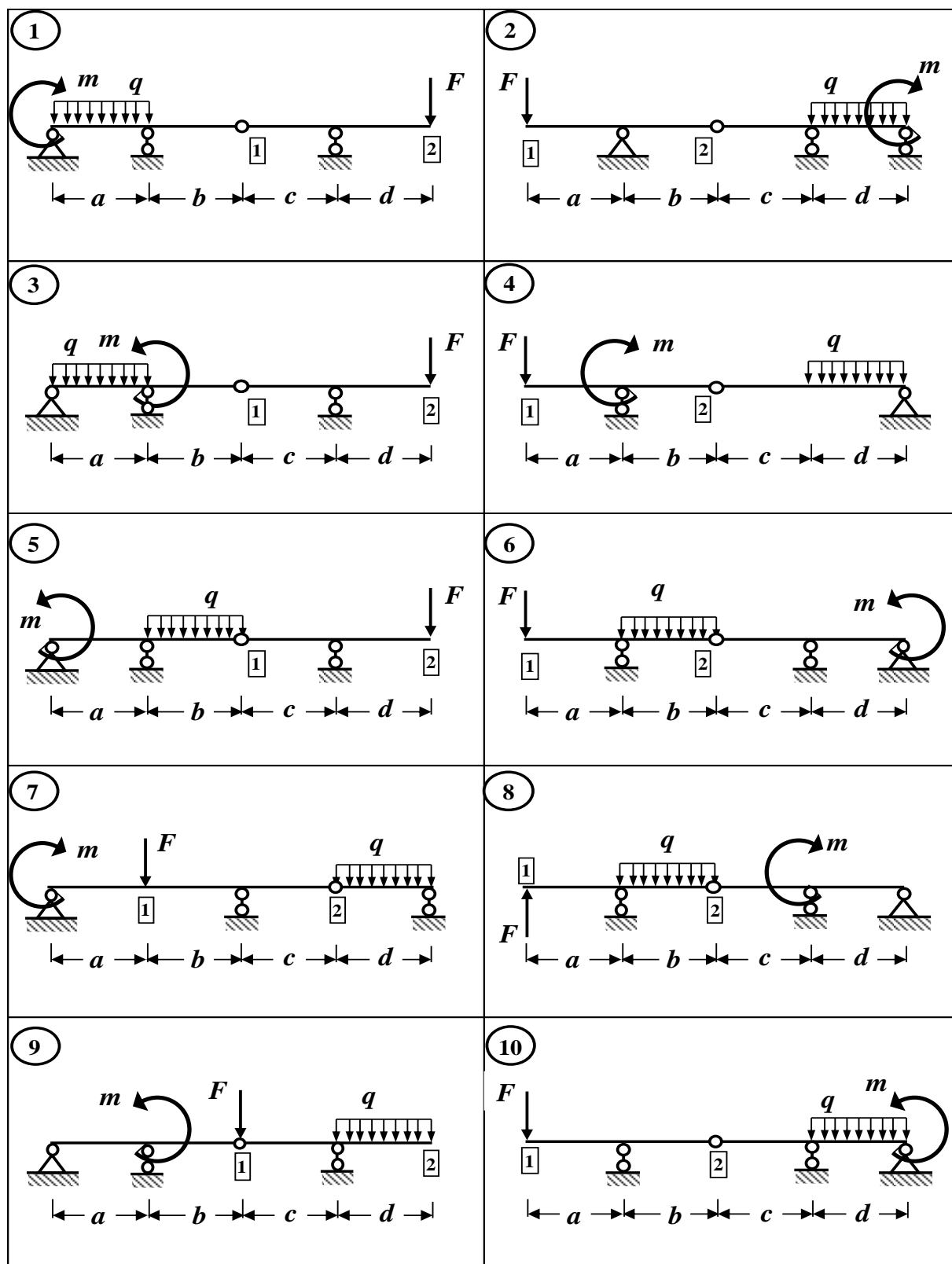
Таблица 2

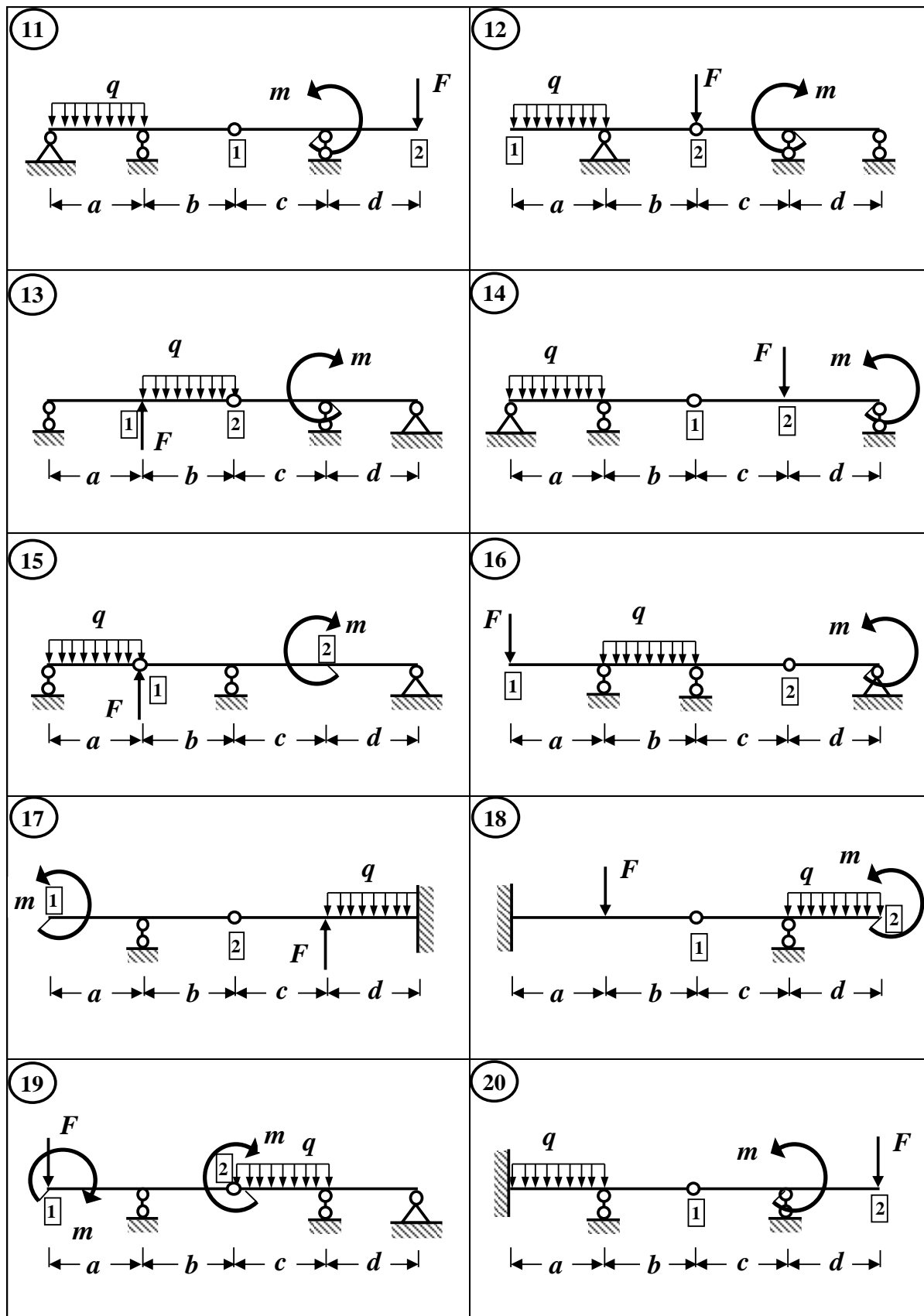
|  |  |
|--|--|
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |

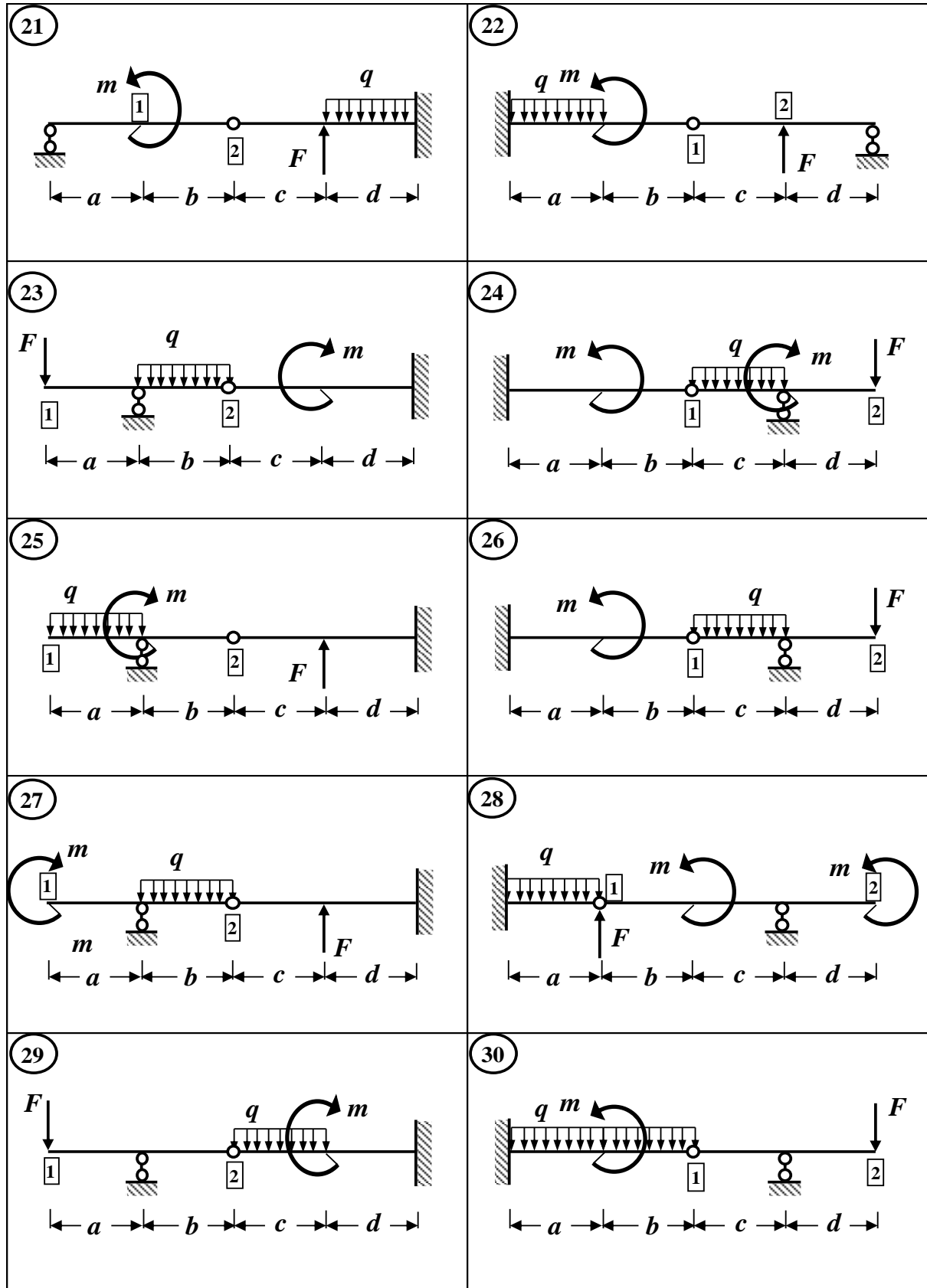
|           |           |
|-----------|-----------|
| <p>17</p> | <p>18</p> |
| <p>19</p> | <p>20</p> |
| <p>21</p> | <p>22</p> |
| <p>23</p> | <p>24</p> |
| <p>25</p> | <p>26</p> |
| <p>27</p> | <p>28</p> |
| <p>29</p> | <p>30</p> |
| <p>31</p> | <p>32</p> |

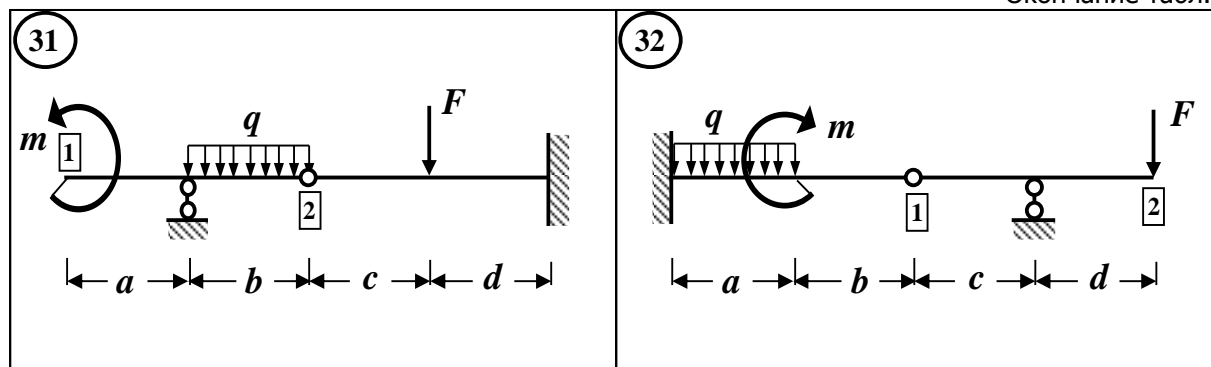
### 2.3. Задача № 2. Расчетные схемы статически определимых балок с промежуточным шарниром

Таблица 3





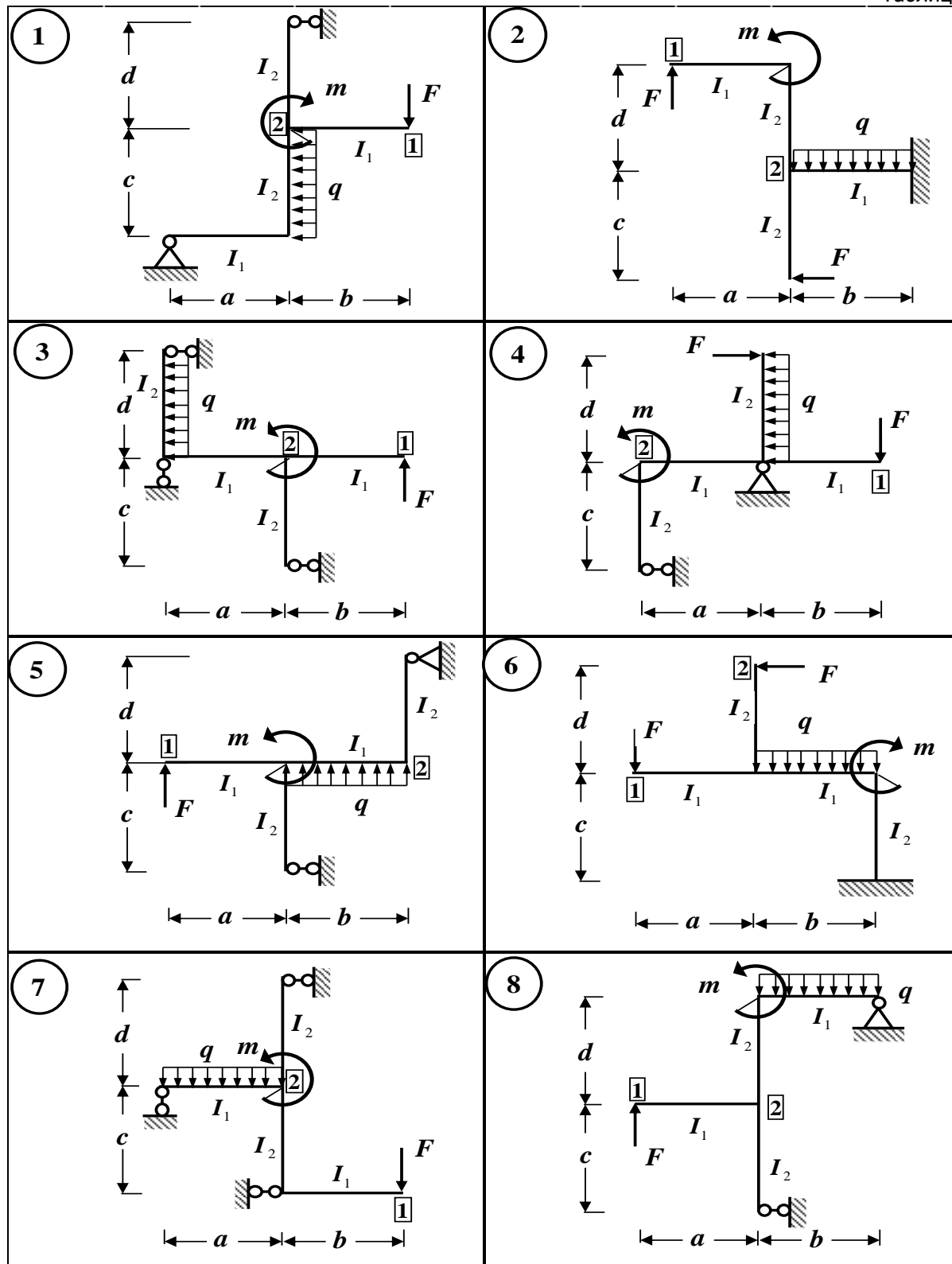


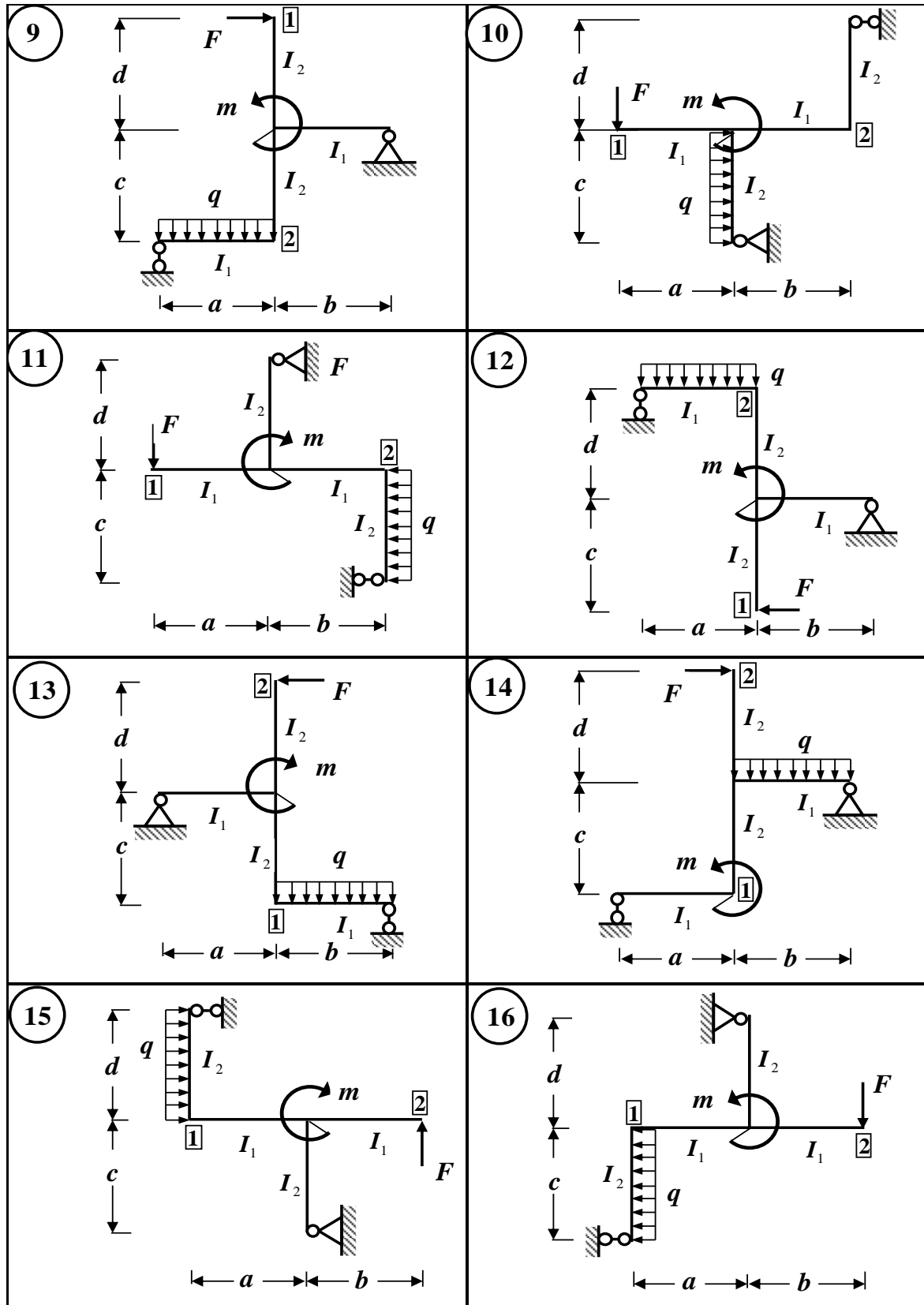


**Замечание.** Если сечение, в котором определяется угол поворота, совпадает с шарниром, тогда необходимо определить взаимный угол поворота примыкающих к шарниру сечений.

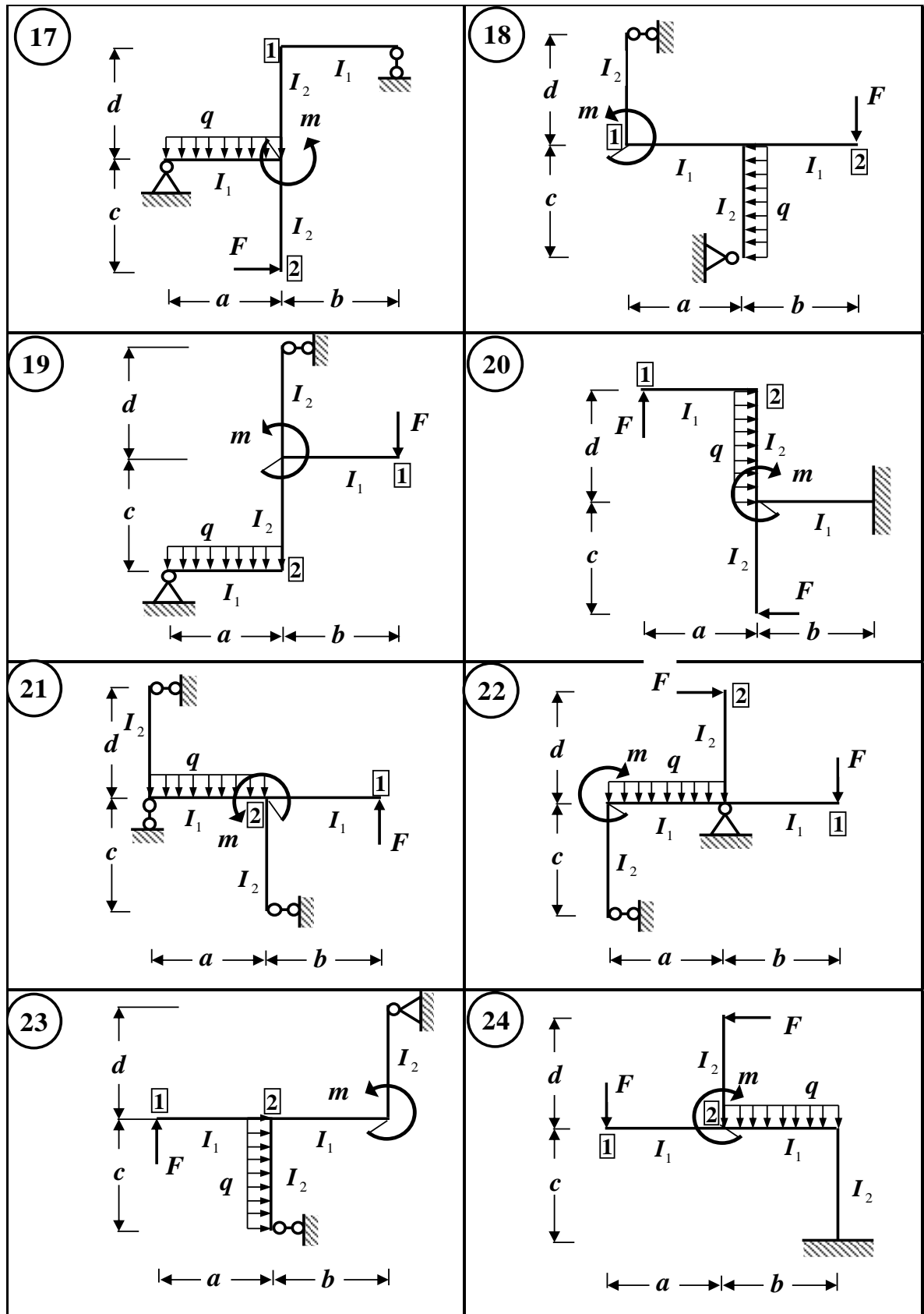
**2.4. Задача № 3. Расчетные схемы статически определимых плоских рам**

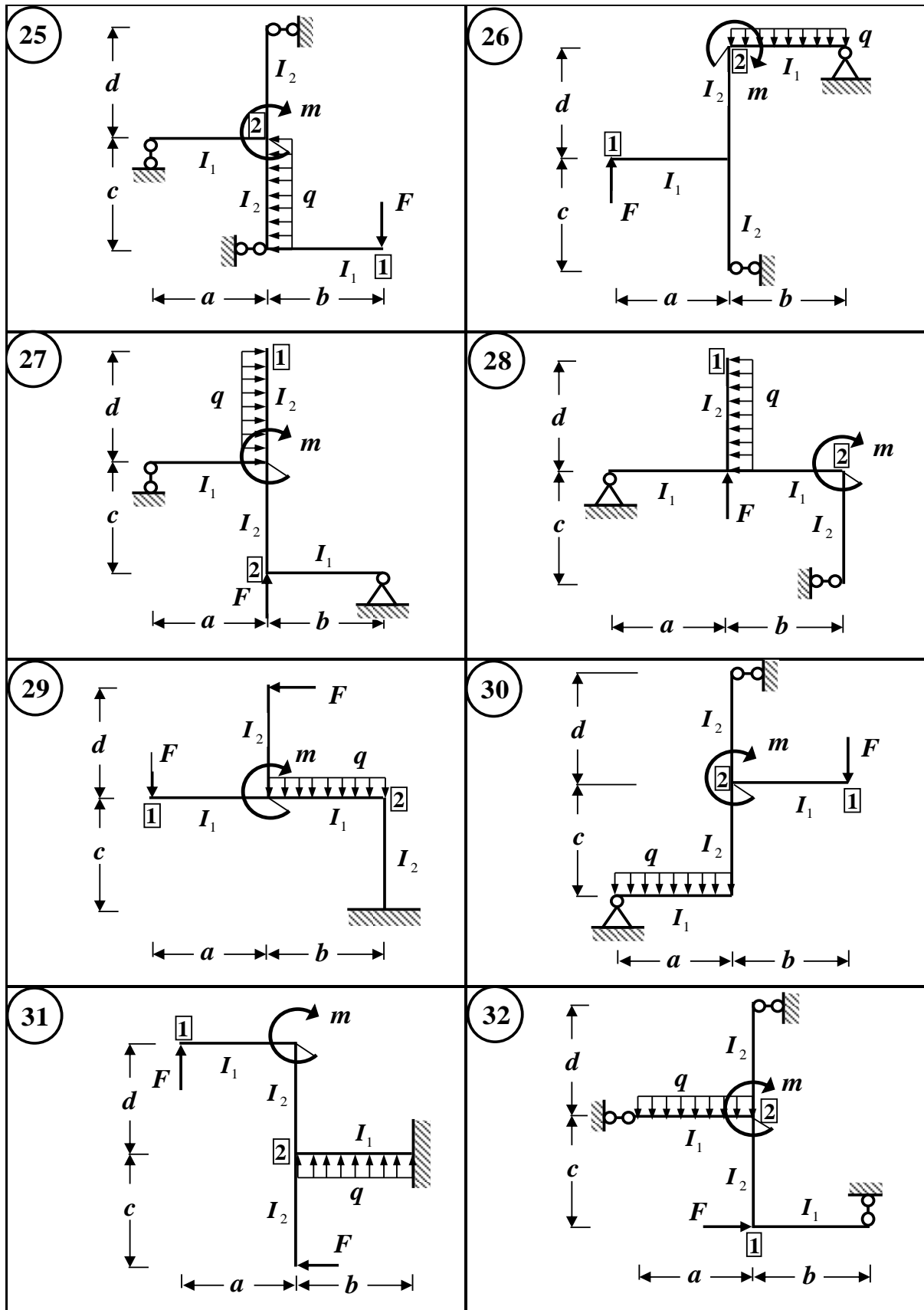
Таблица 4





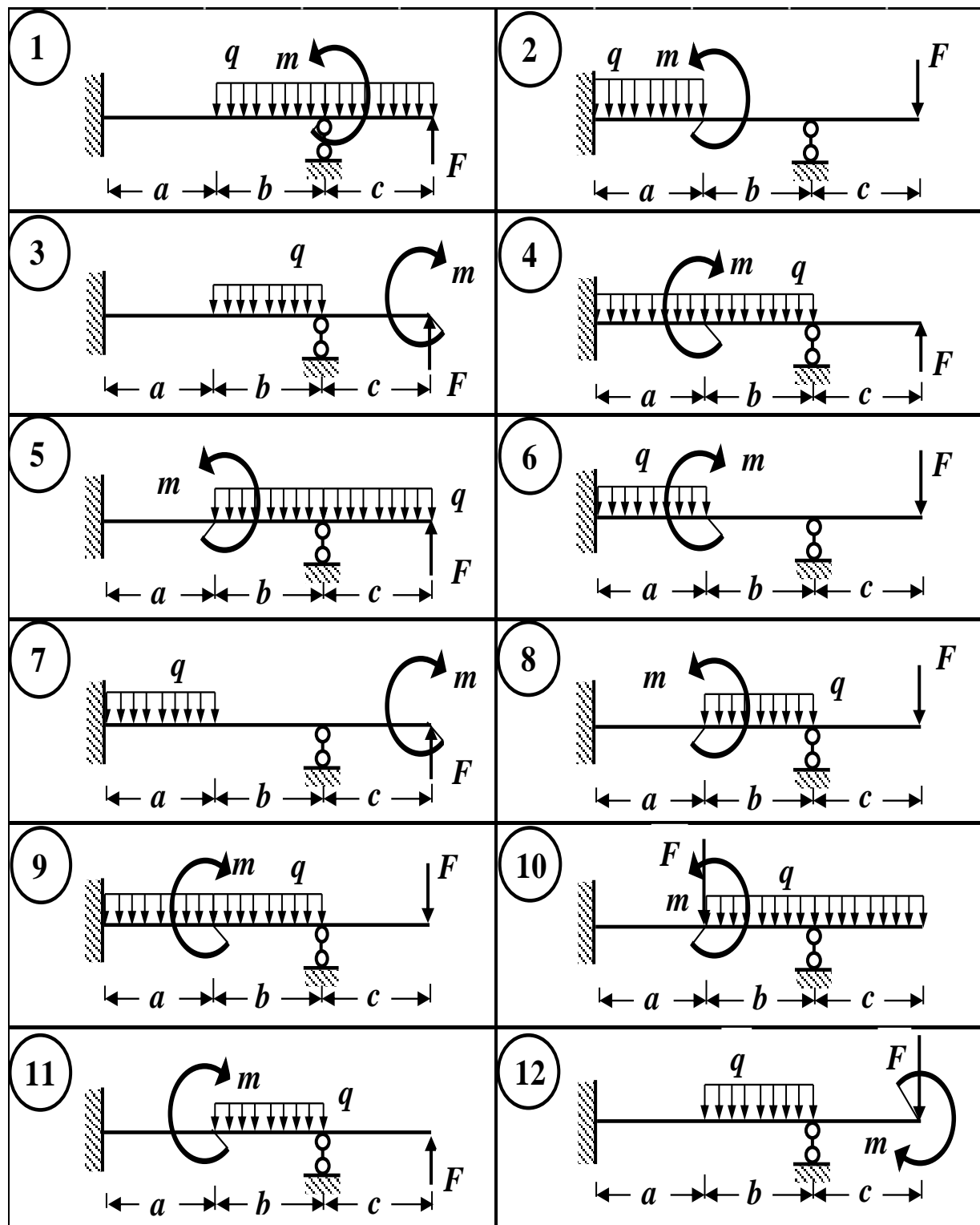


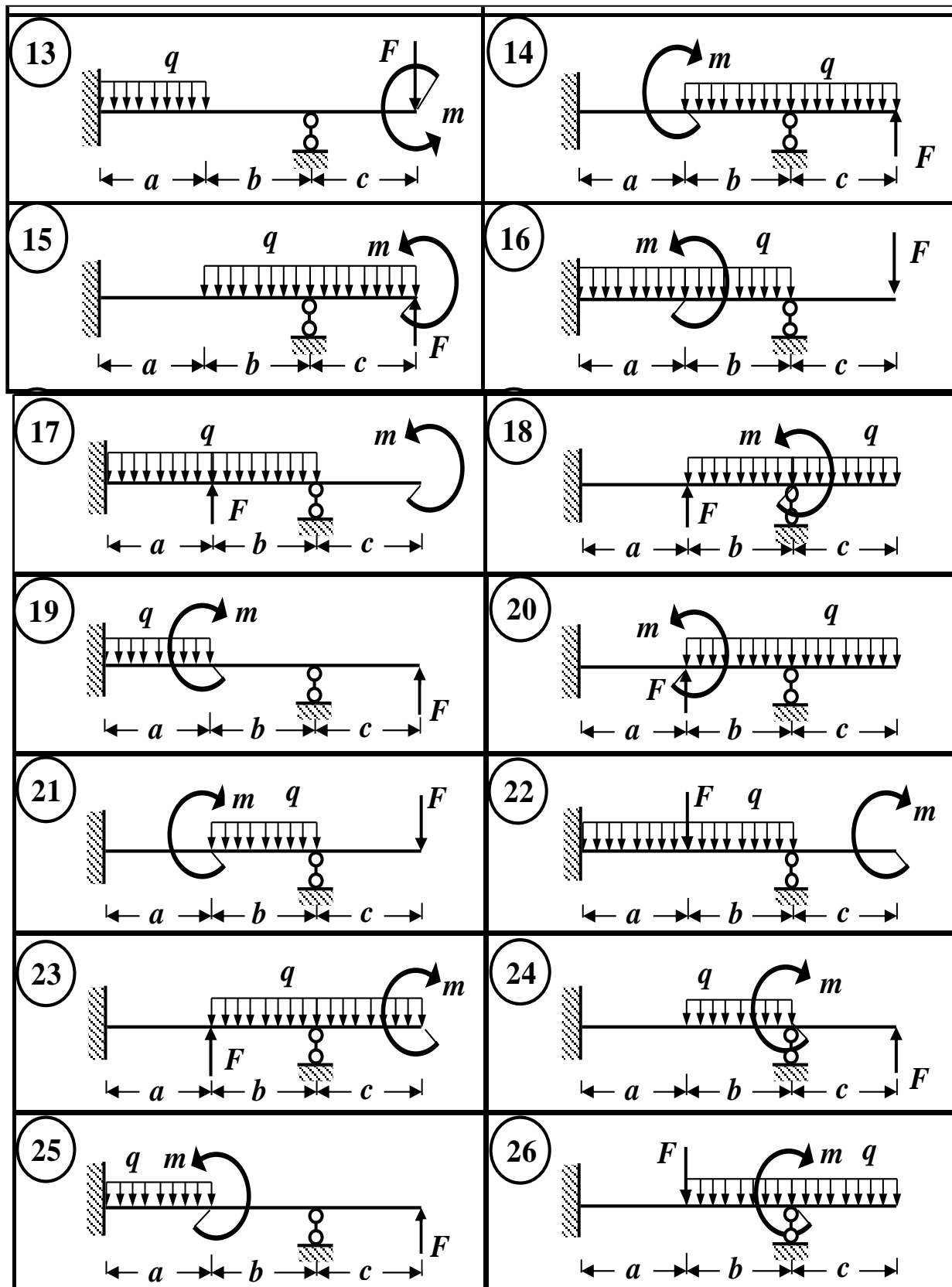


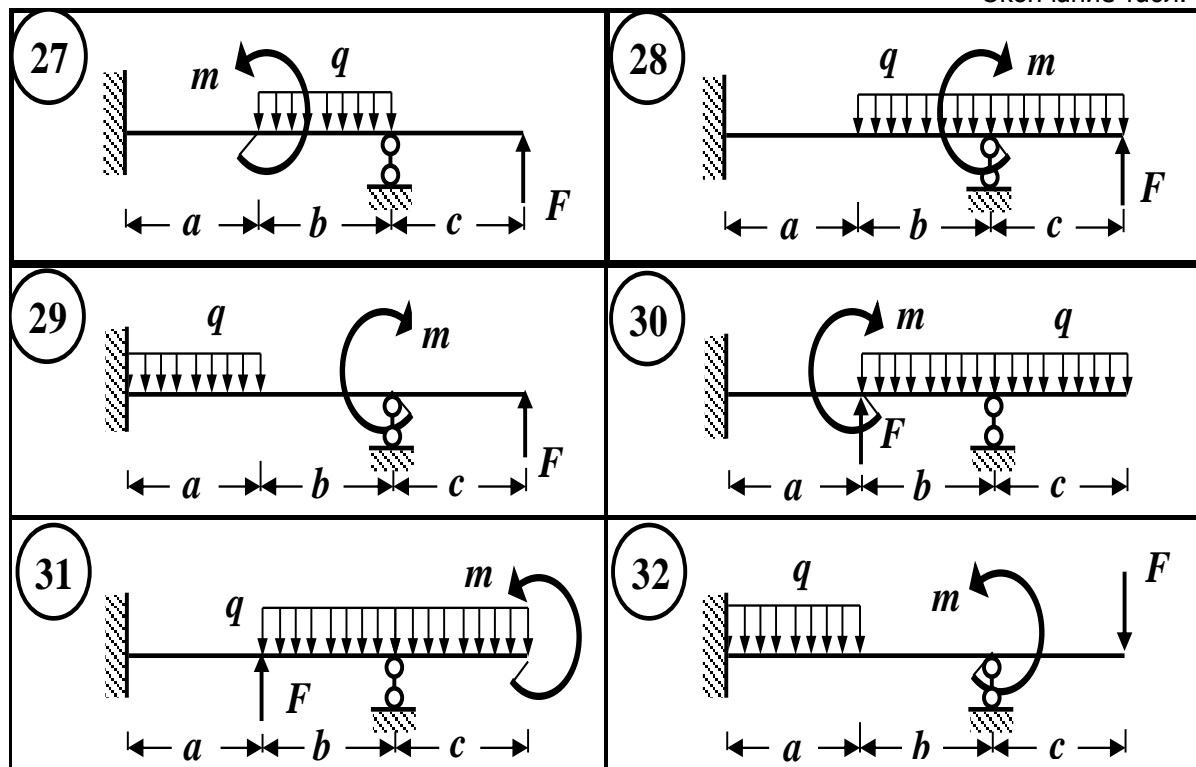


**2.5. Задача № 4. Расчетные схемы статически неопределимых деревянных балок**

Таблица 5







## 2.6. Контрольные вопросы к расчетно-графической работе на тему «Расчет балок и рам на жесткость»

1. Какой вид деформации называется чистым изгибом?
2. Какой вид деформации называется плоским поперечным изгибом?
3. Назовите гипотезы, которые принимаются для вывода формул нормальных напряжений при чистом плоском изгибе.
4. Как определяется опасное сечение по нормальным напряжениям?
5. Какая формула для определения нормальных напряжений в произвольной точке поперечного сечения.
6. Как определяются опасные точки поперечного сечения по нормальным напряжениям?
7. Какие гипотезы используются при выводе формулы касательных напряжений при изгибе?
8. Напишите формулу Д.И. Журавского для определения касательных напряжений при изгибе.
9. Какой вид имеют эпюры касательных напряжений в поперечных сечениях балки прямоугольной формы?
10. Напишите условие прочности по нормальным напряжениям по методу допускаемых напряжений при плоском изгибе.
11. Напишите условие прочности по касательным напряжениям по методу допускаемых напряжений при плоском изгибе.
12. Какие перемещения получают поперечные сечения балок при плоском изгибе?
13. Что называется упругой линией (изогнутой осью) балки?
14. Что называется прогибом балки?
15. Что называется углом поворота поперечного сечения балки?
16. Запишите дифференциальную зависимость между прогибом и углом поворота сечений балки.
17. Напишите приближенное дифференциальное уравнение изогнутой оси балки.
18. Что называется жесткостью балки?
19. Напишите общий вид универсального уравнения для вычисления прогибов по методу начальных параметров.
20. Напишите общий вид универсального уравнения для вычисления углов поворота сечений по методу начальных параметров.
21. Из каких условий определяются неизвестные начальные параметры балки?
22. Назовите основные правила контроля правильности построенных эпюр  $\varphi$  и  $w$ .
23. Дайте определение статически неопределимой системы?
24. Как устанавливается степень статической неопределимости балки?
25. План расчета статически неопределимой системы?
26. Какие основные преимущества статически неопределимых балок перед статически определимыми?

### РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Тимофеев С.И. Сопротивление материалов. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2014.
2. Александров А.В., Потапов В.Д. Сопротивление материалов. – М.: Высшая школа, 2011.
3. Варданян Г.С., Атаров Н.М. Сопротивление материалов: С основами строительной механики. – М.: ИНФРА-М, 2011.
4. Степин П.А. Сопротивление материалов. – СПб.: Лань, 2010.
5. Дарков А.В., Шапошников Н.Н. Строительная механика. – СПб.: Лань, 2005.
6. Копнов В.А., Кривошапка С.Н. Сопротивление материалов: Руководство для решения задач и выполнения лабораторных и расчетно-графических работ. – М.: Высшая школа, 2003.

**ПРИЛОЖЕНИЕ**

*Образец оформления  
титального листа расчетно-графической работы*

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Кафедра «Сопротивление материалов»**

**РАСЧЕТНО – ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА  
по сопротивлению материалов на тему  
«РАСЧЕТ БАЛОК И ПЛОСКИХ РАМ НА ЖЕСТКОСТЬ»**

**Вариант № \_\_\_\_\_**

**Выполнил студент группы \_\_\_\_\_**

\_\_\_\_\_  
(Ф.И.О.)

**Принял \_\_\_\_\_**

\_\_\_\_\_  
(Ф.И.О.)

**Ростов-на-Дону**

**2019 год**