

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИИ
ФГБОУ ВПО ТУЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

В. Д. Бертяев, В. И. Латышев, С. С. Маркелов

Курсовая работа по статике

РАСЧЕТ ПЛОСКИХ И ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КОНСТРУЦИЙ

Учебное пособие

Издательство ТулГУ
Тула 2011

УДК 534.1 + 538.56

Курсовая работа по статике «Расчет плоских и пространственных конструкций»: Учеб. пособие / В. Д. Бертяев, В. И. Латышев, С. С. Маркелов, Тула: Изд-во ТулГУ, 2011.— 79 с.

ISBN 978–5 –7679–1237–7

В пособии приводится описание курсовой работы по теоретической механике (раздел «Статика»), посвященной исследованию равновесия твердых тел на примере плоских шарнирных ферм, плоских составных конструкций и пространственных систем (валов, плит и др.) с использованием аналитических и графических методов. Особое внимание уделено проведению расчетов на ЭВМ в среде Mathcad. Пособие содержит также сборник многовариантных заданий.

Предназначается в качестве учебного пособия для студентов очной, вечерней и заочной форм обучения.

Печатается по решению библиотечно–издательского совета Тульского государственного университета

ISBN 978–5—7679–1237–7

© В. Д. Бертяев, В. И. Латышев,
С. С. Маркелов, 2011
© Издательство ТулГУ, 2011

ОГЛАВЛЕНИЕ

Цель работы	4
СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ	4
<i>Часть 1. Расчёт плоской шарнирной фермы</i>	<i>4</i>
<i>Часть 2. Расчёт плоских составных конструкций.....</i>	<i>4</i>
<i>Часть 3. Расчет пространственной конструкции.....</i>	<i>5</i>
ЧАСТЬ 1. РАСЧЕТ ПЛОСКОЙ ШАРНИРНОЙ ФЕРМЫ	5
1.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПОРНЫХ РЕАКЦИЙ ФЕРМЫ	6
<i>Определение опорных реакций аналитическим способом</i>	<i>6</i>
<i>Определение опорных реакций графическим способом</i>	<i>8</i>
1.2. РАСЧЕТ УСИЛИЙ В СТЕРЖНЯХ ФЕРМЫ	8
1.2.1. <i>Определение усилий в стержнях фермы аналитическим методом вырезания узлов</i>	<i>8</i>
1.2.2. <i>Определение усилий в стержнях фермы графическим методом вырезания узлов</i>	<i>11</i>
1.2.3. <i>Определение усилий в стержнях фермы построением диаграммы Максвелла – Кремоны</i>	<i>15</i>
1.2.4. <i>Определение усилий в стержнях фермы методом Риттера.....</i>	<i>18</i>
ЧАСТЬ 2. РАСЧЕТ ПЛОСКИХ СОСТАВНЫХ КОНСТРУКЦИЙ	21
2.1. ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПЕРВОГО ТИПА	25
2.2. ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ВТОРОГО ТИПА	28
ЧАСТЬ 3. РАСЧЕТ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ КОНСТРУКЦИИ	32
МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ.....	40
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. ОФОРМЛЕНИЕ И ЗАЩИТА КУРСОВОЙ РАБОТЫ	41
1. ОФОРМЛЕНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ	41
2. ЗАЩИТА КУРСОВОЙ РАБОТЫ	42
3. ОБРАЗЕЦ ТИТУЛЬНОГО ЛИСТА КУРСОВОЙ РАБОТЫ	44
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ В СТЕРЖНЯХ ФЕРМЫ И РЕАКЦИЙ ЕЕ ОПОР АНАЛИТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ ВЫРЕЗАНИЯ УЗЛОВ С ПРОВЕДЕНИЕМ РАСЧЕТА В СРЕДЕ МАТНСАД	45
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. АЛЬБОМ ЗАДАНИЙ ПО СТАТИКЕ.....	52
<i>Определяемые реакции.....</i>	<i>72</i>

Цель работы

Курсовая работа по статике имеет целью выработку навыков исследования равновесия твердых тел и их систем на примере таких технически важных конструкций, как плоские шарнирные фермы, балки, валы, плиты и пластинки. В процессе выполнения работы студент использует аналитические условия равновесия различных систем сил для определения реакций опор и усилий в элементах конструкций, а также знакомится с графическими методами статики. Часть расчетов проводится на ЭВМ (по решению преподавателя).

Содержание курсовой работы

Часть 1. Расчёт плоской шарнирной фермы

Для заданной фермы определить:

1. Опорные реакции:

- Аналитически.
- Графически (построением силового и веревочного многоугольников).

2. Усилия в стержнях:

- Методом вырезания узлов (графически и аналитически).
- Способом сечений (методом Риттера).
- Построением диаграммы Максвелла-Кремоны.

Схемы ферм и таблицы исходных данных приведены в приложении 3.

Часть 2. Расчёт плоских составных конструкций

Вторая часть курсовой работы включает в себя:

- Расчет четырех конструкций.
- Контрольную работу в дисплейном классе с использованием АОС «Составные конструкции».

Схемы конструкций с таблицами исходных данных приведены в приложении 3. Там же приведено задание на расчет, которое определяется с помощью таблицы искомых реакций.

Требуется определить:

- В двух конструкциях – реакции всех связей.
- В двух других – часть реакций, формируя для этого минимально необходимое число уравнений равновесия.

Часть 3. Расчет пространственной конструкции

Требуется:

Составить уравнения для определения реакций опор A и B и стержня OE .

Решить полученную систему уравнений равновесия на ЭВМ. Схемы конструкций и таблицы исходных данных приведены в приложении 3. Стержни и тросы считать невесомыми. Трением пренебречь. Решение системы уравнений равновесия проводится в дисплейном классе с помощью пакета Mathcad. Допускается использование других прикладных программ.

Примечание

Варианты курсовой работы, а также ее объем по отдельным пунктам задания, определяет преподаватель.

ЧАСТЬ 1. РАСЧЕТ ПЛОСКОЙ ШАРНИРНОЙ ФЕРМЫ

Сведения о ферме как стержневой конструкции, основных допущениях и предположениях, применяемых при ее расчете, а также методах расчета, можно найти в следующих источниках: [3, гл. 1, § 5], [4, §§ 5.2, 5.8], [5, гл. V, V1].

Расчет фермы, состоящий из определения опорных реакций и усилий в стержнях, рекомендуется проводить в следующем порядке:

- убедиться в том, что выполняется условие статической определимости и геометрической неизменяемости фермы: $k = 2n - 3$, где k – число стержней, n – число узлов;
- определить опорные реакции фермы;
- найти усилия в стержнях фермы аналитическим методом вырезания узлов;
- определить усилия в стержнях фермы графическим методом вырезания узлов;
- построить диаграмму Максвелла - Кремоны;
- определить усилия в указанных стержнях методом Риттера.

ПРИМЕР

Определить усилия в стержнях 1 – 6 фермы (рис. 1) методом вырезания узлов, а в стержнях 6 – 8 – способом Риттера, если $P_1 = 10 \text{ кН}$, $P_2 = 20 \text{ кН}$, $P_3 = 20 \text{ кН}$, $P_4 = 40 \text{ кН}$, $P_5 = 30 \text{ кН}$, $\alpha = 60^\circ$, $a = b = 2 \text{ м}$. Построить диаграмму Максвелла - Кремоны.

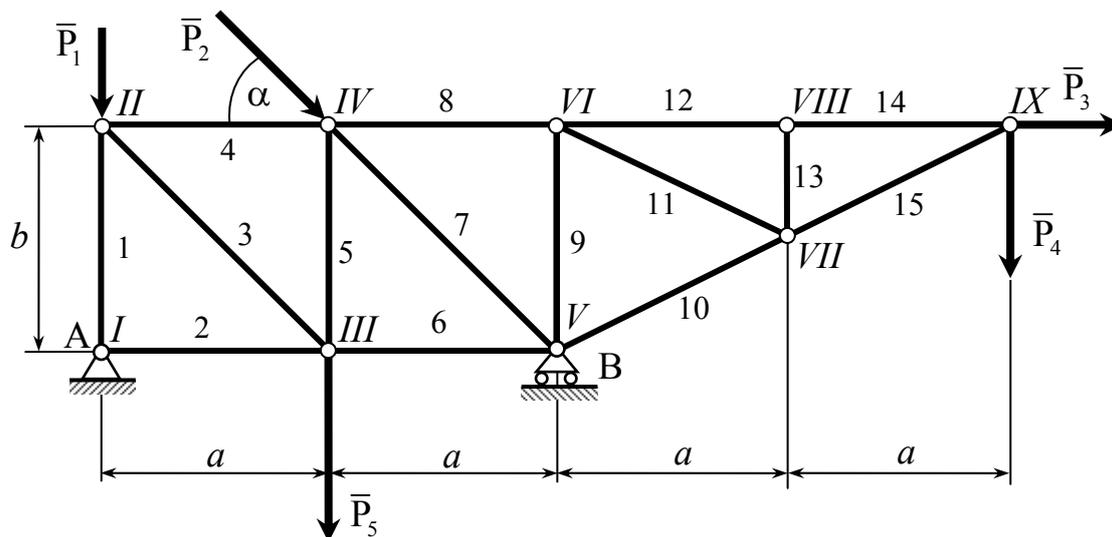


Рис. 1

Приступая к расчету фермы, следует пронумеровать ее стержни арабскими цифрами, а узлы – римскими.

1.1. Определение опорных реакций фермы

Реакции опор фермы можно определить графически и аналитически.

Определение опорных реакций аналитическим способом

Освободим ферму от опор, заменив их действие силами реакций связей $\bar{X}_A, \bar{Y}_A, \bar{Y}_B$. Расчетная схема изображена на рис. 2. На ферму действуют активные силы $\bar{P}_i (i = \overline{1, 5})$ и реакции опор. Реакция \bar{R}_A неподвижной шарнирной опоры А неизвестна ни по модулю, ни по направлению, поэтому ее разложим на две взаимно перпендикулярные составляющие силы \bar{X}_A и \bar{Y}_A , т. е. $\bar{R}_A = \bar{X}_A + \bar{Y}_A$, направив их как указано на расчетной схеме. Подвижная шарнирная опора В препятствует перемещению в направлении,

перпендикулярном опорной плоскости (если полагать опорную плоскость гладкой), поэтому ее реакцию \bar{Y}_B направим также перпендикулярно опорной плоскости вертикально вверх. Таким образом, ферма находится в равновесии под действием произвольной плоской системы сил.

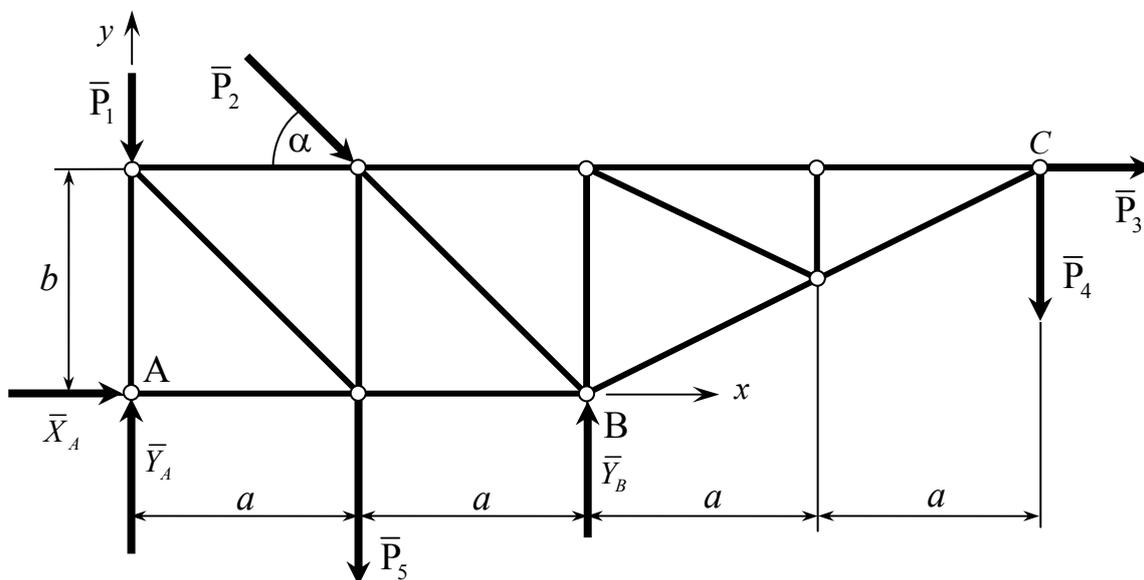


Рис. 2.

Выбрав систему координат, составим уравнения равновесия сил, приложенных к ферме:

$$\sum F_{ix} = 0; \quad X_A + P_2 \cos \alpha + P_3 = 0; \quad (1)$$

$$\sum F_{iy} = 0; \quad Y_A + Y_B - P_1 - P_2 \sin \alpha - P_4 - P_5 = 0; \quad (2)$$

$$\sum M_A(\vec{F}_i) = 0; \quad Y_B 2a - P_2(a \sin \alpha + b \cos \alpha) - P_3 b - P_4 4a - P_5 a = 0. \quad (3)$$

Из уравнения (1)

$$X_A = -P_2 \cos \alpha - P_3 = -20 \cdot 0,5 - 20 = -30 \text{ кН.}$$

Из уравнения (3)

$$Y_B = \frac{1}{2a} [P_2(a \sin \alpha + b \cos \alpha) + P_3 b + P_4 4a + P_5 a] =$$

$$= \frac{1}{4} [2 \cdot 20 \cdot (0,5 + 0,87) + 20 \cdot 2 + 40 \cdot 4 \cdot 2 + 30 \cdot 2] = 118,66 \text{ кН.}$$

Из уравнения (2)

$$\begin{aligned}
 Y_A &= -Y_B + P_1 + P_2 \sin \alpha + P_4 + P_5 = \\
 &= -118,66 + 10 + 20 \cdot 0,87 + 40 + 30 = -21,34 \text{ кН}.
 \end{aligned}$$

Таким образом,

$$X_A = -30 \text{ кН}; \quad Y_A = -21,34 \text{ кН}; \quad Y_B = 118,66 \text{ кН}.$$

Заметим, что направления реакций \bar{X}_A и \bar{Y}_A противоположны направлениям этих сил, выбранным при расчете.

Определение опорных реакций графическим способом

Данный способ определения опорных реакций основан на графическом условии равновесия: для равновесия произвольной плоской системы сил необходимо и достаточно, чтобы силовой и веревочный многоугольники, построенные для этих сил, были замкнутыми.

Последовательность действий при определении опорных реакций графическим способом подробно описана в [4, § 33], поэтому здесь на этом не останавливаемся.

► Замечание.

Определение реакций опор является очень ответственным этапом расчета фермы. Графическое определение опорных реакций позволяет проконтролировать расчеты аналитического метода. Если определение реакций опор проводится только аналитическим способом, то проверить вычисления можно составлением уравнения моментов относительно какой-либо точки плоскости действия сил (в рассматриваемом случае, например, точки С). ◀

1.2. Расчет усилий в стержнях фермы

1.2.1. Определение усилий в стержнях фермы аналитическим методом вырезания узлов

Расчет рекомендуется проводить в следующем порядке:

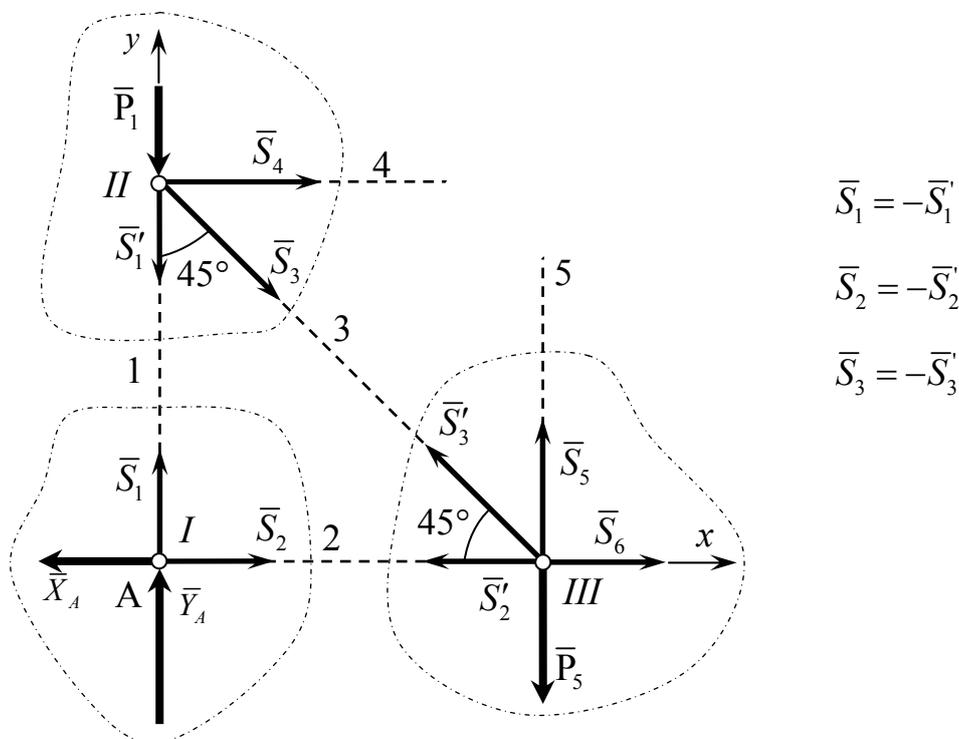
- наметить последовательность узлов, которые необходимо вырезать для определения усилий в указанных стержнях при условии, что число неизвестных усилий при переходе к новому узлу не должно превышать двух (первым должен быть рассмотрен узел, содержащий не более двух стержней);
- освободить выбранные узлы от связей, заменить действие стержней их реакциями, направляя последние от узлов в предположении, что стержни растя-

нуты, и учитывая, что $\bar{S}_j = -\bar{S}'_j$, где \bar{S}_j и \bar{S}'_j – реакции стержня с номером j на узлы, которые он соединяет;

- составить уравнения равновесия сходящихся сил, действующих на каждый вырезанный узел;
- решив полученную систему уравнений, найти усилия в стержнях: если реакция какого-нибудь стержня отрицательная, то этот стержень сжат;
- полученные результаты поместить в таблицу.

Обратимся к нашему примеру. Для определения усилий в стержнях 1-6 вырежем узлы I, II, III (см. рис. 3) и рассмотрим равновесие сил, приложенных к каждому из них.

Расчетные схемы изображены на рис. 3.



$$\begin{aligned} \bar{S}_1 &= -\bar{S}'_1 \\ \bar{S}_2 &= -\bar{S}'_2 \\ \bar{S}_3 &= -\bar{S}'_3 \end{aligned}$$

Рис. 3.

Система уравнений равновесия имеет вид:

$$\begin{aligned} \text{Узел I:} \quad \sum F_{ix} &= 0; & S_2 - X_A &= 0; \\ \sum F_{iy} &= 0; & S_1 - Y_A &= 0. \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \text{Узел II:} \quad \sum F_{ix} &= 0; & S_3 \cos 45^\circ - S_4 &= 0; \\ \sum F_{iy} &= 0; & -S_3 \cos 45^\circ - S'_1 - P_1 &= 0. \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \text{Узел III:} \quad \sum F_{ix} = 0; \quad S_6 - S_2' - S_3' \cos 45^\circ = 0; \\ \sum F_{iy} = 0; \quad S_5 + S_3' \cos 45^\circ - P_5 = 0. \end{aligned} \quad (6)$$

Решим систему уравнений (4) – (6).

Из уравнений (4)

$$S_2 = X_A = 30 \text{ кН}, \quad S_1 = Y_A = 21,34 \text{ кН}.$$

Из уравнений (5)

$$\begin{aligned} S_3 &= -\frac{S_1' + P_1}{\cos 45^\circ} = -\frac{21,34 + 10}{0,707} = -44,32 \text{ кН}, \\ S_4 &= -S_3 \cos 45^\circ = -(-44,32) \cdot 0,707 = 31,34 \text{ кН}. \end{aligned}$$

Из уравнений (6)

$$\begin{aligned} S_6 &= S_2' + S_3' \cos 45^\circ = 30 - 31,34 = -1,34 \text{ кН}, \\ S_5 &= P_5 - S_3' \cos 45^\circ = 30 - (-31,34) = 61,34 \text{ кН}. \end{aligned}$$

Из результатов расчетов следует, что реакции стержней 3 и 6 имеют направления, противоположные принятым на расчетной схеме. Следовательно, эти стержни сжаты. Результаты расчета поместим в таблицу.

№ стержня	1	2	3	4	5	6
Усилие, кН	21,34	30	- 44,32	31,34	61,34	- 1,34

Примечание.

Усилие считается положительным, если стержень растянут, и отрицательным, если он сжат.

► Замечания

1. В примере определены усилия только в шести стержнях. Усилия в других стержнях можно также определить, следуя изложенным выше рекомендациям. Укажем возможную последовательность вырезания узлов: I → II → III → IV → V → VI → VII (или VIII, а затем VII) → IX. Рассмотрение равновесия узла IX является проверочным действием: к этому моменту усилия во всех стержнях фермы будут найдены и, чтобы убедиться в правильности расчета, нужно составить условия равновесия сил, приложенных к этому узлу (активных сил \vec{P}_4, \vec{P}_5 и реакций стержней 14 и 15) – $\sum F_{ix} = 0, \sum F_{iy} = 0$. Если опорные реакции и усилия в стержнях фермы

определены правильно, то эти условия обратятся в тождества.

2. Вырезание узлов рассматриваемой фермы можно провести, например, и в такой последовательности: IX → VIII → VII → VI → V → IV → III → I (или II, а затем I).

3. Описанный алгоритм расчета ориентирован на решение уравнений равновесия вручную. При использовании вычислительной техники для решения уравнений равновесия последовательность действий можно изменить: в этом случае отпадает необходимость предварительного определения реакций опор фермы. Действительно, статически определенная и геометрически неизменяемая ферма содержит $2n - 3$ стержня, где n – число узлов; так как три уравнения необходимы для определения реакций опор, то для определения всех неизвестных сил (реакций опор и реакций стержней) нужно $2n$ уравнений. Рассмотрев равновесие всех узлов фермы, получим эти уравнения, так как для каждого узла можно составить по два уравнения. Уравнения (1)-(3) в данном случае послужат для проверки расчета: при подстановке в них найденных значений реакций опор они должны обратиться в тождества. Решение уравнений равновесия и контроль расчета в этом случае можно провести в среде Mathcad, используя для решения системы линейных уравнений метод обратной матрицы или встроенную функцию `lsolve(A, B)` (см. Приложение 2).

4. При оформлении курсовой работы расчетные схемы для вырезаемых узлов и соответствующие им уравнения равновесия следует располагать на одной странице. ◀

1.2.2 Определение усилий в стержнях фермы графическим методом вырезания узлов

Известно, что для равновесия системы сходящихся сил необходимо и достаточно, чтобы силовой многоугольник, построенный из этих сил, был замкнутым. Это условие лежит в основе графического метода вырезания узлов. Рекомендуется следующая последовательность действий:

1) вычертить в масштабе ферму и изобразить (также в масштабе) все приложенные к ней заданные силы и ранее определенные реакции опор;

2) наметить последовательность узлов, которые необходимо вырезать для определения усилий в указанных стержнях (количество узлов для расчета определяет преподаватель); последовательность вырезания узлов при определении усилий во всех стержнях фермы указана выше (с. 10);

3) вырезать узел, в котором сходятся два стержня, и рассмотреть его рав-

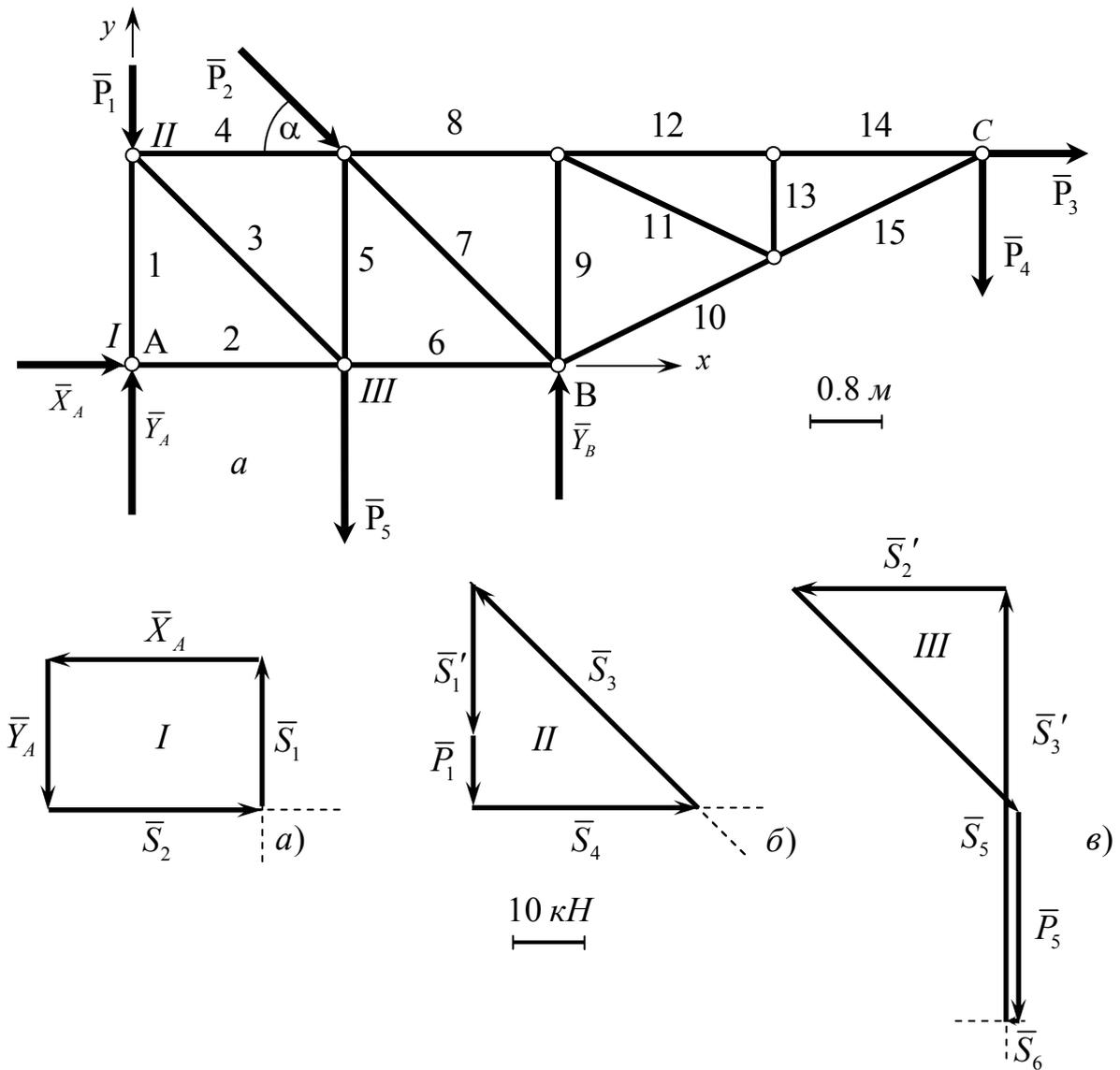
новесие под действием заданных сил и реакций стержней; определить эти реакции построением в масштабе замкнутого многоугольника сил, приложенных к узлу;

4) рассмотреть, переходя от узла к узлу, равновесие остальных узлов в намеченной последовательности: при этом в узле должно быть только две неизвестные реакции стержней; построив для каждого узла замкнутый силовой многоугольник, определить все искомые усилия в стержнях;

5) результаты построений внести в таблицу и сравнить их с аналитическим методом, предварительно определив характер работы стержней (сжатие или растяжение).

Обратимся к нашему примеру. На рис. 4 изображена в масштабе ферма и показаны все активные силы и реакции опор. Для определения усилий в стержнях 1-6 необходимо вырезать узлы I, II, III.

Вырежем узел I, содержащий два стержня. Из четырех сил, действующих на узел I, известны две: \bar{X}_A и \bar{Y}_A . Кроме того, известны линии действия реакций стержней 1 и 2. Модули и направления реакций \bar{S}_1 и \bar{S}_2 определим, построив замкнутый силовой многоугольник для узла I. Для этого изобразим в масштабе силу \bar{X}_A , из ее конца — \bar{Y}_A . Из начала \bar{X}_A проведем прямую, параллельную линии действия реакции \bar{S}_1 (первому стержню), а из конца \bar{Y}_A — прямую, параллельную линии действия реакции \bar{S}_2 (второму стержню). Точка пересечения этих прямых будет неизвестной вершиной силового многоугольника. Построение заканчивается расстановкой стрелок (рис. 4, а). Измеряя длину векторов \bar{S}_1 и \bar{S}_2 , с учетом масштаба сил найдем усилия в стержнях 1 и 2. Для определения характера работы стержней мысленно перенесем реакции \bar{S}_1 и \bar{S}_2 в узел I: так как они направлены от узла, то стержни 1 и 2 растянуты. Если реакция стержня направлена к узлу, то стержень сжат.



№ стержня	1	2	3	4	5	6
Усилие, кН	21,4	30	-45	31,4	61,8	-1,4

Рис. 4

Аналогично строятся силовые многоугольники для других узлов (рис. 4, б, в). Еще раз обращаем внимание, что при построении силовых многоугольников для узлов I и II следует иметь в виду, что реакции стержней на узлы, которые они соединяют, удовлетворяют векторным равенствам $\bar{S}_j = -\bar{S}'_j$ ($j=1, 2, 3$). Поэтому при построении силового многоугольника для узла II, реакцию \bar{S}'_1 стержня 1 на этот узел следует брать равной по модулю реакции \bar{S}_1 этого стержня на узел I, но противоположно направленной.

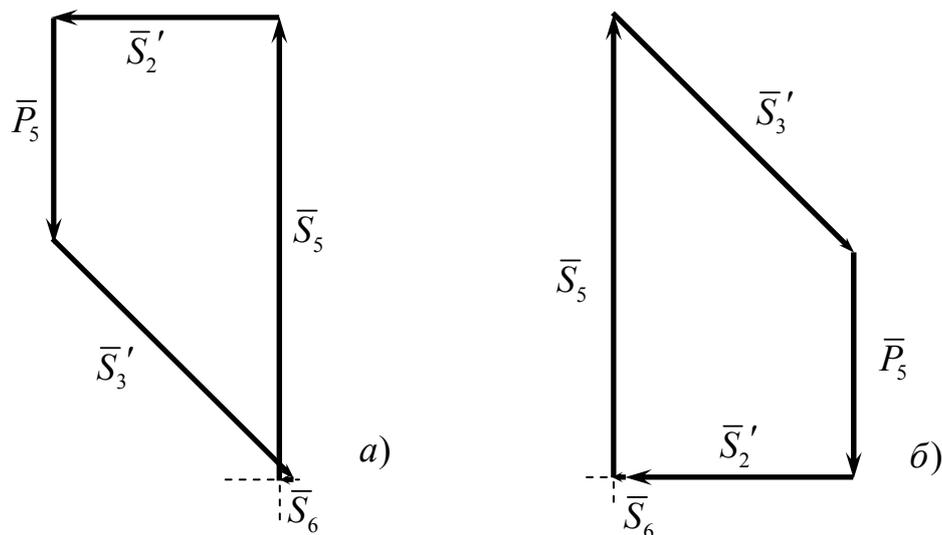


Рис. 5

Заметим также, что результат построения не зависит от порядка, в котором изображаются известные силы и проводятся прямые, параллельные линиям действия неизвестных сил, в силовом многоугольнике. Например, силовым многоугольником для узла III может иметь вид, изображенный на рис. 5, а или рис. 5, б.

► Замечания

1. При определении усилий во всех стержнях фермы рассмотрение равновесия последнего узла (из намеченной к вырезанию последовательности узлов) является контрольным действием, так как к этому моменту реакции всех стержней будут уже определены. Для проверки расчета нужно убедиться в том, что силовым многоугольником, построенным из сил, действующих на этот узел, является замкнутым.

2. При оформлении курсовой работы графический метод вырезания узлов должен быть выполнен на отдельной странице, на которой приводится схема фермы в масштабе, действующие на нее внешние силы – активные и реакции опор (также в масштабе), многоугольники сил для вырезаемых узлов и таблица усилий с указанием характера работы стержня. Описание метода приводится на других страницах. ◀

1.2.3. Определение усилий в стержнях фермы построением диаграммы Максвелла – Кремоны

Графический метод вырезания узлов можно несколько усовершенствовать, не изменив его существа, если в процессе построения силовые многоугольники для всех узлов фермы объединить в одну диаграмму сил, называемую диаграммой Максвелла – Кремоны.

Порядок построения диаграммы Максвелла - Кремоны:

1. Определить опорные реакции (в рассматриваемом примере это уже сделано).
2. Построить ферму в масштабе длин и изобразить все заданные силы и реакции опор в масштабе сил так, чтобы они были расположены вне контура фермы.
3. Выбрать направление обхода контура фермы и ее узлов (например, по ходу часовой стрелки) и обозначить большими буквами латинского алфавита А, В, С, D и т. д. области, ограниченные внешними силами и стержнями фермы, а также внутренние области, ограниченные только стержнями. Это необходимо для введения единого способа обозначения активных сил, реакций опор и реакций стержней.

4. Построить многоугольник внешних сил, т. е. активных сил и реакций опор, отложив в нем силы в том порядке, в котором они встречаются при обходе фермы в выбранном направлении, и обозначив их малыми буквами, соответствующими названиям пограничных областей. В рассматриваемом примере сила \bar{X}_A разделяет зоны А и В (рис. 6), при обходе фермы по часовой стрелке на диаграмме она будет обозначена \overline{ab} (a - начало вектора, b - конец), сила $\bar{P}_1 - \overline{bc}$, сила $\bar{P}_2 - \overline{cd}$ и т. д. Многоугольник внешних сил должен быть замкнутым. В нашем примере – это многоугольник $abcdefgha$. Стрелки у концов сил на диаграмме не ставят, так как направление обхода контура фермы однозначно определяет, где начало и где конец вектора.

5. Используя графический метод вырезания узлов, к многоугольнику внешних сил последовательно пристроить силовые многоугольники для всех

узлов фермы, начиная с узла, где сходятся два стержня, обозначив реакции стержней по тому же правилу, что и внешние силы. В нашем примере первым следует вырезать узел I, приняв направление обхода по часовой стрелке. На этот узел действуют четыре силы: \overline{ab} , \overline{bi} , \overline{ih} и \overline{ha} (\overline{ab} и \overline{ha} – составляющие реакции опоры A, уже имеющиеся в многоугольнике внешних сил; \overline{bi} и \overline{ih} – реакции стержней 1 и 2 на узел I). Для определения сил \overline{bi} и \overline{ih} из точек b и h надо провести прямые, параллельные стержням 1 и 2 соответственно: пересечение этих прямых даст точку i . Таким образом, силовой многоугольник $abiha$ для узла I построен. Далее следует вырезать узел II. Для определения точки j на диаграмме нужно найти точку пересечения прямых, проведенных из точек c и i параллельно стержням 4 и 3 соответственно. Силовой многоугольник для узла II – это $bcjib$.

Выполнив такое построение для остальных узлов фермы, получим диаграмму Максвелла – Кремоны.

6. Определить с учетом масштаба численное значение всех усилий в стержнях, а также характер работы их, и результаты занести в таблицу.

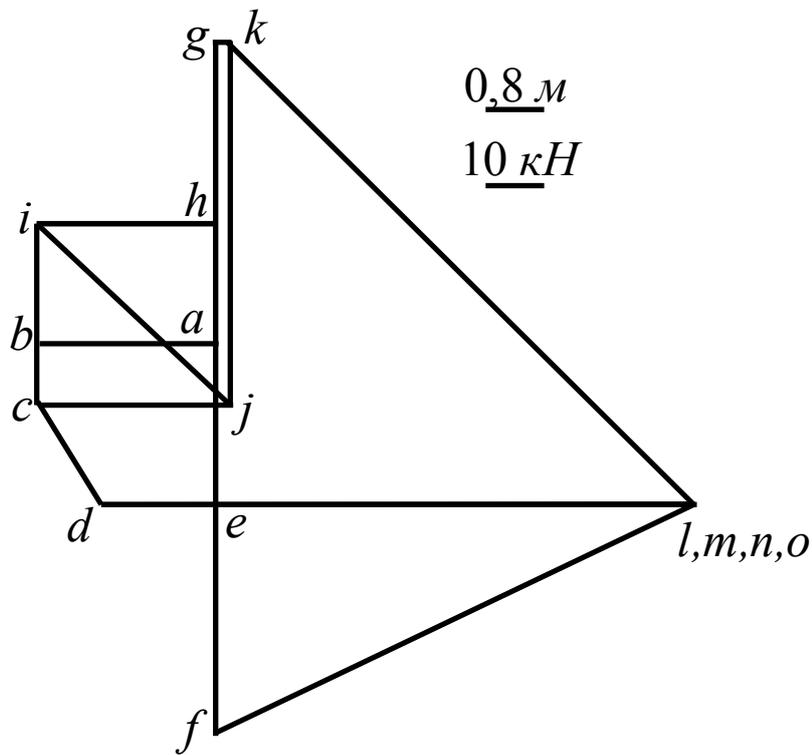
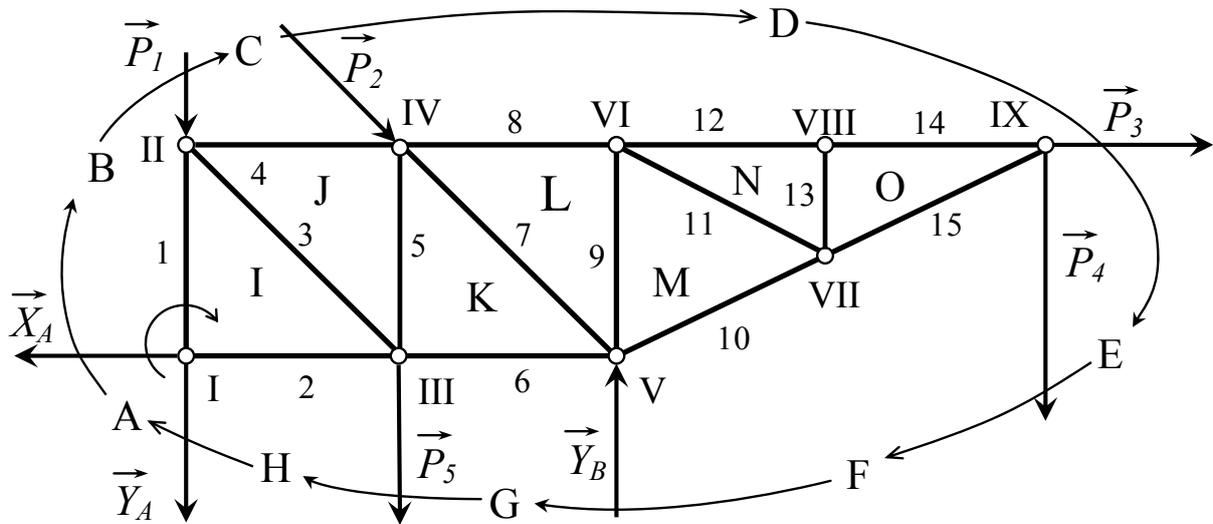
► Замечания

1. Каждому отрезку диаграммы соответствует параллельный ему отрезок на расчетной схеме фермы: это – либо стержень, либо – сила. Если такого соответствия нет, то диаграмма построена неправильно.

2. Характер работы стержня с помощью диаграммы Максвелла-Кремоны определяется следующим образом. Пусть требуется установить, сжат или растянут стержень 7. Этот стержень соединяет узлы IV и V. Обходим любой из этих узлов, например, узел IV. На диаграмме реакция стержня 7 на узел IV изображается вектором \overline{lk} (l – начало вектора, k – конец). Мысленно переносим этот вектор в узел IV. Реакция оказывается направленной к узлу. Следовательно, стержень 7 сжат. Аналогично можно определить, что стержень 8 растянут (его реакция \overline{dl} на узел IV направлена от узла).

3. При оформлении курсовой работы метод диаграммы Максвелла-Кремоны выполняется на отдельной странице. На ней приводятся схема фермы в масштабе, действующие на нее внешние силы – активные и реакции опор (также в масштабе), принятые направления обхода фермы и ее узлов, обозначения зон, масштабы длин и сил, диаграмма Максвелла-

Кремоны и таблица усилий с указанием характера работы стержня. Описание построения диаграммы приводится на других страницах.



№ стержня	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Усилия, кН	21,4	30	-45	31,4	61,8	-1,4	-113	102	0	-91,5	0	102	0	102	-91,5

Рис. 6.

1.2.4. Определение усилий в стержнях фермы методом Риттера

Метод Риттера (способ сечений) в общем случае предполагает предварительное определение реакций опор фермы, хотя усилия в некоторых стержнях (при определенном расположении опор фермы) можно определить, не зная опорных реакций. Если реакции опор фермы определены, то метод Риттера позволяет оперативно найти усилие в данном стержне, при этом, как правило, определение усилия является автономным, т.е. не связанным с определением усилий в других стержнях. Для этого необходимо выполнение одного условия: конструкция фермы должна быть такой, чтобы существовала возможность расчленения фермы на две части по трем стержням, среди которых находится стержень, усилие в котором определяется. Для успешного применения метода сечений необходимо хорошо знать условия равновесия произвольной плоской системы сил, в частности, вторую и третью форму условий равновесия.

При определении усилий в стержнях фермы методом Риттера рекомендуется следующая последовательность действий:

1) после определения опорных реакций мысленно разрезать ферму на две части так, чтобы число разрезанных стержней не превышало трех, и рассмотреть равновесие сил, приложенных к одной части, заменив действие отброшенной части искомыми усилиями, полагая стержни растянутыми; целесообразно рассматривать равновесие той части фермы, для которой объем вычислительной работы меньше (меньше действующих сил, они проще расположены, а поэтому легче составить и решить уравнения равновесия);

2) составить для выбранной части фермы такие уравнения равновесия, чтобы в каждое уравнение входила одна неизвестная сила. Это, как правило, – уравнения моментов относительно точек пересечения линий действия неизвестных сил (точки Риттера). Если два стержня в сечении параллельны, то для определения усилия в третьем стержне нужно составить уравнение проекций сил на ось, перпендикулярную к этим стержням;

3) решить каждое из составленных уравнений, определив искомые усилия: если при решении какого-либо уравнения получено отрицательное значе-

ние для искомого усилия, то это означает, что соответствующий стержень сжат.

Для определения усилий в стержнях 6, 7 и 8 выполним сечение по этим стержням, и рассмотрим равновесие правой части фермы. Расчетная схема изображена на рис. 7. На правую часть фермы действуют известные силы \bar{P}_3 , \bar{P}_4 и \bar{Y}_B и реакции отброшенной части \bar{S}_6 , \bar{S}_7 и \bar{S}_8 (в данном случае их можно называть усилиями в стержнях).

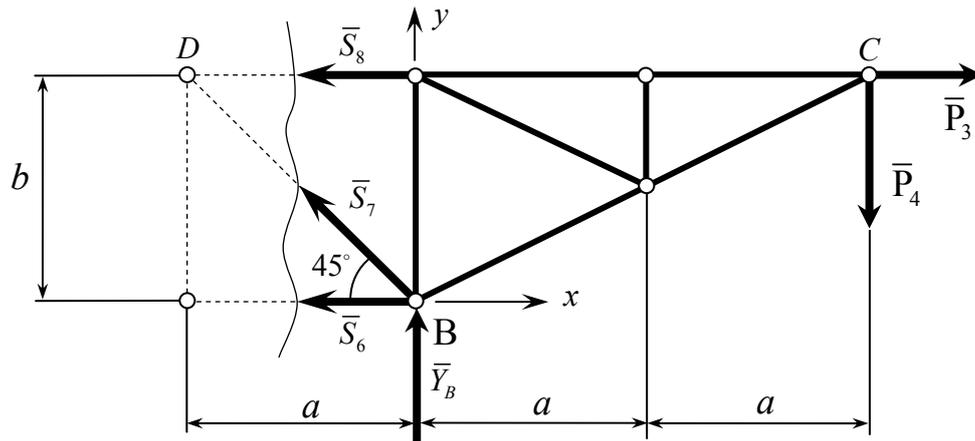


Рис. 7

Чтобы определить усилие S_6 независимо от усилий S_7 и S_8 , составляем уравнение моментов сил относительно точки C , в которой пересекаются линии действия сил \bar{S}_7 и \bar{S}_8 :

$$\sum M_C(\vec{F}_i) = 0; \quad -S_6 b + Y_B a + P_4 3a = 0. \quad (7)$$

Стержни 6 и 8 параллельны. Поэтому для определения усилия S_7 независимо от усилий S_6 и S_8 составляем уравнение

$$\sum F_{iy} = 0; \quad -S_7 \cos 45^\circ + Y_B - P_4 = 0. \quad (8)$$

Для определения усилия S_8 составим уравнение моментов относительно точки B , в которой пересекаются линии действия сил \bar{S}_6 и \bar{S}_7 :

$$\sum M_B(\vec{F}_i) = 0; \quad S_8 b - P_3 b - P_4 2a = 0. \quad (9)$$

Из уравнения (7)

$$S_6 = \frac{a}{b}(Y_B - 3P_4) = \frac{2}{2}(118,66 - 3 \cdot 40) = -1,34 \text{ kH}.$$

Из уравнения (8)

$$S_7 = \frac{P_4 - Y_B}{\cos 45^\circ} = \frac{40 - 118,66}{0,707} = -111,26 \text{ кН}.$$

Из уравнения (9)

$$S_8 = P_3 + 2P_4 \frac{a}{b} = 20 + 2 \cdot 40 \cdot \frac{2}{2} = 100 \text{ кН}.$$

Расчетная схема для определения усилий в стержнях 10, 11 и 12 изображена на рис. 8: ферма рассечена по этим стержням, левая часть отброшена.

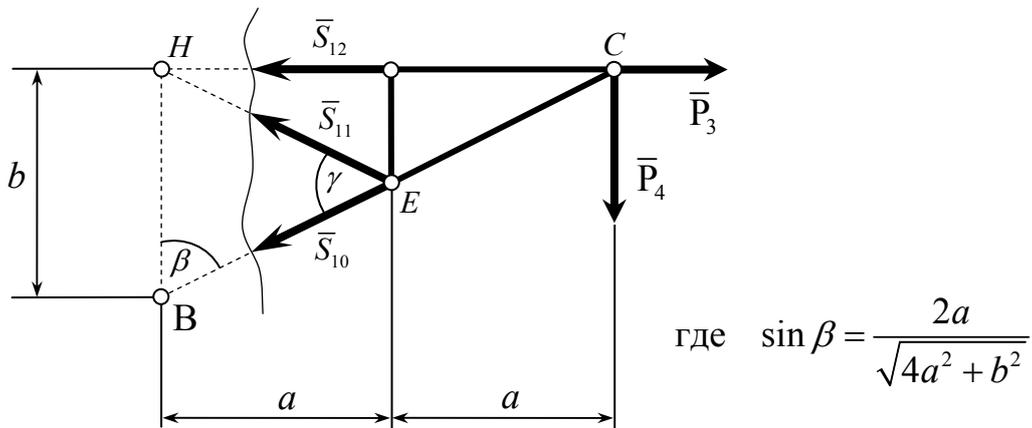


Рис. 8.

Для определения усилий S_{10} , S_{11} и S_{12} составим уравнения моментов относительно точек Риттера D, H и E соответственно:

$$\sum_k M_D(\bar{F}_k) = 0 \quad -S_{10} b \sin \beta - P_4 2a = 0 \quad (10)$$

$$\sum_k M_H(\bar{F}_k) = 0 \quad -S_{11} = 0 \quad (11)$$

$$\sum_k M_E(\bar{F}_k) = 0 \quad S_{12} \frac{b}{2} - P_3 \frac{b}{2} - P_4 \frac{b}{2} = 0 \quad (12)$$

где $\sin \beta = \frac{2a}{\sqrt{4a^2 + b^2}}$.

Из уравнения (10)

$$S_{10} = -\frac{a}{b} \cdot \frac{2P_4}{\sin \beta} = -\frac{2}{2} \cdot \frac{2 \cdot 40}{0,89} = -89,44 \text{ кН}.$$

Из уравнения (12)

$$S_{12} = P_3 + 2P_4 \frac{a}{b} = 20 + 2 \cdot 40 \cdot \frac{2}{2} = 100 \text{ кН} .$$

Результаты расчета поместим в таблицу.

№ стержня	6	7	8	10	11	12
Усилие, кН	-1,34	-111,26	100	-89,44	0	100

Замечание.

Для определения усилий в стержнях 10, 11 и 12 знание опорных реакций не требуется.

ЧАСТЬ 2. РАСЧЕТ ПЛОСКИХ СОСТАВНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

С особенностями расчета составных конструкций можно ознакомиться в любом из рекомендованных пособий [3-6].

Расчет составной конструкции заключается в определении реакций внешних и внутренних связей. При этом решаются задачи двух типов.

В задачах первого типа требуется определить реакции всех связей. Для решения такой задачи нужно сформировать систему $3n$ уравнений равновесия, где n – число тел в конструкции.

В задачах второго типа требуется найти только часть реакций связей. В этом случае необходимо сформировать систему m уравнений равновесия, где m – число определяемых неизвестных, причем $m < 3n$.

Приступая к расчету данной конструкции, прежде всего, нужно убедиться в том, что она является статически определимой. Дальнейшая последовательность действий зависит от типа решаемой задачи.

Решение задач первого типа рекомендуется проводить в следующем порядке:

1. В зависимости от типа конструкции и действующих на нее нагрузок выбрать способ расчета, т. е. рассматривать сначала равновесие всей систем как

одного твердого тела, освободив ее только от внешних связей, а затем равновесие какой-либо ее части, или рассматривать равновесие каждой части системы в отдельности; и в том и в другом случае строятся расчетные схемы с указанием координатной системы, активных сил и реакций связей; распределение нагрузки при этом заменяются равнодействующими силами.

2. Составить уравнения равновесия, используя наиболее удобную форму условий равновесия плоской системы сил, и, решив эти уравнения, определить все неизвестные силы.

Задания второго типа рекомендуется выполнять в следующей последовательности:

1. Выделить из данной конструкции тела и системы тел, на которые действуют силы реакций, подлежащие определению, построив соответствующие расчетные схемы. Среди сил, действующих на выделенные тела, будут активные силы, искомые реакции связей и реакции связей, которые определять не нужно.

2. Для выбранных тел и их совокупностей записать такие уравнения равновесия, в которые входят только активные силы и искомые реакции связей. В каждом случае такие уравнения можно составить, это – либо уравнения моментов относительно точек пересечения линий действия сил реакций, которые не нужно определять, либо уравнения проекций сил на ось, перпендикулярную к таким силам.

3. Определить указанные в задании реакции связей, решив полученную систему уравнений равновесия.

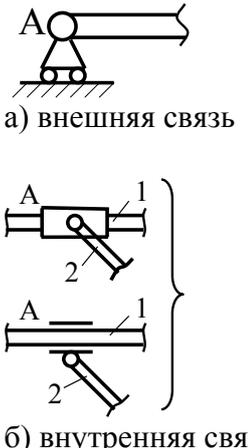
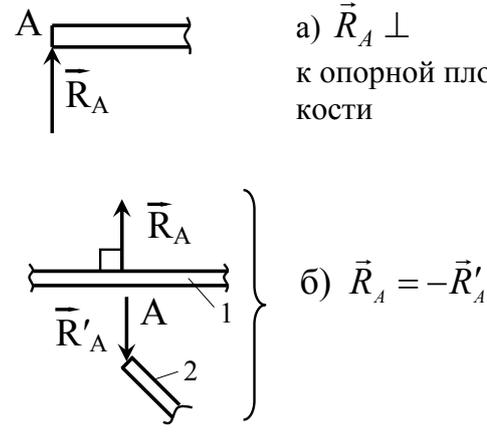
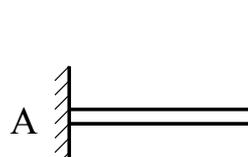
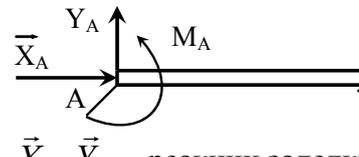
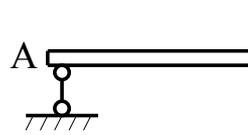
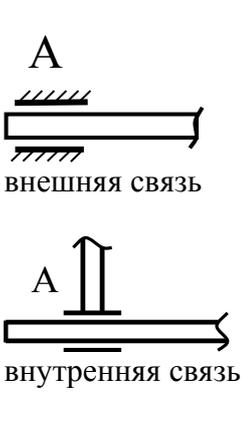
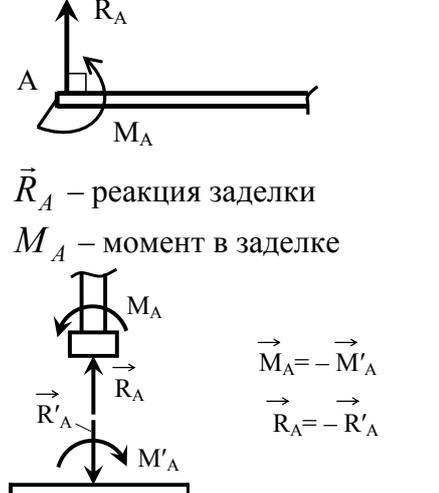
В табл. 1 и 2 приведены для справок виды распределенных нагрузок и связей, встречающиеся при выполнении задания.

Табл. 1

Название нагрузки	Условное обозначение	Модуль равнодействующей	Направление и точка приложения равнодействующей
Равномерно распределенная (q – интенсивность нагрузки, кН/м)		$Q = ql$	
Линейная (q_{max} – максимальное значение интенсивности, кН/м)		$Q = \frac{1}{2} q_{\text{max}} l$	

Табл. 2

Виды связей	Условное обозначение	Направление реакций связей
1. Шарнирное соединение двух тел	<p>А – неподвижная шарнирная опора (внешняя связь)</p>	<p>Реакция представляется двумя составляющими</p>
	<p>Шарнирное соединение тел 1 и 2, входящих в конструкцию (внутренняя связь)</p>	<p> $\bar{X}_A = -\bar{X}'_A$, $\bar{Y}_A = -\bar{Y}'_A$ </p>

Виды связей	Условное обозначение	Направление реакций связей
2. Подвижная шарнирная опора	 <p>а) внешняя связь</p> <p>б) внутренняя связь</p>	 <p>а) $\vec{R}_A \perp$ к опорной плоскости</p> <p>б) $\vec{R}_A = -\vec{R}'_A$</p>
3. Жёсткая заделка		 <p>\vec{X}_A, \vec{Y}_A – реакции заделки M_A – момент в заделке</p>
3. Стержневая опора (невесомый стержень с шарнирами на концах)		 <p>Реакция направлена по стержню</p>
4. Скользящая заделка	 <p>внешняя связь</p> <p>внутренняя связь</p>	 <p>\vec{R}_A – реакция заделки M_A – момент в заделке</p> <p>$\vec{M}_A = -\vec{M}'_A$ $\vec{R}_A = -\vec{R}'_A$</p>

2.1. Пример решения задачи первого типа

Конструкция состоит из горизонтальной балки AD, на правом конце которой имеется блок D, и наклонной балки BC (рис. 9). Балки прикреплены к стене и связаны между собой с помощью цилиндрических шарниров A, B и C. В точке E наклонной балки привязана нить, перекинутая через блок и несущая груз P . Кроме того, к балке BC на участке BE приложена равномерно распределенная нагрузка интенсивности q , а на балку AD действует пара сил с моментом M . Определить реакции шарниров A, B и C, если $P = 10 \text{ кН}$, $q = 5 \text{ кН/м}$, $M = 6 \text{ кН} \cdot \text{м}$, $a = 1,2 \text{ м}$, $b = 1 \text{ м}$, $r = 0,15 \text{ м}$. Весом нити и трением на блоке D пренебречь.

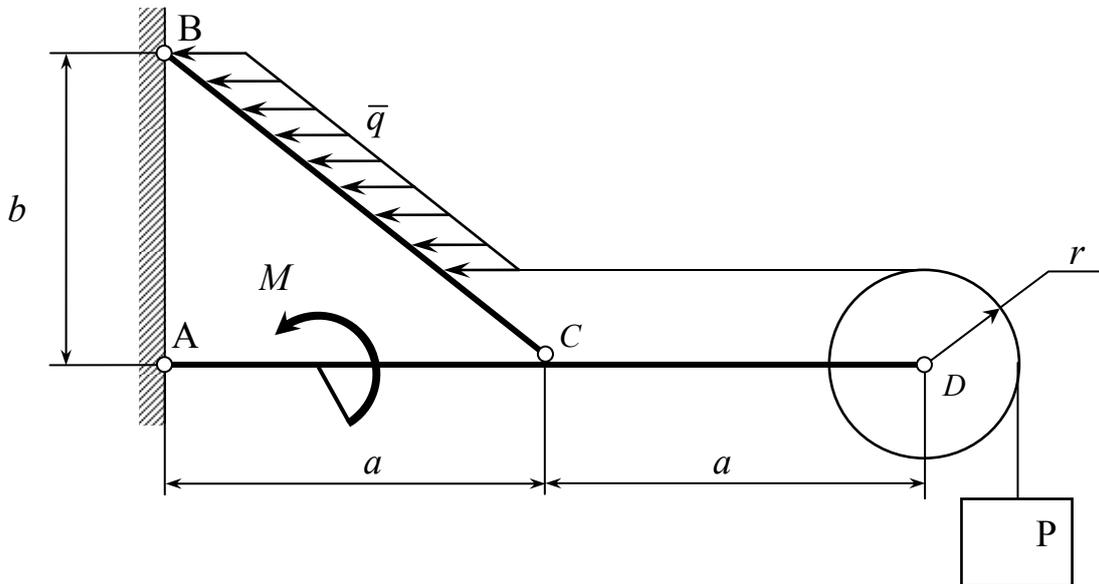


Рис. 9

Расчленим конструкцию на две части: горизонтальную балку AD с блоком и грузом P и наклонную балку BC, освободив ее от внешних связей – шарниров A и B и от внутренних связей – шарнира C и горизонтальной части нити. Расчетные схемы изображены на рис. 10, на котором использованы следующие обозначения:

\bar{X}_A, \bar{Y}_A – составляющие реакции шарнира A;

\bar{X}_B, \bar{Y}_B – составляющие реакции шарнира B;

\bar{X}_C, \bar{Y}_C – составляющие реакции шарнира С на балку ВС;

$\bar{X}_C = -\bar{X}'_C, \bar{Y}_C = -\bar{Y}'_C$ – составляющие реакции шарнира С на балку AD;

\bar{T}' – реакция нити на блок D;

\bar{T} – реакция нити на балку ВС;

\bar{Q} – равнодействующая распределенной нагрузки.

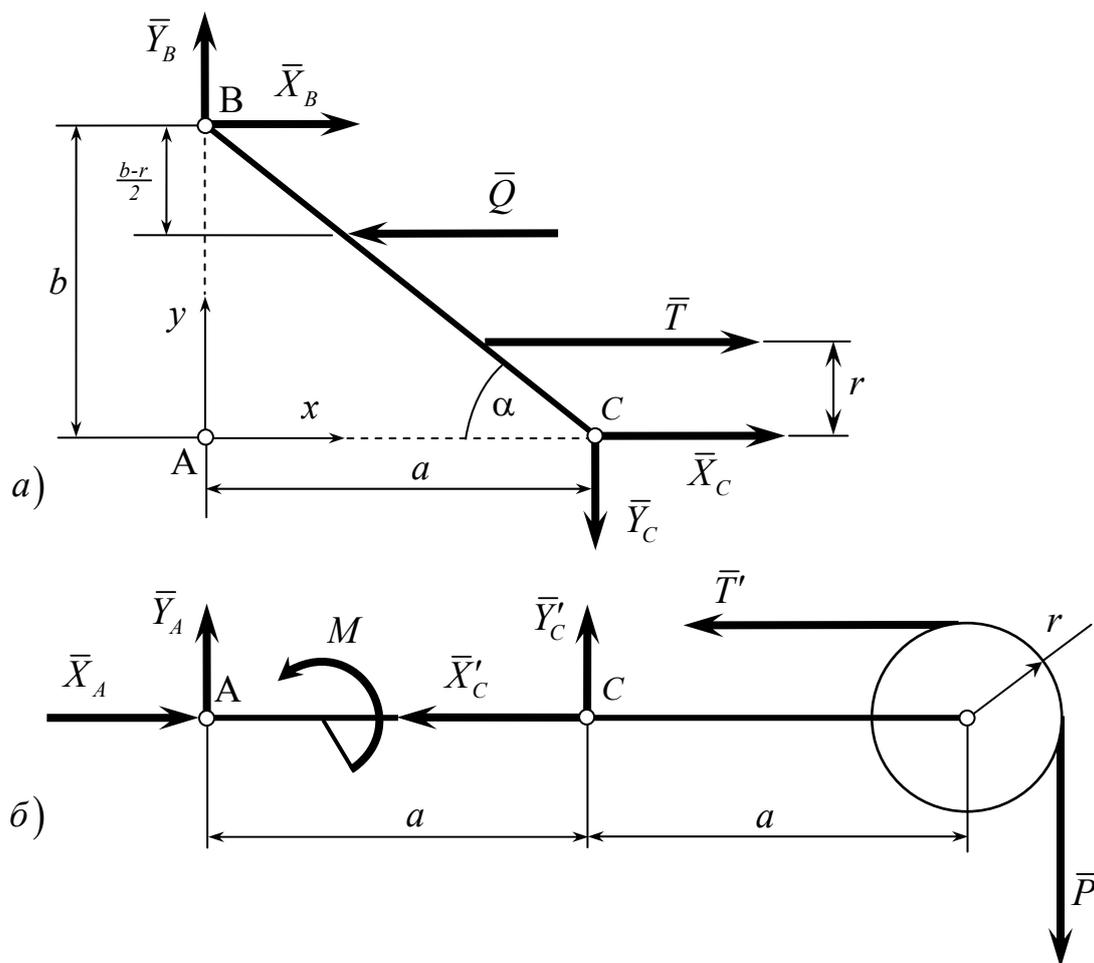


Рис. 10

Так как нить невесомая, а трением на блоке D пренебрегаем, то $T = T' = P$. Равнодействующая равномерно распределенной нагрузки приложена в середине участка BE, а ее модуль определяется по формуле

$$Q = q \cdot BE = q \cdot \frac{b-r}{\sin \alpha},$$

где $\sin \alpha = \frac{b}{\sqrt{a^2 + b^2}}$.

Составим уравнения равновесия балки ВС (рис. 10, а):

$$\sum F_{ix} = 0; \quad X_B + X_C - Q + T = 0, \quad (13)$$

$$\sum F_{iy} = 0; \quad Y_B + Y_C = 0, \quad (14)$$

$$\sum M_B(\vec{F}_i) = 0; \quad X_C \cdot b + Y_C \cdot a + T(b - r) - Q \cdot \frac{b - r}{2} = 0. \quad (15)$$

Система уравнений (13) – (15) содержит 4 неизвестных. Ее нужно дополнить системой уравнений равновесия совокупности тел – балки AD, блока D и груза P (рис. 10, б):

$$\sum F_{ix} = 0; \quad X_A - X'_C - T' = 0, \quad (16)$$

$$\sum F_{iy} = 0; \quad Y_A + Y'_C - P = 0, \quad (17)$$

$$\sum M_A(\vec{F}_i) = 0; \quad -Y'_C \cdot a + T' \cdot r - P(2a + r) + M = 0. \quad (18)$$

Решая систему уравнений (13) - (18), находим неизвестные.

Из уравнения (18)

$$Y'_C = \frac{M}{a} - 2P = \frac{6}{1,2} - 2 \cdot 10 = -15 \text{ кН}.$$

Из уравнения (17)

$$Y_A = Y'_C + P = -15 + 10 = -5 \text{ кН}.$$

Из уравнения (14)

$$Y_B = -Y_C = 15 \text{ кН}.$$

Из уравнения (15)

$$\begin{aligned} X_C &= \frac{1}{b} \left[Q \frac{b - r}{2} - Y_C \cdot a - T(b - r) \right] = \\ &= 6,64 \cdot \frac{1 - 0,15}{2} + 15 \cdot 1,2 - 10 \cdot 0,85 = 12,32 \text{ кН}. \end{aligned}$$

Из уравнения (13)

$$X_B = Q - T - X_C = 6,64 - 10 - 12,32 = -15,68 \text{ кН}.$$

Из уравнения (16)

$$X_A = X'_C + T' = 12,32 + 10 = 22,32 \text{ кН}.$$

Таким образом,

$$\begin{aligned} X_A &= 22,32 \text{ кН}; & X_B &= -15,68 \text{ кН}; & X_C &= 12,32 \text{ кН}; \\ Y_A &= -5 \text{ кН}; & Y_B &= 15 \text{ кН}; & Y_C &= -15 \text{ кН}, \end{aligned}$$

т.е. силы \bar{X}_B , \bar{Y}_C и \bar{Y}_C' противоположны направлениям, принятым на расчетных схемах.

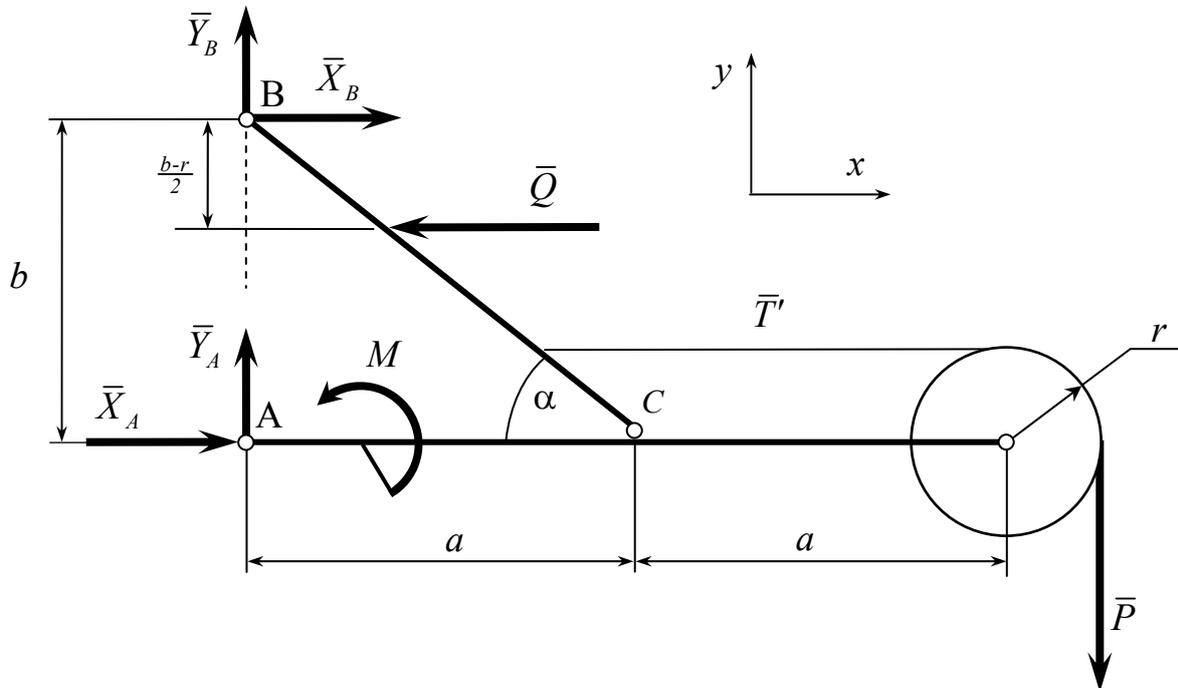


Рис. 11

► **Замечание.**

Для определения искомых величин в данном примере можно было выбрать другой путь решения: рассмотреть равновесие всей конструкции в целом как абсолютно твердого тела, освободив ее от связей в точках А и В (рис. 11), совместно с одной из частей (рис. 10, а или рис. 10, б). ◀

2.2. Пример решения задачи второго типа

Конструкция состоит из двух частей: горизонтальной балки АВ и наклонной балки ВС (рис 12). В точке А балка АВ закреплена с помощью жесткой заделки, конец В наклонной балки прикреплен к стене посредством неподвижной шарнирной опоры. Балки соединены вертикальным невесомым стержнем С с шарнирами на концах. На конструкцию действуют сосредоточенная сила \bar{P} ,

треугольная нагрузка максимальной интенсивности q_{\max} и пара сил с моментом M . Определить момент в заделке А и реакцию опоры В, если $q_{\max} = 5 \text{ кН/м}$, $M = 7 \text{ кН} \cdot \text{м}$, $P = 10 \text{ кН}$, $a = 4 \text{ м}$, $b = 1,5 \text{ м}$, $\alpha = 60^\circ$. Длиной стержня С пренебречь.

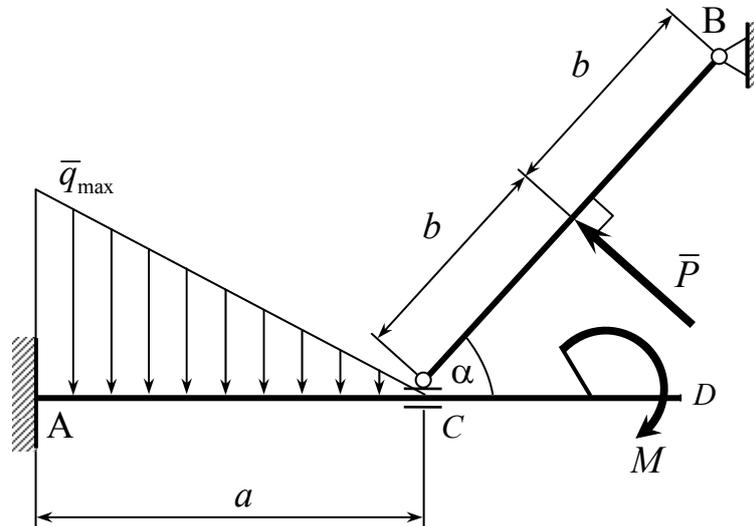


Рис. 12

Рассмотрим равновесие всей конструкции как абсолютно твердого тела, освободив ее от связей в точках А и В. Расчетная схема приведена на рис. 13, где использованы следующие обозначения:

\bar{X}_A, \bar{Y}_A — составляющие реакции заделки;

M_A — момент в заделке;

\bar{X}_B, \bar{Y}_B — составляющие реакции шарнира В;

\bar{Q} — равнодействующая распределенной нагрузки, модуль которой

$$Q = \frac{1}{2} q_{\max} \cdot a = \frac{1}{2} \cdot 5 \cdot 4 = 10 \text{ кН}.$$

Поскольку неизвестные \bar{X}_A и \bar{Y}_A определять не нужно, то из уравнений равновесия, которые можно составить для всей конструкции, следует взять только уравнение моментов относительно точки А, как не содержащее этих неизвестных:

$$\sum M_A(\bar{F}_k) = 0;$$

$$M_A - X_B \cdot 2b \sin \alpha + Y_B(a + 2b \cos \alpha) - Q \frac{a}{3} - M + P(b + a \cos \alpha) = 0 \quad (19)$$

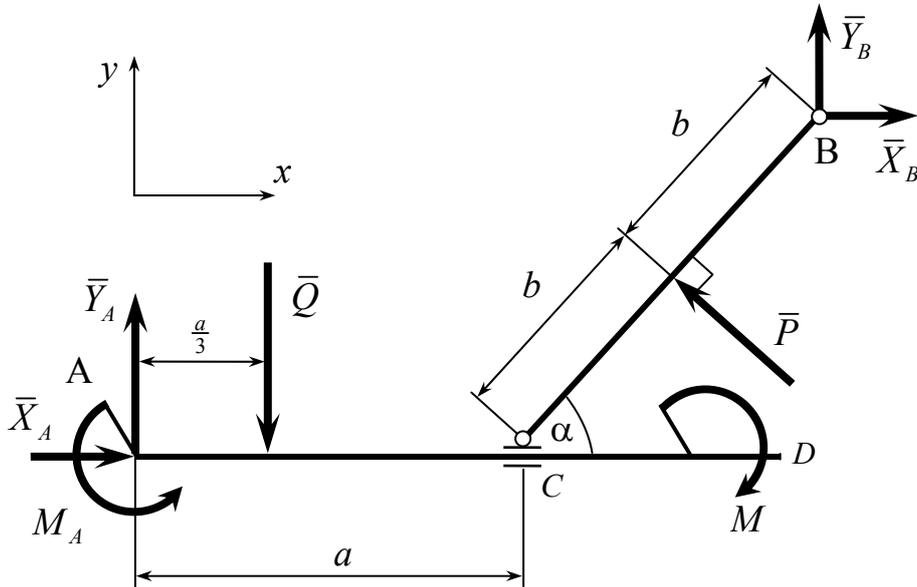


Рис. 13

Рассмотрим далее равновесие балки BC. Расчетная схема изображена на рис. 14.

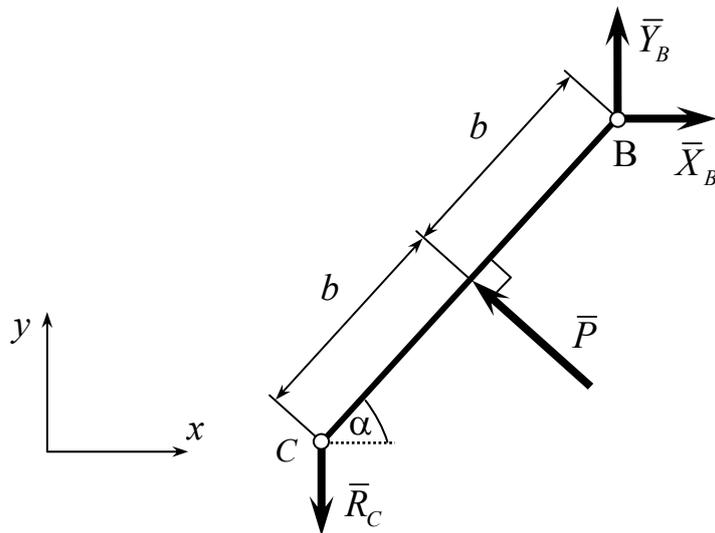


Рис. 14

Реакцию стержня \vec{R}_C определять не нужно. Поэтому для балки BC составляем такие уравнения, в которые эта сила не входит:

$$\sum M_A(\bar{F}_k) = 0; \quad -X_B 2b \sin \alpha + Y_B 2b \cos \alpha + P b = 0, \quad (20)$$

$$\sum F_{kx} = 0; \quad X_B - P \sin \alpha = 0 \quad (21)$$

Система уравнений (19)-(21) содержит только те неизвестные, которые нужно определить. Решая эту систему, находим неизвестные.

Из уравнения (21)

$$X_B = P \cdot \sin \alpha = 10 \cdot 0,867 = 8,67 \text{ кН}.$$

Из уравнения (20)

$$Y_B = X_B \operatorname{tg} \alpha - \frac{P}{2 \cos \alpha} = 8,67 \cdot 1,73 - 10 = 5 \text{ кН}.$$

Из уравнения (19)

$$\begin{aligned} M_A &= X_B 2b \sin \alpha - Y_B (a + 2b \cos \alpha) + \frac{1}{3} Q a + M - P (b + a \cos \alpha) = \\ &= 8,67 \cdot 2 \cdot 1,5 \cdot 0,867 - 5 (4 + 2 \cdot 1,5 \cdot 0,5) + \frac{1}{3} 10 \cdot 4 + 7 - 10 (1,5 + 4 \cdot 0,5) = \\ &= -19,67 \text{ кНм}. \end{aligned}$$

Таким образом, $M_A = -19,67 \text{ кН м}$; $X_B = 8,67 \text{ кН}$; $Y_B = 5 \text{ кН}$.

► **Замечание.**

Равновесие балки AD (рис. 15) не рассматривалось, так как любое из уравнений равновесия ее содержит неизвестные, которые определять не нужно. ◀

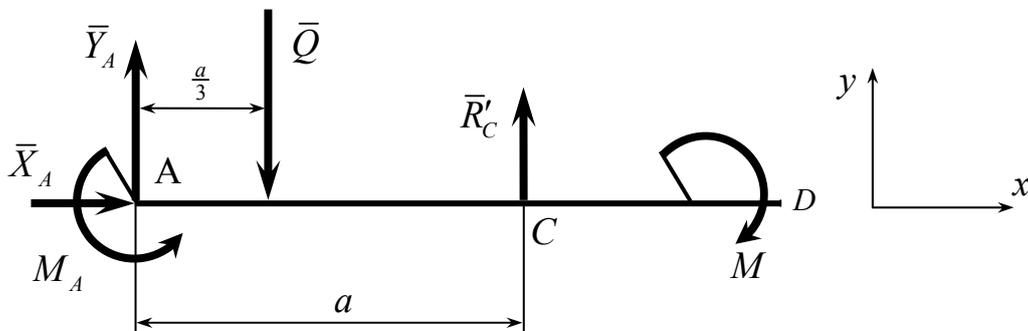


Рис. 15

ЧАСТЬ 3. РАСЧЕТ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ КОНСТРУКЦИИ

Расчет пространственной конструкции состоит в определении реакций связей, наложенных на твердое тело, находящееся в равновесии под действием произвольной системы сил. Познакомиться с особенностями решения задач такого типа можно в любом из учебников [3-6].

Рекомендуется следующий порядок выполнения задания:

1. Из данной системы тел выделить тело, равновесие которого удобно рассмотреть для определения искомых величин (на выбранное тело или систему тел должны действовать все неизвестные силы).
2. Построить расчетную схему задачи:
 - а) показать активные силы, действующие на выделенное тело;
 - б) действие отброшенных связей заменить силами реакций;
3. Убедиться в том, что задача является статически определенной, т. е. число неизвестных не более шести.
4. Выбрать систему осей декартовых координат и составить шесть уравнений равновесия:

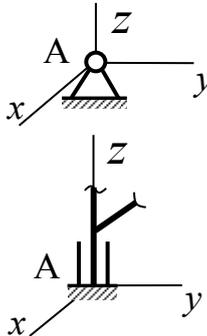
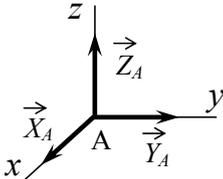
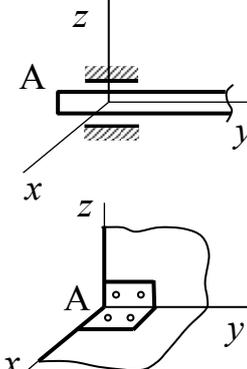
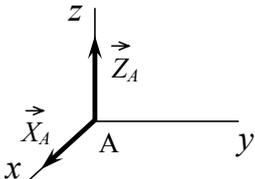
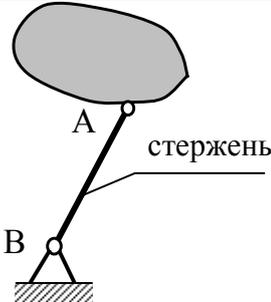
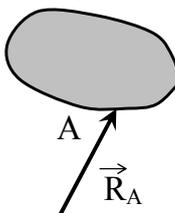
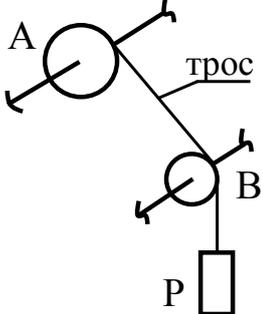
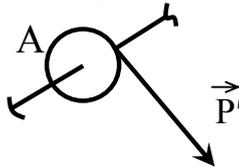
$$\sum_{i=1}^n F_{ix} = 0, \quad \sum_{i=1}^n F_{iy} = 0, \quad \sum_{i=1}^n F_{iz} = 0,$$
$$\sum_{i=1}^n M_x(\bar{F}_i) = 0, \quad \sum_{i=1}^n M_y(\bar{F}_i) = 0, \quad \sum_{i=1}^n M_z(\bar{F}_i) = 0.$$

4. Найти неизвестные величины, решив полученную систему уравнений.

При выборе координатных осей следует руководствоваться удобством составления уравнений равновесия: желательно, чтобы как можно большее число линий действия неизвестных сил были параллельными, перпендикулярными осям или пересекали бы их. При наличии таких сил составление уравнений равновесия упрощается, а, следовательно, и решение полученной системы.

В табл. 3 приведены для справок виды связей, встречающиеся при выполнении задания.

Табл. 3

Виды связей	Условное обозначение	Направление реакции связи
1. Сферический (шаровой) шарнир, подпятник		<p>Реакция представляется тремя составляющими</p> $\vec{R}_A = \vec{X}_A + \vec{Y}_A + \vec{Z}_A$ 
2. Цилиндрический шарнир (подшипник, петля и т.п.)		<p>Реакция \vec{R}_A перпендикулярна к оси шарнира и представляется составляющими по двум другим осям</p>  $\vec{R}_A = \vec{X}_A + \vec{Z}_A$
3. Невесомый стержень		<p>Реакция стержня направлена по его оси</p> 
4. Гибкая связь (невесомые нить, трос и т.п.)		<p>Реакция \vec{P}' направлена по связи, причем $P' = P$, если трением на блоке В пренебречь</p> 

Рассмотрим пример выполнения задания.

Пример. Однородная квадратная плита ABCD (рис. 16) со стороной a и веса P закреплена в точке А при помощи шарового шарнира, а в точке В – при помощи цилиндрического шарнира. Сторона АВ горизонтальна. В точке Е плита опирается на стержень, перпендикулярный к ее плоскости. В точке Н к плите прикреплен трос, перекинутый через блок С и несущий груз Q . Трос параллелен стороне АВ. Найти реакции в точках А, В, и Е, если $a = 15\text{ м}$, $CE = ED$, $BH = b = 0,5\text{ м}$, $P = 6\text{ кН}$, $Q = 3\text{ кН}$ и плита образует с горизонтальной плоскостью угол $\alpha = 30^\circ$. Пара сил с моментом $M = 10\text{ кН} \cdot \text{м}$ расположена в плоскости плиты. Трением на блоке G и в шарнирах А и В пренебречь.

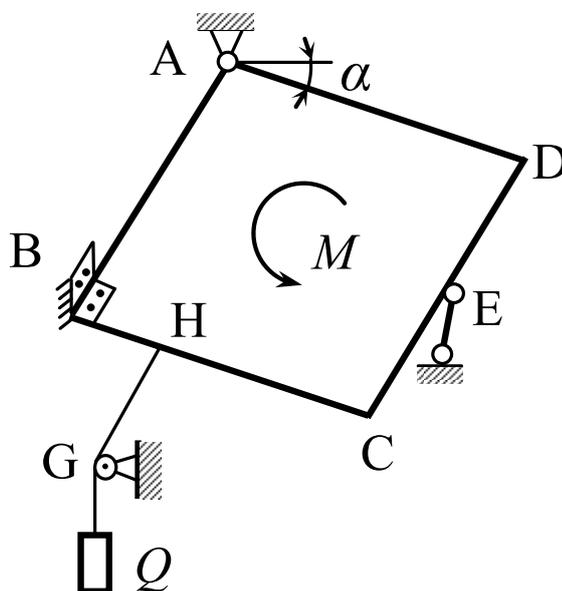


Рис. 16

Рассмотрим равновесие плиты. На нее действует активная сила \vec{P} (сила тяжести), приложенная в точке пересечения диагоналей плиты, и пара сил с моментом \vec{M} . На плиту наложены четыре связи: шаровой шарнир А, цилиндрический шарнир В, стержневая опора Е и трос. Мысленно отбрасывая связи, заменяем их действие на плиту силами реакций. Заранее неизвестны ни величина, ни направление реакции \vec{R}_A шарового шарнира. Разложим реакцию \vec{R}_A на три взаимно перпендикулярных силы \vec{X}_A , \vec{Y}_A и \vec{Z}_A , направив их по координатным осям в положительные стороны (рис. 17):

$$\vec{R}_A = \vec{X}_A + \vec{Y}_A + \vec{Z}_A.$$

Реакция \vec{R}_B перпендикулярна к оси x (так как в направлении оси x шарнир В не ограничивает перемещения плиты), поэтому ее целесообразно разложить на составляющие по координатным осям y и z :

$$\vec{R}_B = \vec{Y}_B + \vec{Z}_B.$$

Реакция стержня \vec{R}_E направлена по его оси, т. е. перпендикулярно к плоскости плиты. Реакция троса \vec{Q}' направлена по тросу, причем $Q' = Q$, так как трением на блоке С пренебрегаем. Момент пары \vec{M} перпендикулярен плоскости плиты и направлен в ту сторону, откуда вращение, производимое парой, видно происходящим против хода часовой стрелки. На рисунке это вращение показано дуговой стрелкой.

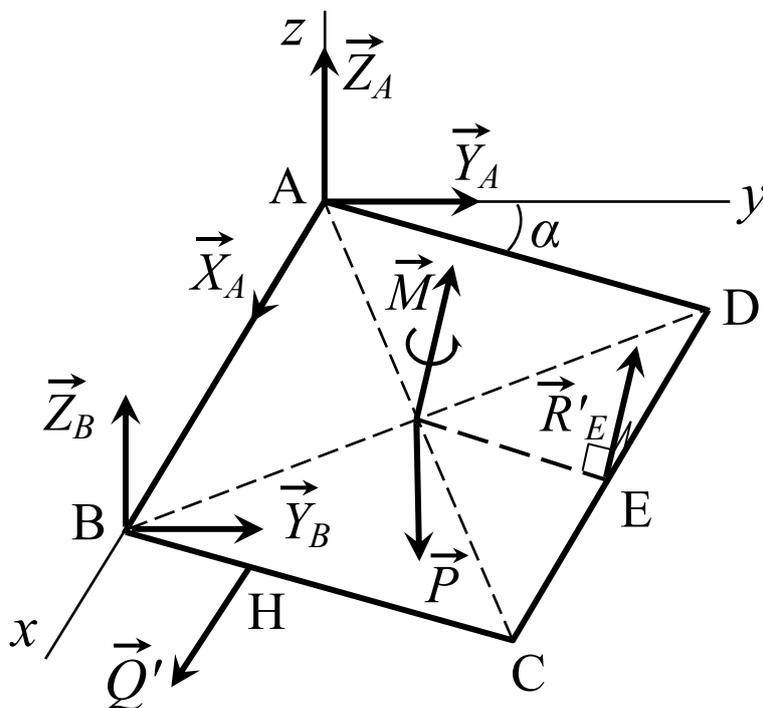


Рис. 17

Так как число неизвестных равно шести, то задача является статически определенной. Составим уравнения равновесия плиты, находящейся под действием произвольной пространственной системы сил $\vec{P}, \vec{Q}', \vec{X}_A,$

$$\vec{Y}_A, \vec{Z}_A, \vec{Y}_B, \vec{Z}_B, \vec{R}_E, \vec{M} :$$

$$\sum F_{ix} = 0; \quad X_A + Q' = 0, \quad (22)$$

$$\sum F_{iy} = 0; \quad Y_A + Y_B + R_E \sin \alpha = 0, \quad (23)$$

$$\sum F_{iz} = 0; \quad Z_A + Z_B + R_E \cos \alpha = 0, \quad (24)$$

$$\sum M_x(\vec{F}_i) = 0; \quad R_E \cdot a - P \cdot \frac{a}{2} \cos \alpha = 0, \quad (25)$$

$$\sum M_y(\vec{F}_i) = 0; \quad -Z_B \cdot a - R_E \cdot \frac{a}{2} \cos \alpha + P \cdot \frac{a}{2} - Q' b \sin \alpha + M \sin \alpha = 0, \quad (26)$$

$$\sum M_z(\vec{F}_i) = 0; \quad R_E \cdot \frac{a}{2} \sin \alpha + Q' b \cos \alpha + Y_B a + M \cos \alpha = 0. \quad (27)$$

Решим систему уравнений (22) - (27).

Из уравнения (22) $X_A = -Q' = -3 \text{ кН}$.

Из уравнения (25) $R_E = \frac{1}{2} P \cos \alpha = 2.598 \text{ кН}$.

Из уравнения (26)

$$Z_B = \frac{1}{a} \left(-R_E \frac{a}{2} \cos \alpha + P \frac{a}{2} - Q' b \sin \alpha + M \sin \alpha \right) = 4,708 \text{ кН}$$

Из уравнения (24)

$$Z_A = -Z_B - R_E \cos \alpha + P = -0,958 \text{ кН}$$

Из уравнения (27)

$$Y_B = -\frac{1}{a} \left(R_E \frac{a}{2} \sin \alpha + Q' b \cos \alpha + M \cos \alpha \right) = -5,557 \text{ кН}.$$

Из уравнения (23)

$$Y_A = -Y_B - R_E \sin \alpha = 4,258 \text{ кН}.$$

Таким образом,

$$\begin{aligned} X_A &= -3 \text{ кН}; & Y_B &= -5,557 \text{ кН}; \\ Y_A &= 4,258 \text{ кН}; & Z_B &= 4,708 \text{ кН}; \\ Z_A &= -0,958 \text{ кН}; & R_E &= 2,598 \text{ кН}. \end{aligned}$$

Заметим, что реальные направления реакций \vec{X}_A , \vec{Z}_A и \vec{Y}_B противоположны их направлениям, выбранным при расчете.

► **Замечания**

При составлении уравнений моментов относительно любой из координатных осей рекомендуется изобразить проекцию на плоскость, перпендикулярную к этой оси, плиты и всех сил, т.е. вид конструкции с положительного конца оси. На рис. 18 а, б, в изображены расчетные схемы для составления уравнений моментов сил относительно осей x , y и z соответственно.

Чтобы получить уравнение моментов относительно оси x , нужно составить сумму моментов сил, изображенных на рис. 18, а, относительно точки А (точки пересечения оси x и плоскости yz). Аналогично составляем уравнения моментов относительно других осей.

Момент пары \vec{M} входит в уравнения моментов сил относительно тех осей, на которые проекции его отличны от нуля. В нашем случае

$$M_x = 0; \quad M_y = M \sin \alpha; \quad M_z = M \cos \alpha,$$

поэтому в уравнении моментов сил относительно оси x момент пары отсутствует. ◀

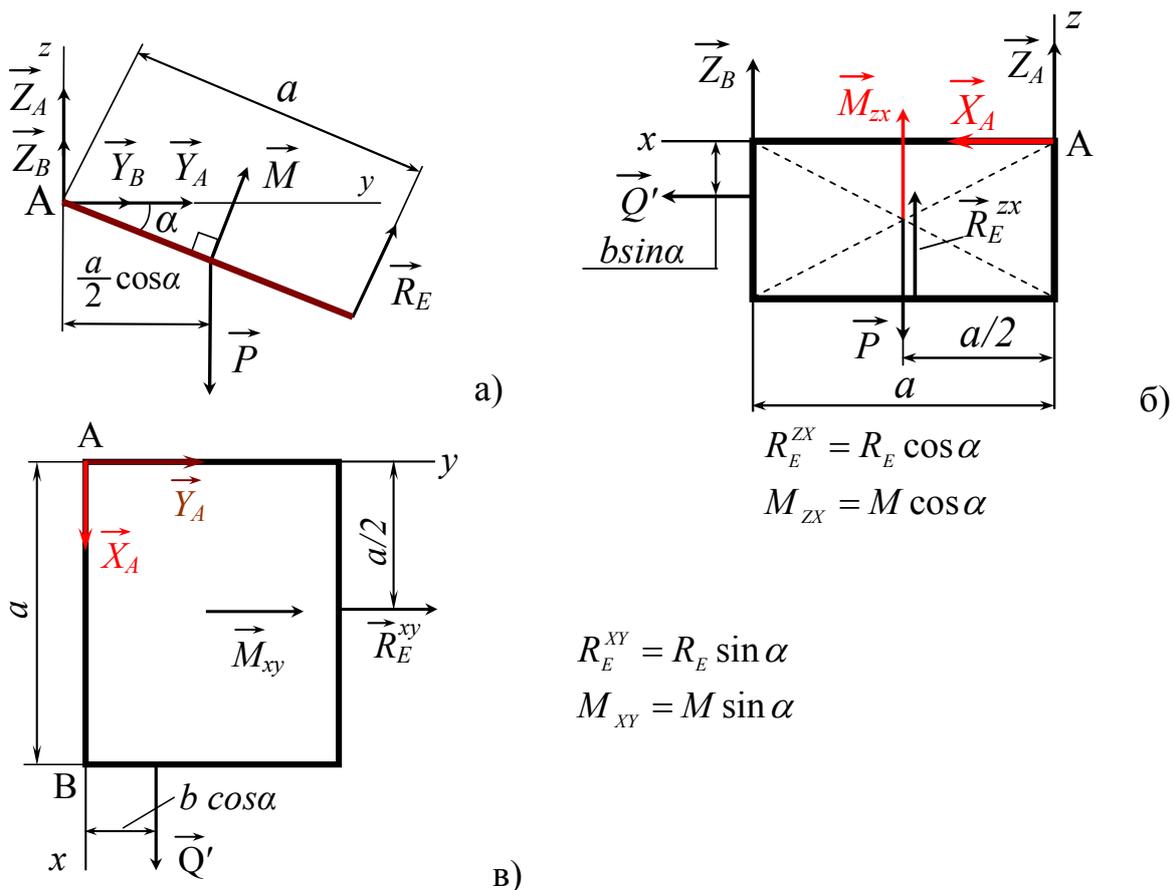


Рис. 18

Решим систему уравнений (22) – (27) с помощью пакета Mathcad. Для этого перепишем ее в матричном виде

$$A \cdot X = B \quad (28)$$

где A – матрица системы; X – вектор - столбец неизвестных; B – вектор-столбец правых частей.

Имеем

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & \sin \alpha \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & \cos \alpha \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -a & -\frac{a}{2} \cdot \cos \alpha \\ 0 & 0 & 0 & a & 0 & \frac{a}{2} \cdot \sin \alpha \end{pmatrix};$$

$$X = \begin{pmatrix} X_A \\ Y_A \\ Z_A \\ Y_B \\ Z_B \\ R_E \end{pmatrix};$$

$$B = \begin{pmatrix} -Q \\ 0 \\ P \\ P \cdot \frac{a}{2} \cdot \cos \alpha \\ -P \cdot \frac{a}{2} + Q \cdot b \cdot \sin \alpha - M \sin \alpha \\ Q \cdot b \cdot \cos \alpha - M \cos \alpha \end{pmatrix}.$$

Из (28) получим

$$X = A^{-1} \cdot B,$$

где A^{-1} – обратная матрица.

Mathcad-документ решения системы (28)

1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

$$P := 5 \quad Q := 10 \quad M := 10 \quad a := 1.5 \quad b := 0.5 \quad \alpha := \frac{\pi}{6}$$

2. МАТРИЦА СИСТЕМЫ A И ВЕКТОР ПРАВЫХ ЧАСТЕЙ B

$$s := \sin(\alpha) \quad c := \cos(\alpha)$$

$$A := \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & s \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & c \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -a & -\frac{a}{2} \cdot c \\ 0 & 0 & 0 & a & 0 & \frac{a}{2} \cdot s \end{pmatrix} \quad B := \begin{pmatrix} -Q \\ 0 \\ P \\ P \cdot \frac{a}{2} \cdot c \\ -P \cdot \frac{a}{2} + Q \cdot b \cdot s - M \cdot s \\ Q \cdot b \cdot c - M \cdot c \end{pmatrix}$$

3. РЕШЕНИЕ СИСТЕМЫ МЕТОДОМ ОБРАТНОЙ МАТРИЦЫ

$$\begin{pmatrix} Xa \\ Ya \\ Za \\ Yb \\ Zb \\ Re \end{pmatrix} := A^{-1} \cdot B \quad = \quad \begin{pmatrix} -10 \\ 2.345 \\ -0.104 \\ -3.428 \\ 3.229 \\ 2.165 \end{pmatrix}$$

4. РЕШЕНИЕ СИСТЕМЫ С ПОМОЩЬЮ ВСТРОЕННОЙ ФУНКЦИИ LSOLVE(A,B)

$$\text{lsolve}(A, B) = \begin{pmatrix} -10 \\ 2.345 \\ -0.104 \\ -3.428 \\ 3.229 \\ 2.165 \end{pmatrix}$$

МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

1. Настоящее пособие.
2. Конспект лекций по разделу «Статика».
3. Бутенин Н.В., Лунц Я. Л., Меркин Д.Р. Курс теоретической механики. Т. 1, – М.: Наука, 1979,– 272 с.
4. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики. – М.: Наука, 1988. – 482 с.
5. Яблонский А.А. Курс теоретической механики. Т. 1, – М.: Высшая школа, 1984. – 424 с.
6. Сборник заданий для курсовых работ по теоретической механике. Под ред. А.А. Яблонского. — М.: Высшая школа, 1983. – 367 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. ОФОРМЛЕНИЕ И ЗАЩИТА КУРСОВОЙ РАБОТЫ

1. Оформление курсовой работы

Курсовая работа выполняется на листах писчей бумаги формата А4. На каждой странице должны быть рамки с полями: слева - 20 мм, остальные - 5 мм. Страницы нумеруются и располагаются в следующем порядке:

- с. 1 – титульный лист с названием работы и учётными данными о вузе, исполнителе (номер группы, фамилия и инициалы) и руководителе (см. с. 44);
- с. 2 – оглавление с указанием глав, параграфов и страниц;
- с. 3 – аннотация (сжатая характеристика курсовой работы в изложении автора);
- на последующих страницах – расчёты; в каждой части приводится описание рассчитываемой системы с указанием принимаемых допущений, схемы конструкций и исходные данные, а также задание на расчет;
- предпоследняя страница - выводы;
- последняя страница – список использованной литературы.

Главы и параграфы курсовой работы должны быть озаглавлены и пронумерованы.

Курсовая работа должна содержать подробное описание проводимых расчётов. Формулы, на которые имеются ссылки в тексте, нумеруются, изложение сопровождается расчётными схемами. Не допускается совмещение расчётных схем для различных методов на одном рисунке.

Материал в курсовой работе располагается так, чтобы было удобно читать (и, конечно, проверять!) его:

- заголовки глав и параграфов выполняются шрифтом большего размера, чем основной текст; допускается их подчёркивание;
- между заголовками и текстом оставляется пробел по вертикали (1,5-2 см);
- основной текст разбивается на абзацы, между которыми оставляется вертикальный пробел (~ 1 см); такой же пробел оставляется между текстом и формулами, а также между формулами, если они записываются по вертикали одна за другой;

- формулы – это часть предложения: если предложение заканчивается формулой, то после неё ставится точка; если в конце предложения располагаются несколько формул, то они разделяются запятыми (после последнего слова текста нет никакого знака препинания) или точкой с запятой (после последнего слова текста стоит двоеточие);
- формулы располагаются по центру страницы;
- номера формул выравниваются по правому краю страницы;
- рисунки выполняются карандашом; толщина линий строго выдерживается (контурные, выносные, штрихпунктирные).
- рисунки располагаются в тексте; крупные рисунки выполняются на отдельных листах;
- рисунки (расчётные схемы) и составляемые на их основе уравнения по возможности располагаются на одной странице.

Объем работы 20-25 страниц.

► **Замечания**

1. Допускается оформление курсовой работы на ЭВМ (расчетные схемы, текст и формулы), за исключением графических методов расчета.

2. Помните, что хорошо оформленная курсовая работа, прежде всего, показатель того, насколько её автор уважает себя. Не забывайте также и о том, что хорошо оформленная курсовая работа не оставит равнодушным ни руководителя, ни рецензента. ◀

2. Защита курсовой работы

Выполненную курсовую работу необходимо сдать на проверку руководителю.

После исправления замечаний руководителя курсовая работа сдаётся на рецензию одному из преподавателей кафедры (при этом к работе прилагается бланк рецензии). При отрицательной рецензии работа должна быть переделана и вновь представлена на рецензию.

Приём курсовых работ, допущенных к защите, проводится комиссией, обычно состоящей из двух преподавателей, как правило, – руководителя и рецензента.

Сроки защиты: в осеннем семестре – с 10 декабря, в весеннем – с 10 мая.

На защите студент делает доклад, в котором рассказывает о постановке задачи, условиях расчета, применяемых методах механики и полученных результатах.

После этого он отвечает на вопросы членов комиссии. Максимальная оценка за

курсовую работу – 100 баллов. При защите курсовой работы оцениваются:

- качество оформления работы – до 10 баллов;
- качество доклада автора – до 20 баллов;
- ответы на вопросы – до 65 баллов.

При успешной защите к оценке добавляется до 5 баллов за положительный отзыв рецензента.

По курсовой работе выставляется одна из следующих оценок: *отлично* (81-100 баллов), *хорошо* (61-80 баллов), *удовлетворительно* (40-60 баллов) и *неудовлетворительно* (менее 40 баллов).

При *неудовлетворительной оценке* студенту выдаётся новое задание.

3. Образец титульного листа курсовой работы

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИИ
ФГБОУ ВПО ТУЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

КАФЕДРА ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ

КУРСОВАЯ РАБОТА ПО СТАТИКЕ
«РАСЧЕТ ПЛОСКИХ И ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КОНСТРУЦИЙ»

Выполнил студент гр. 620347 Иванов П. Д.

Руководитель доцент Скворцов Г. И.

Тула, 2008

ПРИЛОЖЕНИЕ 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ В СТЕРЖНЯХ ФЕРМЫ И РЕАКЦИЙ ЕЕ ОПОР АНАЛИТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ ВЫРЕЗАНИЯ УЗЛОВ С ПРОВЕДЕНИЕМ РАСЧЕТА В СРЕДЕ MATHCAD

Определить опорные реакции фермы и усилия в ее стержнях (рис. 1), используя аналитический метод вырезания узлов, если $P_1 = 3 \text{ кН}$, $P_2 = 4 \text{ кН}$, $P_3 = 5 \text{ кН}$, $a = 3 \text{ м}$, $b = 2 \text{ м}$, $\alpha = 30^\circ$, $\beta = 45^\circ$.

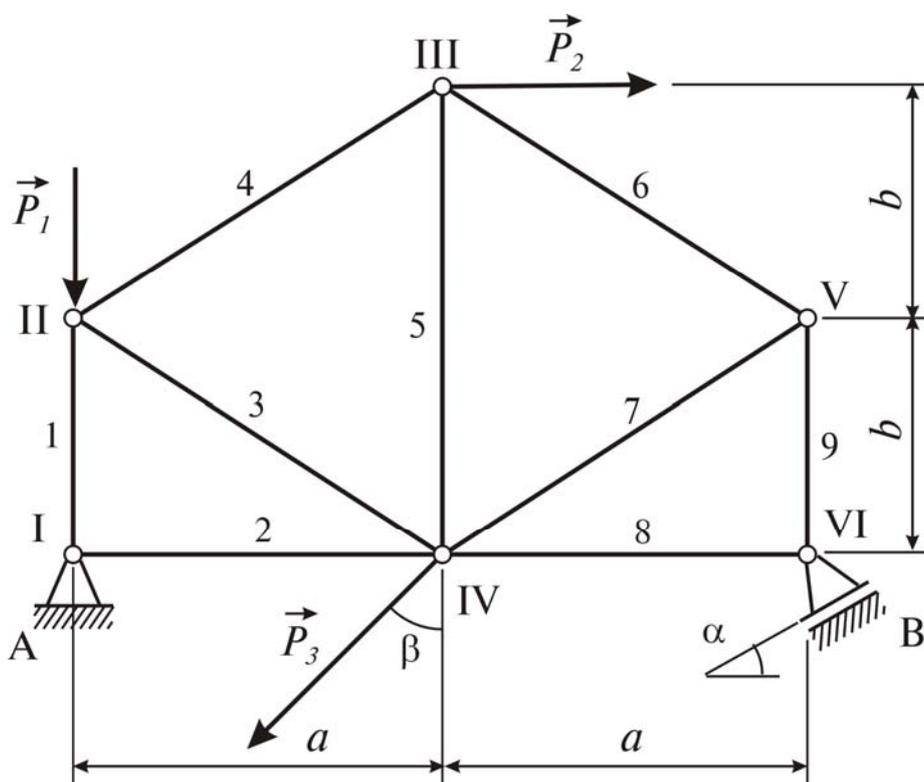


Рис. 1

Ферма имеет шесть узлов ($n = 6$) и девять стержней ($k = 9$). Условие геометрической неизменяемости фермы $k = 2n - 3$ выполнено. Рассмотрим равновесие каждого узла фермы. Расчетная схема представлена на рис. 2. Реакции стержней направлены в предположении, что стержни растянуты. В каждом узле фермы действует плоская система сходящихся сил. Для каждого узла можно

составить два уравнения равновесия, т.е. всего можно составить двенадцать уравнений. Задача является статически определимой, так как искомого неизвестных также двенадцать: три реакции опор $\vec{X}_A, \vec{Y}_A, \vec{R}_B$ и девять реакций стержней $\vec{S}_1, \vec{S}_2, \dots, \vec{S}_9$.

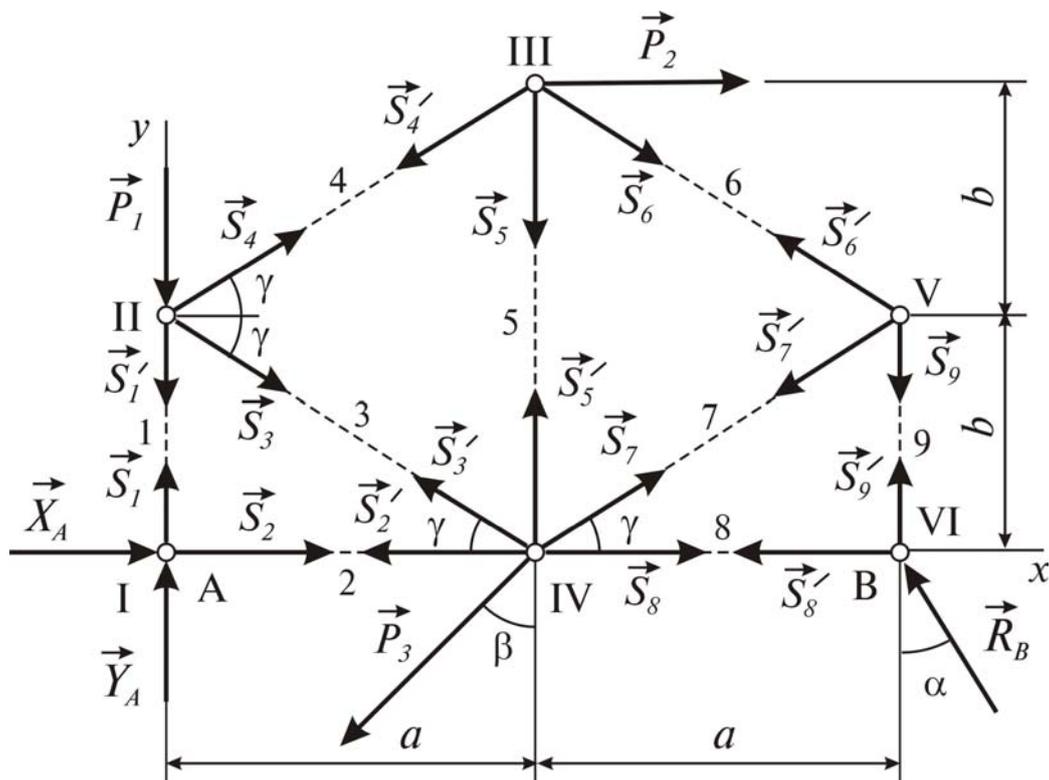


Рис. 2

Составим уравнения равновесия сил, действующих в каждом узле фермы.

Узел I	$\sum F_{ix} = 0$	$X_A + S_2 = 0$	(1)
	$\sum F_{iy} = 0$	$Y_A + S_1 = 0$	(2)
Узел II	$\sum F_{ix} = 0$	$S_3 \cos \gamma + S_4 \cos \gamma = 0$	(3)
	$\sum F_{iy} = 0$	$-S'_1 - S_3 \sin \gamma + S_4 \sin \gamma - P_1 = 0$	(4)
Узел III	$\sum F_{ix} = 0$	$-S'_4 \cos \gamma + S_6 \cos \gamma + P_2 = 0$	(5)
	$\sum F_{iy} = 0$	$-S'_4 \sin \gamma - S_6 \sin \gamma - S_5 = 0$	(6)

Узел IV	$\sum F_{ix} = 0$	$-S'_2 - S'_3 \cos \gamma + S_7 \cos \gamma + S_8 - P_3 \sin \beta = 0$	(7)
	$\sum F_{iy} = 0$	$S'_3 \sin \gamma + S'_5 + S_7 \sin \gamma - P_3 \cos \beta = 0$	(8)
Узел V	$\sum F_{ix} = 0$	$-S'_6 \cos \gamma - S'_7 \cos \gamma = 0$	(9)
	$\sum F_{iy} = 0$	$S'_6 \sin \gamma - S'_7 \sin \gamma - S_9 = 0$	(10)
Узел VI	$\sum F_{ix} = 0$	$-R_B \sin \alpha - S'_8 = 0$	(11)
	$\sum F_{iy} = 0$	$R_B \cos \alpha + S'_9 = 0$	(12)

Здесь $\sin \gamma = \frac{b}{\sqrt{a^2 + b^2}}$, $\cos \gamma = \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}$.

Систему линейных алгебраических уравнений (1)-(12) решим на ЭВМ с помощью пакета Mathcad. Для этого проведем небольшую подготовительную работу. Пронумеруем неизвестные силы в соответствии с таблицей

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
X_A	Y_A	R_B	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8	S_9

и сформируем матрицу системы M , матрицу-столбец правых частей N и матрицу-столбец неизвестных, которые здесь не выписываем: они приведены в Mathcad-документе. Для контроля решения составим уравнения равновесия внешних сил, действующих на ферму – активных сил $\vec{P}_1, \vec{P}_2, \vec{P}_3$ и реакций опор $\vec{X}_A, \vec{Y}_A, \vec{R}_B$:

$\sum F_{ix} = 0$	$X_A - R_B \sin \alpha + P_2 - P_3 \sin \beta = 0$	(13)
$\sum F_{iy} = 0$	$Y_A + R_B \cos \alpha + P_1 - P_3 \cos \beta = 0$	(14)
$\sum M_A(\vec{F}_i) = 0$	$R_B \cos \alpha \cdot 2a - P_1 \cdot 2b - P_3 \cdot a \cos \beta = 0$	(15)

Для решения системы (1)-(12) используем встроенную функцию $\text{Isolve}(M,N)$, где M – матрица системы, N – матрица-столбец правых частей. Функция Isolve возвращает матрицу-столбец решения системы.

**Mathcad-документ определения реакций стержней и реакций опор фермы
аналитическим методом вырезания узлов**

P1 := 3 P2 := 4 P3 := 5 $\alpha := \frac{\pi}{6}$ $\beta := \frac{\pi}{4}$ a := 3 b := 2

1) ← исходные данные

2) $c := \sqrt{a^2 + b^2}$ $cg := \frac{a}{c}$ $sg := \frac{b}{c}$ ← $cg = \cos \gamma$, $sg = \sin \gamma$

3) M :=
$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & -sg & sg & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -cg & 0 & cg & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -sg & -1 & -sg & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & -cg & 0 & 0 & 0 & cg & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & sg & 0 & 1 & 0 & sg & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & sg & -sg & 0 & -1 \\ 0 & 0 & -\sin(\alpha) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & \cos(\alpha) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$
 ← матрица системы уравнений (1)-(12)

4) N :=
$$\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ P1 \\ -P2 \\ 0 \\ P3 \cdot \sin(\beta) \\ P3 \cdot \cos(\beta) \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$
 ← матрица-столбец правых частей системы уравнений (1)-(12)

5) $\begin{pmatrix} XA \\ YA \\ RB \\ S1 \\ S2 \\ S3 \\ S4 \\ S5 \\ S6 \\ S7 \\ S8 \\ S9 \end{pmatrix} := \text{Isolve}(M, N)$

← значения неизвестных, возвращаемых функцией Isolve, присваиваются элементам матрицы- столбца неизвестных

6) $\begin{pmatrix} XA \\ YA \\ RB \\ S1 \\ S2 \\ S3 \\ S4 \\ S5 \\ S6 \\ S7 \\ S8 \\ S9 \end{pmatrix} =$

	0
0	2.096
1	2.101
2	5.12
3	-2.101
4	-2.096
5	-0.81
6	0.81
7	1.768
8	-3.997
9	3.997
10	-2.56
11	-4.434

← вывод значений неизвестных: вводится матрица-столбец неизвестных, затем нажимается клавиша <=>; Mathcad таблицу значений неизвестных

$XA = 2.096 \quad YA = 2.101 \quad RB = 5.12 \quad S1 = -2.101 \quad S2 = -2.096$

7) $S3 = -0.81 \quad S4 = 0.81 \quad S5 = 1.768 \quad S6 = -3.997 \quad S7 = 3.997$

← иной вывод неизвестных

$S8 = -2.56 \quad S9 = -4.434$

8)
$$XA - RB \cdot \sin(\alpha) + P2 - P3 \cdot \sin(\beta) = 0 \quad (13)$$

$$YA - P1 - P3 \cdot \cos(\beta) + RB \cdot \cos(\alpha) = 0 \quad (14)$$

← проверка решения

$$RB \cdot \cos(\alpha) \cdot 2 \cdot a - P2 \cdot 2 \cdot b - P3 \cdot \cos(\beta) \cdot a = -3.553 \times 10^{-15} \quad (15)$$

Расчет показал, что 1, 2, 3, 6, 8 и 9 стержни сжаты.

► Замечание

Матрица системы уравнений (1)-(12) содержит много нулей, поэтому можно получить решение системы в символьном виде, т.е. для каждой неизвестной Mathcad выдаст аналитическую формулу, выражающую ее через исходные величины. Чтобы получить символьное решение, нужно в Mathcad-документе выполнить следующие изменения:

пункт «1)» убрать: исходным данным следует присвоить значения после того, как символьное решение будет получено;

в пункте «б)» после набора матрицы-столбца неизвестных ввести символический знак равенства $\langle \rightarrow \rangle$, используя панель «Символические операторы» или комбинацию клавиш $\langle \text{Ctrl} \rangle + \langle . \rangle$; после щелчка левой кнопкой мыши на свободной части рабочего листа Mathcad выведет матрицу-столбец решения задачи в символьном виде.

Для того чтобы вывести числовые значения неизвестных, нужно в следующем пункте присвоить исходным данным числовые значения.

Фрагмент Mathcad -документа символьного решения системы (1) -(12)

5)

- (XA
- YA
- RB
- S1
- S2
- S3
- S4
- S5
- S6
- S7
- S8
- S9)

→

$$\left[\begin{array}{l} \frac{1}{2} \cdot \frac{2 \cdot P2 \cdot \sin(\alpha) \cdot b - 2 \cdot P2 \cdot \cos(\alpha) \cdot a + 2 \cdot P3 \cdot \sin(\beta) \cdot \cos(\alpha) \cdot a + \sin(\alpha) \cdot P3 \cdot \cos(\beta) \cdot a}{\cos(\alpha) \cdot a} \\ \frac{1}{2} \cdot \frac{2 \cdot P1 \cdot a - 2 \cdot P2 \cdot b + P3 \cdot \cos(\beta) \cdot a}{a} \\ \frac{1}{2} \cdot \frac{2 \cdot P2 \cdot b + P3 \cdot \cos(\beta) \cdot a}{\cos(\alpha) \cdot a} \\ \frac{-1}{2} \cdot \frac{2 \cdot P1 \cdot a - 2 \cdot P2 \cdot b + P3 \cdot \cos(\beta) \cdot a}{a} \\ \frac{-1}{2} \cdot \frac{2 \cdot P2 \cdot \sin(\alpha) \cdot b - 2 \cdot P2 \cdot \cos(\alpha) \cdot a + 2 \cdot P3 \cdot \sin(\beta) \cdot \cos(\alpha) \cdot a + \sin(\alpha) \cdot P3 \cdot \cos(\beta) \cdot a}{\cos(\alpha) \cdot a} \\ \frac{1}{4} \cdot (a^2 + b^2)^2 \cdot \frac{(-2) \cdot P2 \cdot b + P3 \cdot \cos(\beta) \cdot a}{a \cdot b} \\ \frac{-1}{4} \cdot (a^2 + b^2)^2 \cdot \frac{(-2) \cdot P2 \cdot b + P3 \cdot \cos(\beta) \cdot a}{a \cdot b} \\ \frac{1}{2} \cdot P3 \cdot \cos(\beta) \\ \frac{-1}{4} \cdot (a^2 + b^2)^2 \cdot \frac{2 \cdot P2 \cdot b + P3 \cdot \cos(\beta) \cdot a}{a \cdot b} \\ \frac{1}{4} \cdot (a^2 + b^2)^2 \cdot \frac{2 \cdot P2 \cdot b + P3 \cdot \cos(\beta) \cdot a}{a \cdot b} \\ \frac{-1}{2} \cdot \sin(\alpha) \cdot \frac{2 \cdot P2 \cdot b + P3 \cdot \cos(\beta) \cdot a}{\cos(\alpha) \cdot a} \\ \frac{-1}{2} \cdot \frac{2 \cdot P2 \cdot b + P3 \cdot \cos(\beta) \cdot a}{a} \end{array} \right]$$

6) P1 := 3 P2 := 4 P3 := 5 $\alpha := \frac{\pi}{6}$ $\beta := \frac{\pi}{4}$ a := 3 b := 2

ПРИЛОЖЕНИЕ 3. АЛЬБОМ ЗАДАНИЙ ПО СТАТИКЕ

Альбом заданий включает схемы конструкций, исходные данные и варианты искомых величин по каждой из частей курсовой работы.

► Часть 1.

Альбом содержит 32 схемы плоских ферм, каждая из которых нагружена пятью силами. Схемы ферм расположены на с. 51-54 (по восемь схем на странице). Номера схем содержат символ «Ф», например, Ф09 – это девятая схема. Внизу каждой страницы приводится таблица вариантов расчета (пять вариантов) и числовых значений исходных величин. При выдаче задания студенту сообщается номер схемы фермы и номер варианта расчета (последний берется из таблицы, расположенной на той странице, где находится схема фермы).

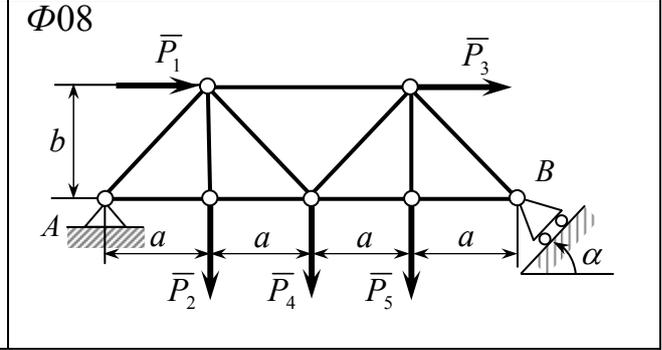
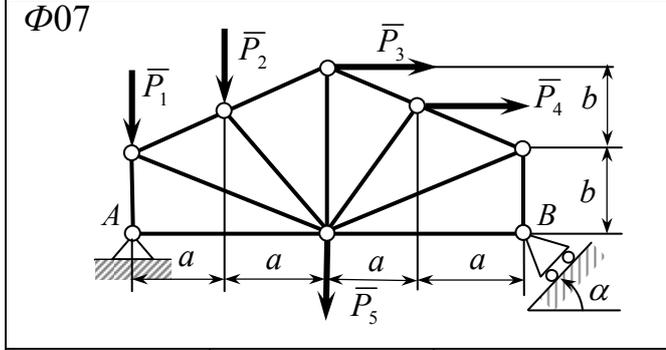
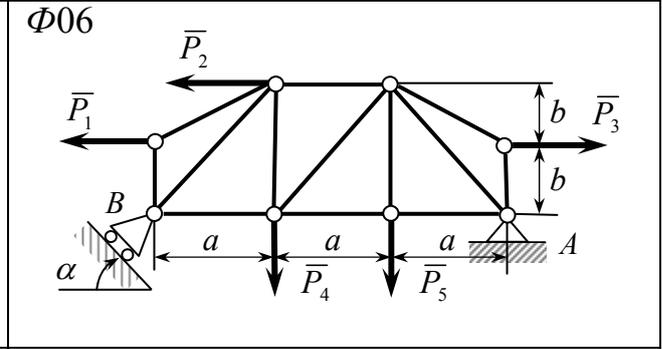
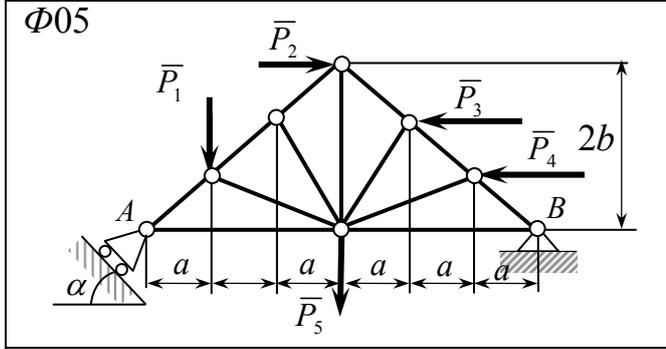
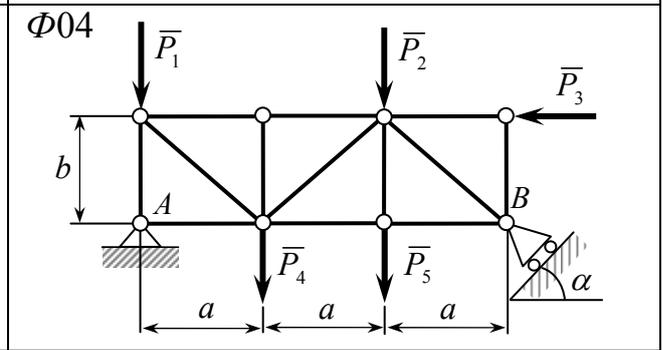
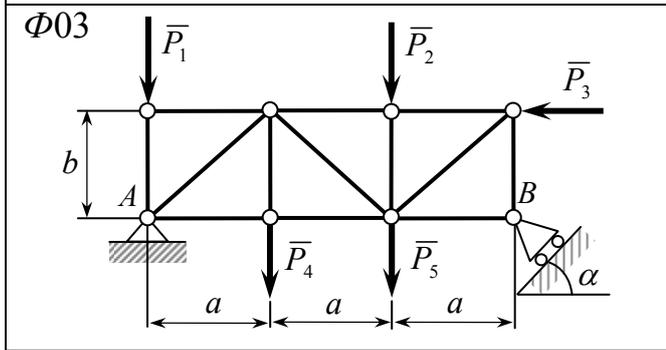
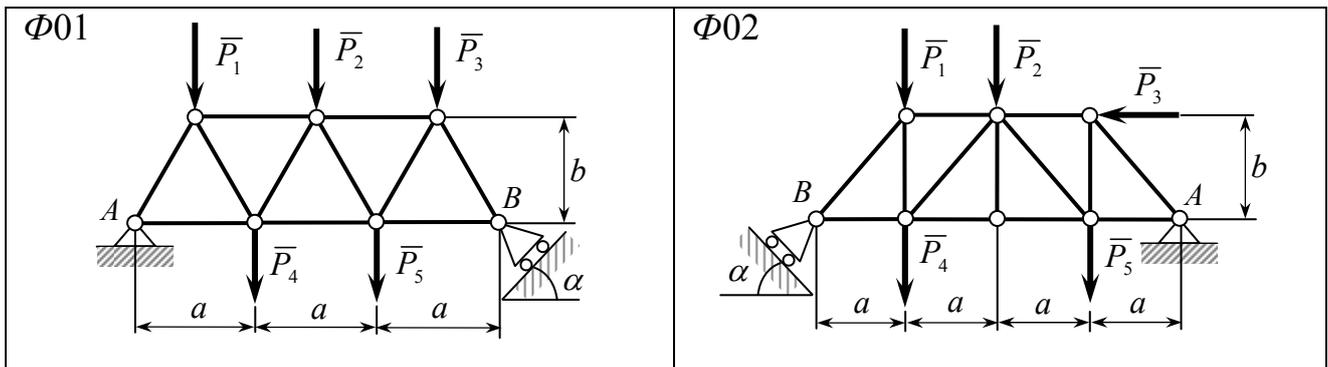
Внимание: расчет проводится на нагрузку, указанную в варианте расчета, т. е. во внимание принимаются только силы, указанные в заданном варианте (их две), *остальные во внимание не принимаются!*

► Часть 2.

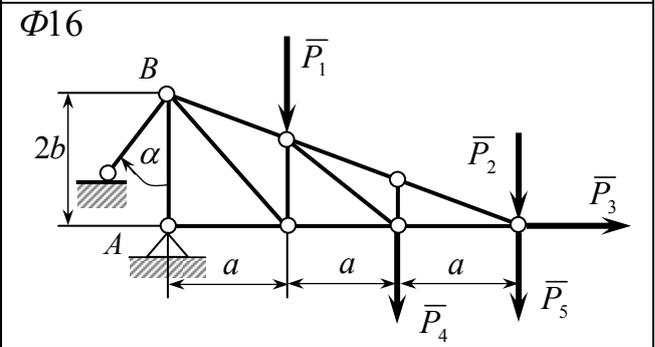
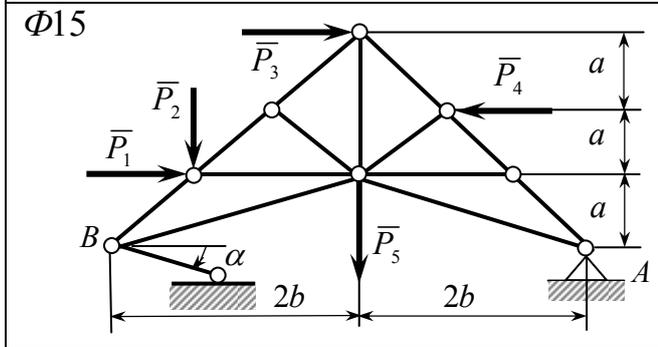
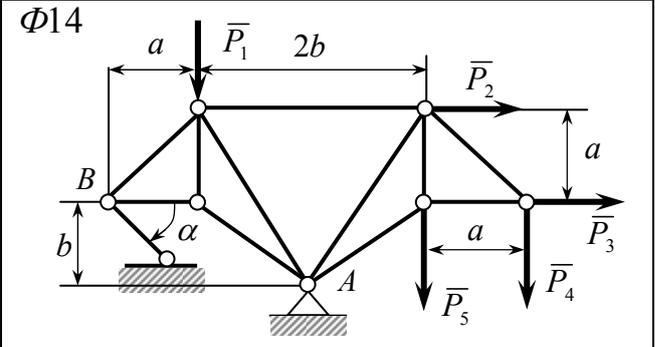
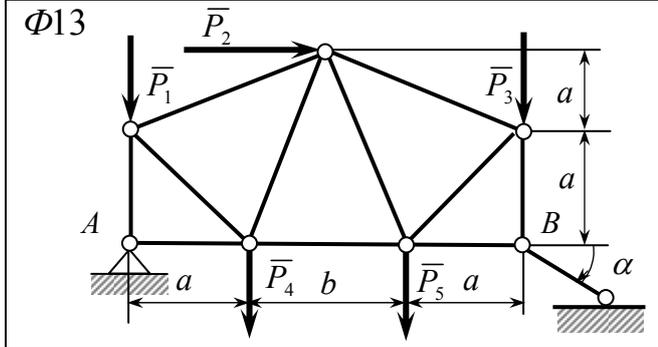
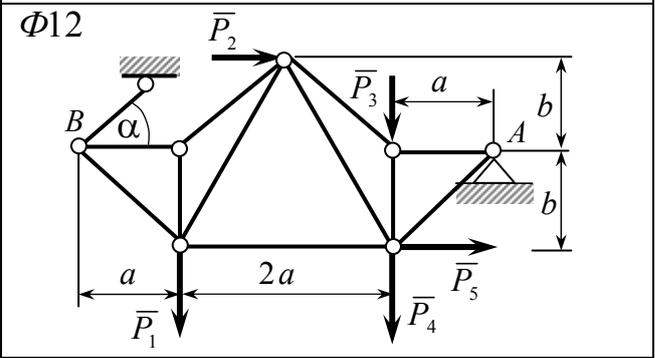
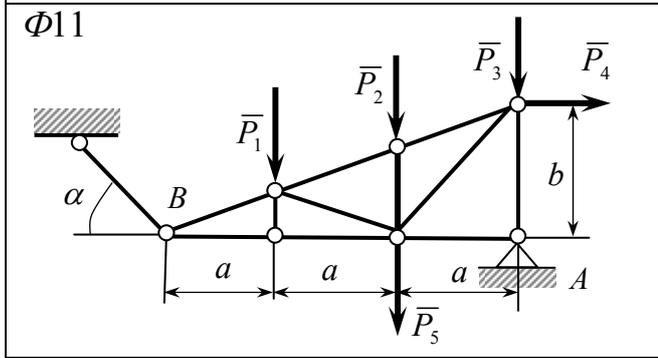
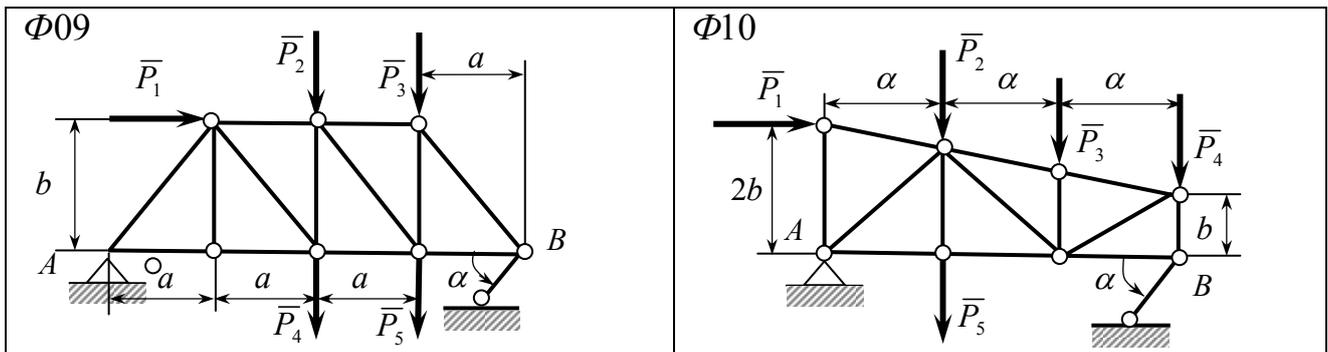
Альбом содержит 120 схем плоских составных конструкций, расположенных на с. 55-69. Вариант задания включает 4 конструкции разных типов. На каждой странице приведено по два варианта. Номера схем содержат три цифры, например, 123, 223, 323, 423. Здесь первые цифры, т.е. 1, 2, 3, 4, означают тип конструкции, вторые две, т.е. 23 – номер варианта, в который включены эти схемы. Вариант задания включает, кроме схем конструкций, вариант числовых значений исходных величин (берется из таблицы, расположенной на той странице, где приведены схемы конструкций) и вариант искомых реакций. Таблица вариантов искомых реакций расположена на с. 71-74.

► Часть 3.

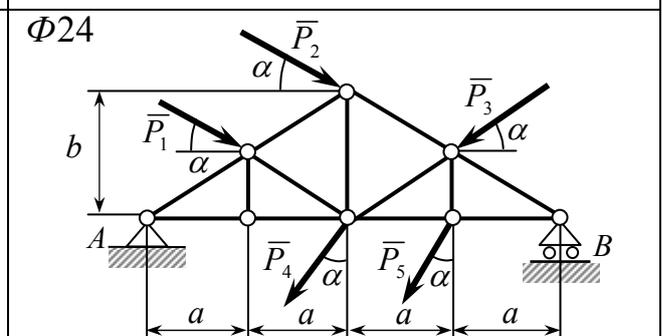
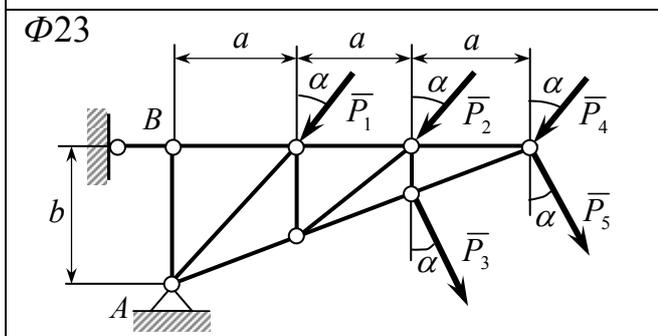
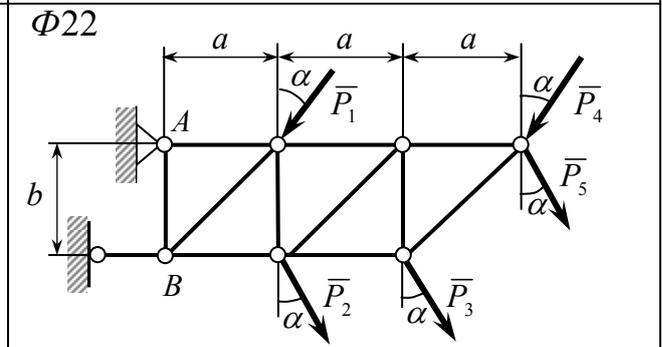
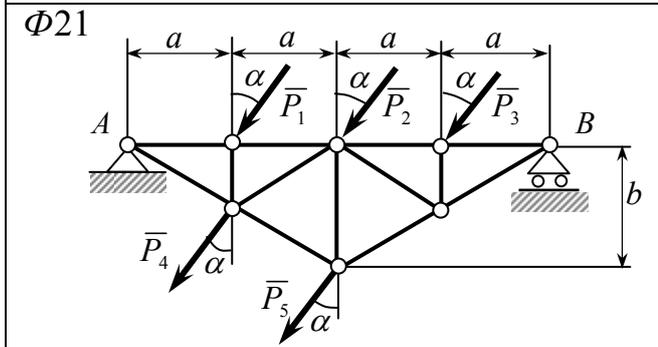
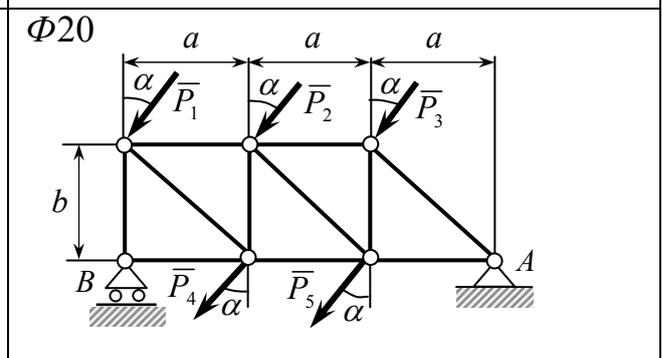
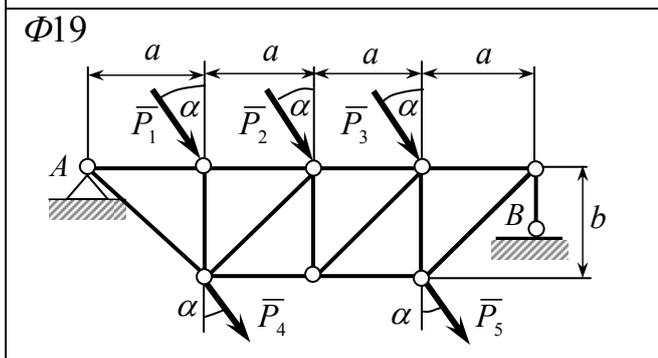
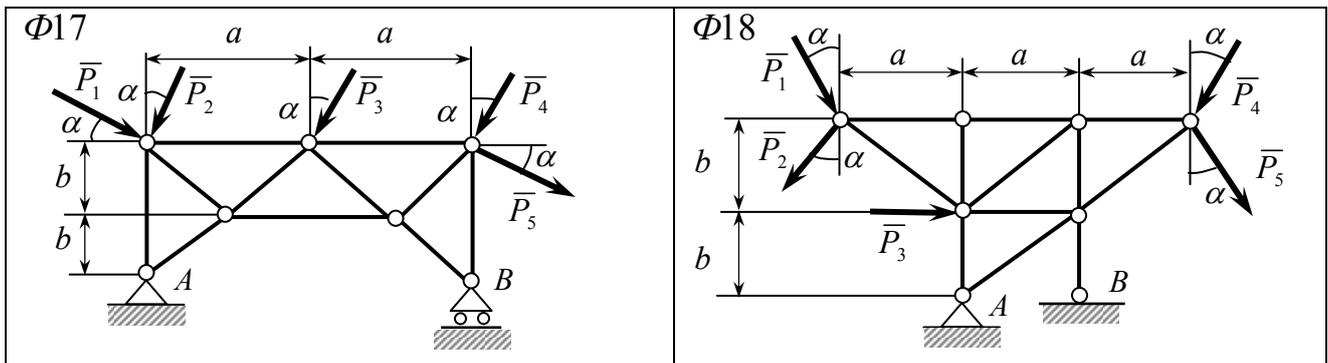
Альбом заданий содержит 30 схем пространственных конструкций, схемы которых приведены на с. 75-79. Номера схем содержат символ «П», например, П09 и П30 – это номера девятой и тридцатой конструкции. При выдаче задания студенту указывается номер конструкции и вариант числовых значений исходных величин (последний берется из таблицы, расположенной на той странице, где приведена схема конструкции).



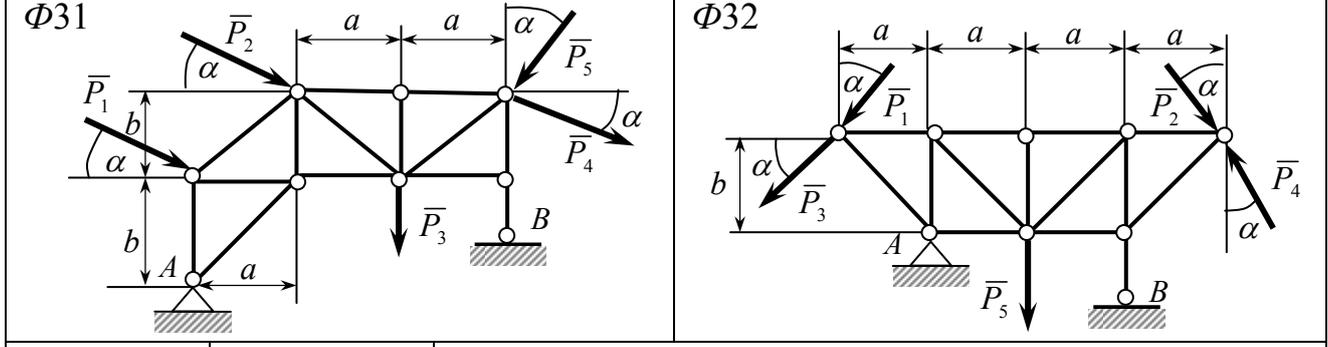
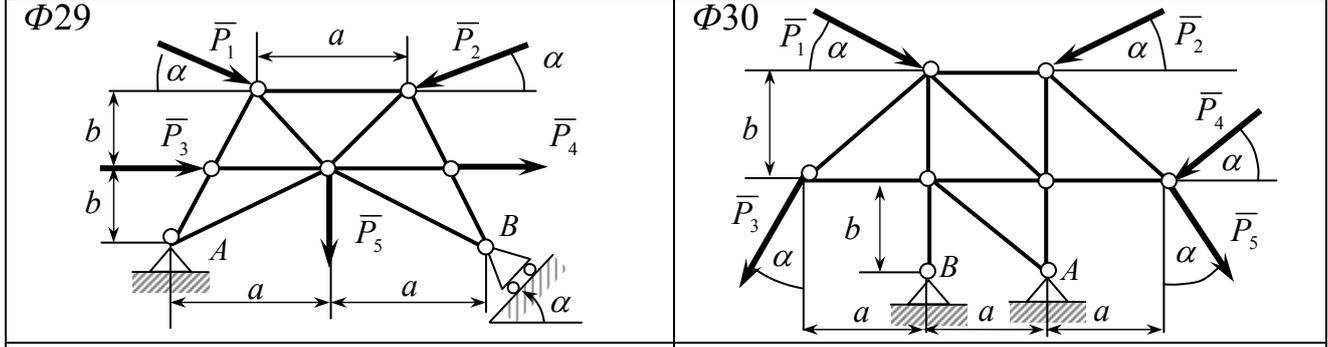
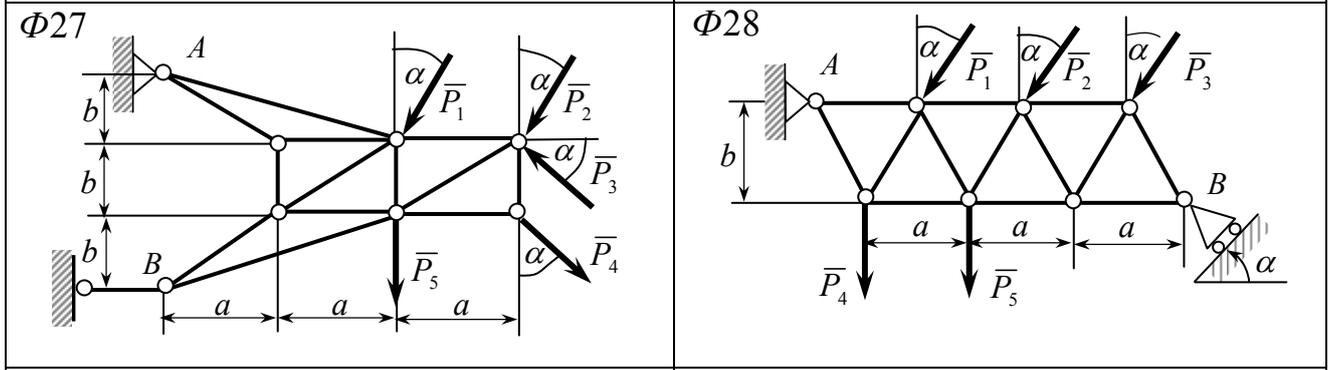
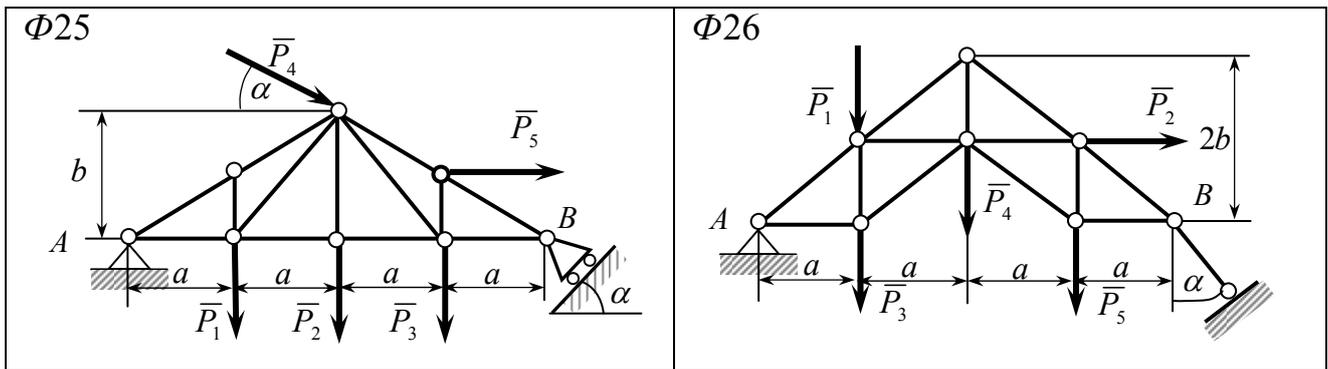
Величины	Единицы измерения	№ варианта				
		1	2	3	4	5
P	кН	\bar{P}_1, \bar{P}_3	\bar{P}_2, \bar{P}_4	\bar{P}_4, \bar{P}_5	\bar{P}_1, \bar{P}_2	\bar{P}_3, \bar{P}_5
a	м	0,4	0,5	1,0	0,8	0,7
b	м	0,6	1,0	2,0	0,8	1,4
α	град	30	60	45	0	75
$P_1 = 12, P_2 = 4, P_3 = 20, P_4 = 8, P_5 = 16$						



Величины	Единицы измерения	№ варианта				
		1	2	3	4	5
P	$кН$	\bar{P}_2, \bar{P}_4	\bar{P}_4, \bar{P}_5	\bar{P}_1, \bar{P}_5	\bar{P}_1, \bar{P}_3	\bar{P}_2, \bar{P}_3
a	$м$	1.0	0,8	0.6	1.2	0,4
b	$м$	1.2	1,0	0.8	1.4	0.6
α	$град$	45	60	45	90	15
$P_1=10, P_2=25, P_3=15, P_4=20, P_5=10$						

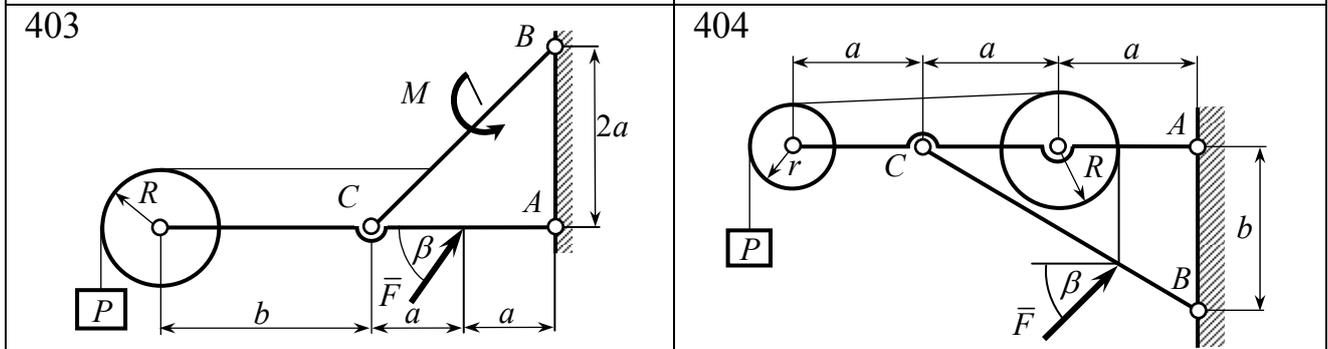
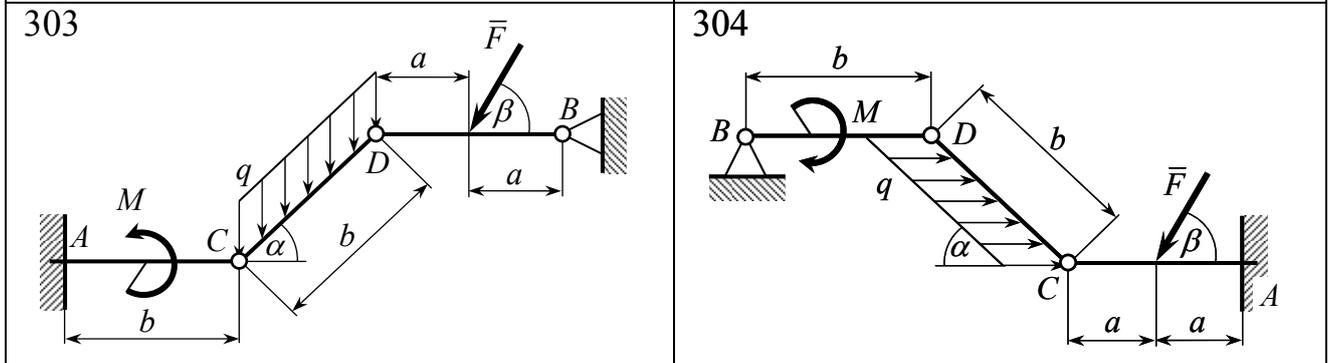
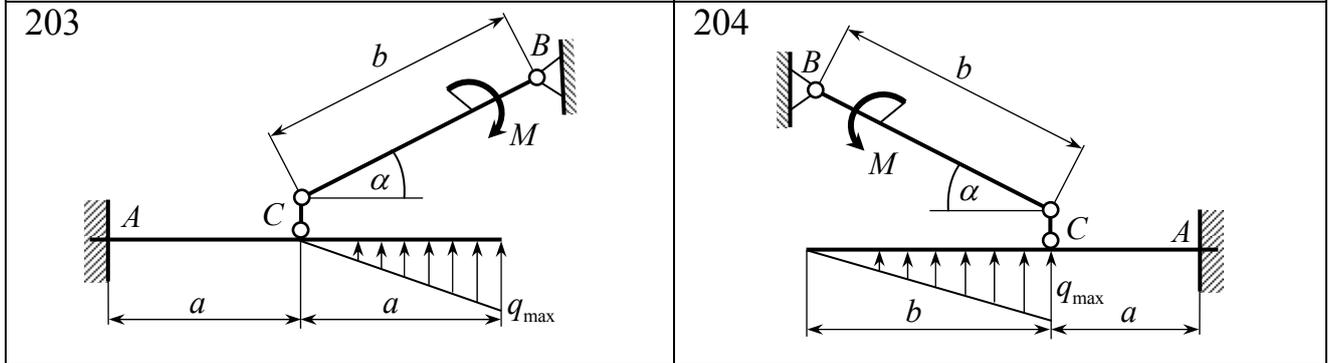
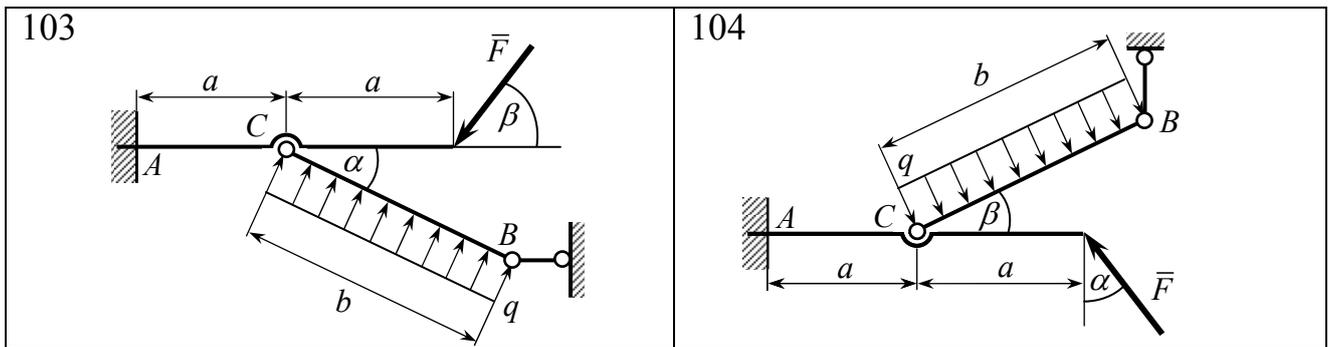


Величины	Единицы измерения	№ варианта				
		1	2	3	4	5
P	кН	\bar{P}_1, \bar{P}_4	\bar{P}_2, \bar{P}_5	\bar{P}_1, \bar{P}_5	\bar{P}_3, \bar{P}_4	\bar{P}_2, \bar{P}_4
a	м	0,5	0,6	0,8	1,0	0,7
b	м	0,6	0,8	0,9	1,2	0,8
α	град	30	0	45	75	60
$P_1 = 28, P_2 = 16, P_3 = 32, P_4 = 24, P_5 = 40$						

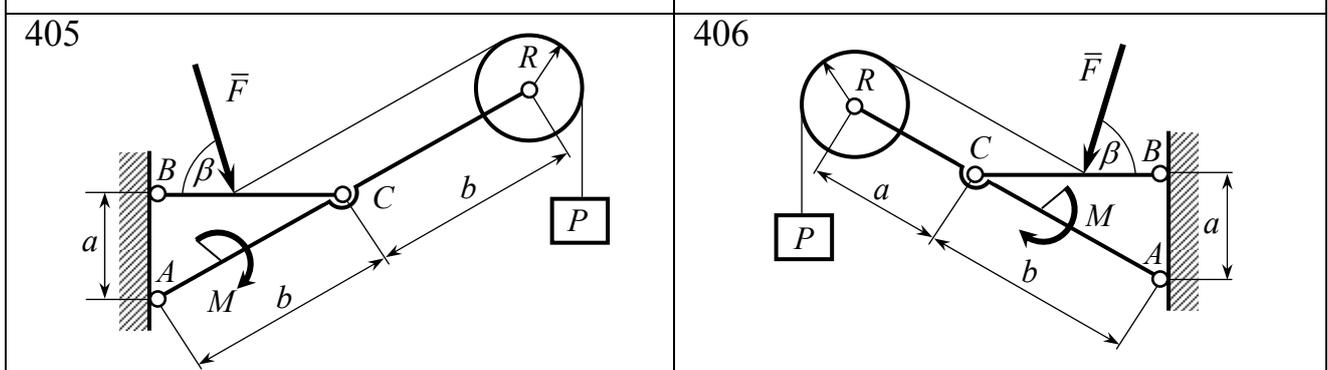
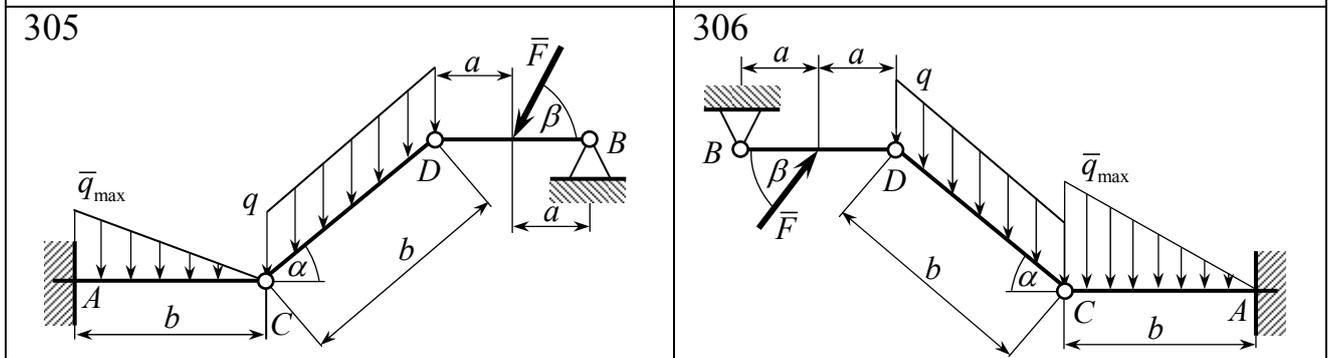
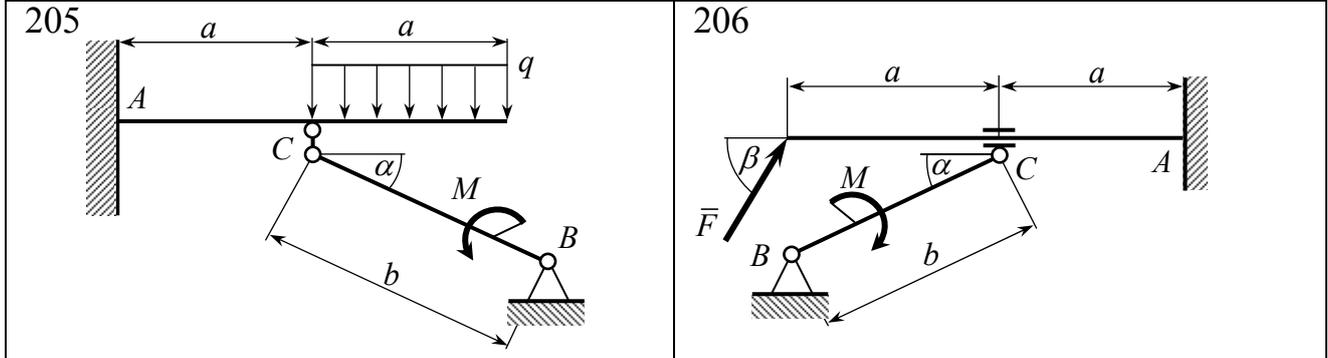
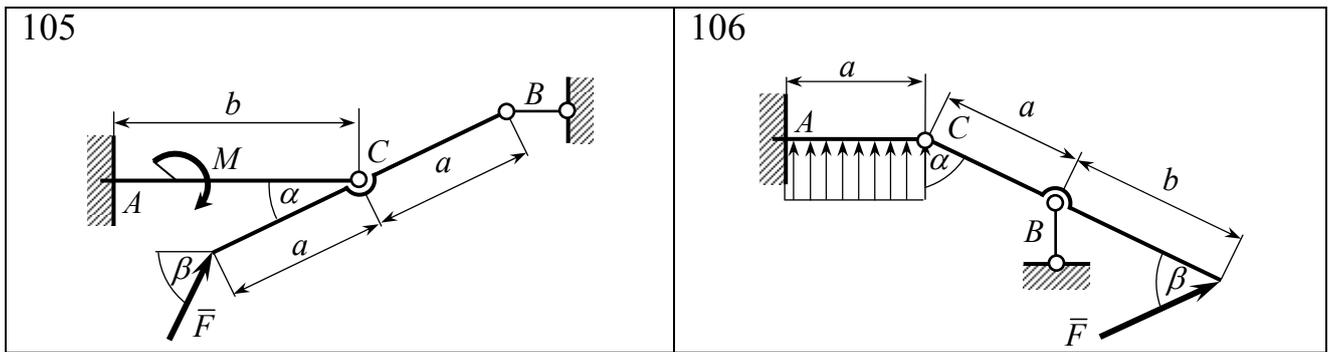


Величины	Единицы измерения	№ варианта				
		1	2	3	4	5
P	кН	\bar{P}_2, \bar{P}_5	\bar{P}_4, \bar{P}_1	\bar{P}_1, \bar{P}_5	\bar{P}_2, \bar{P}_3	\bar{P}_3, \bar{P}_4
a	м	0,4	0,6	1,0	0,8	1,1
b	м	0,6	0,8	10	0,9	1,2
α	град	45	60	75	30	45
$P_1 = 30, P_2 = 20, P_3 = 10, P_4 = 50, P_5 = 40$						

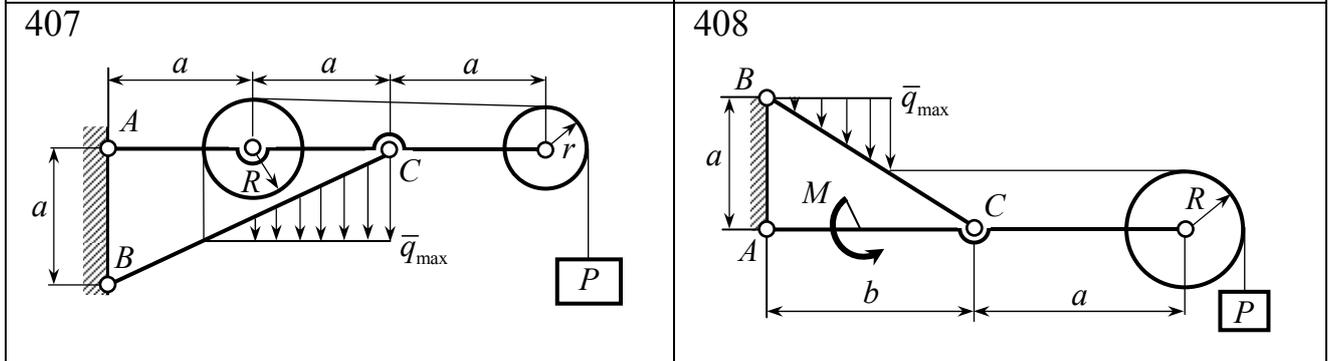
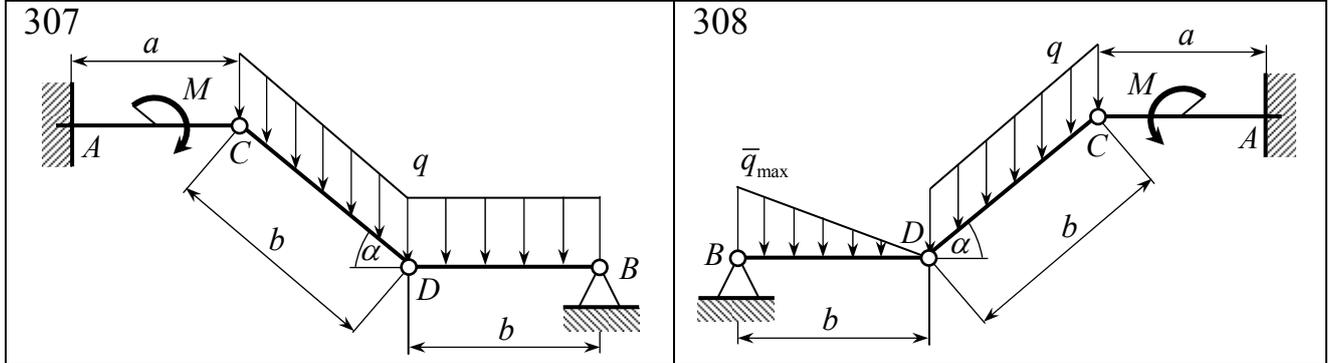
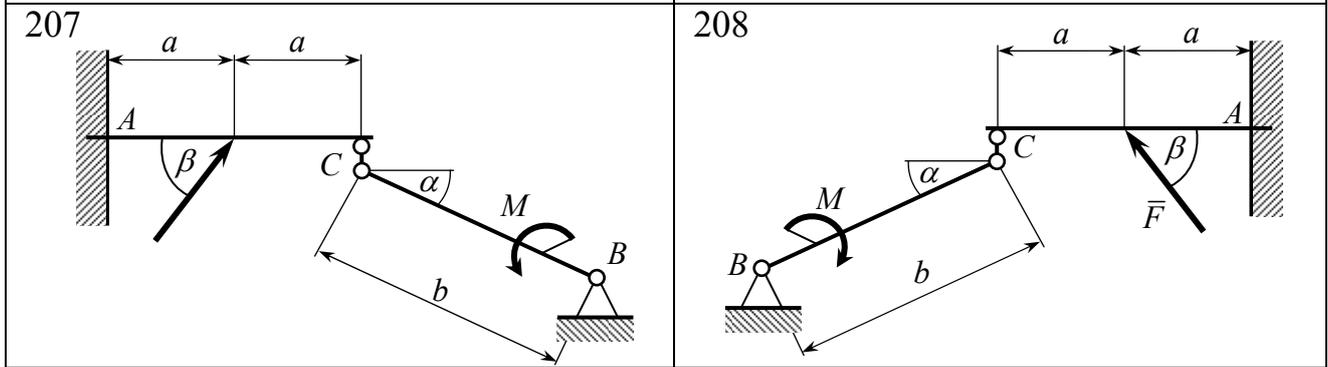
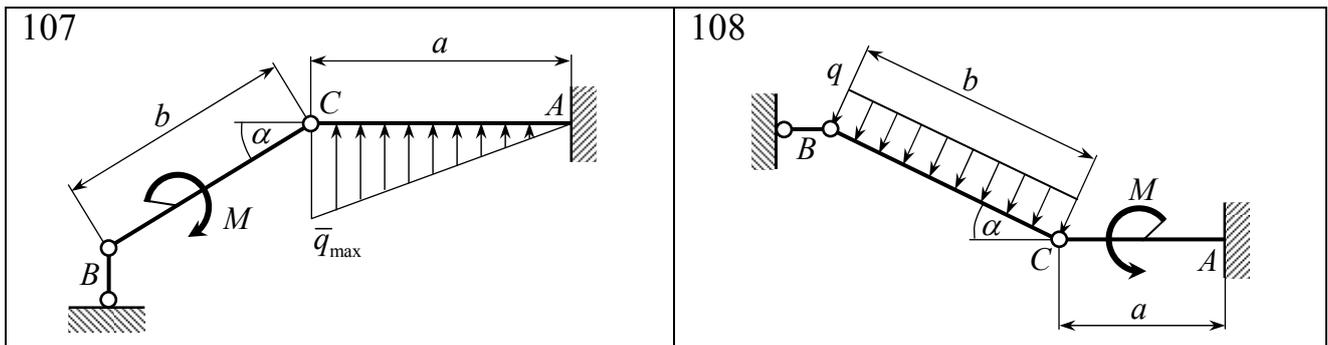
101						102					
201						202					
301						302					
401						402					
№	F κH	P κH	q $\kappa H / M$	q_{\max} $\kappa H / M$	M $\kappa H \cdot m$	a m	b m	r m	R m	α $град$	β $град$
1	3	4	2	1	4	0.6	2	0.1	0.2	30	60
2	1	6	3	4	5	0.5	1	0.2	0.3	45	120
3	4	2	5	2	3	0.9	2	0.3	0.4	60	150
4	8	5	4	8	1	0.4	1	0.1	0.2	150	45
5	6	3	7	6	2	0.8	2	0.4	0.5	120	30



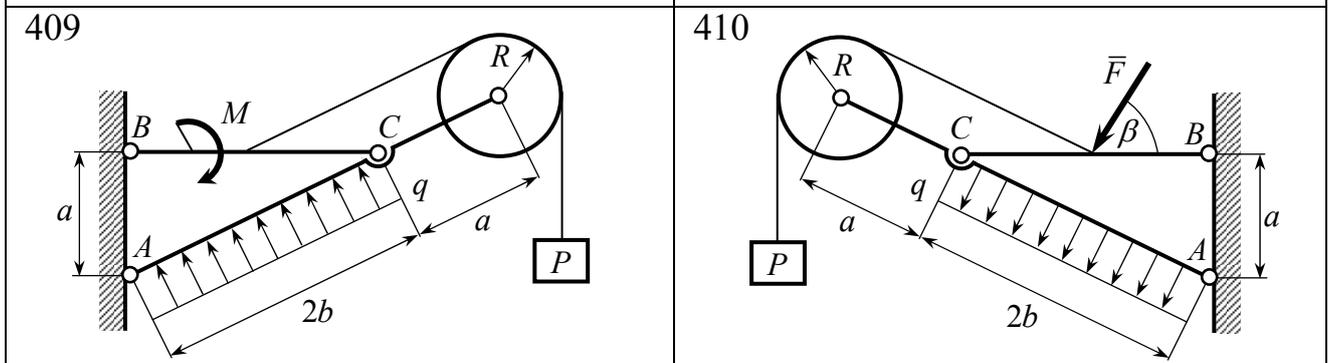
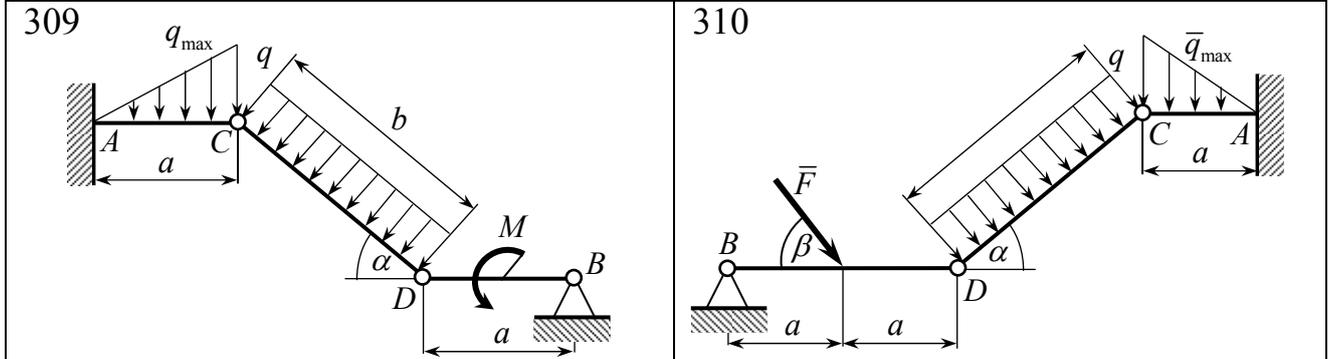
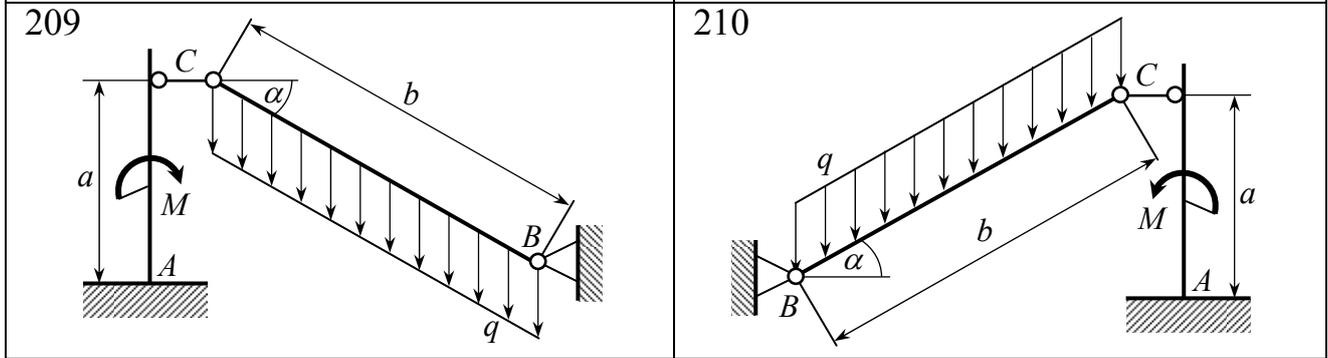
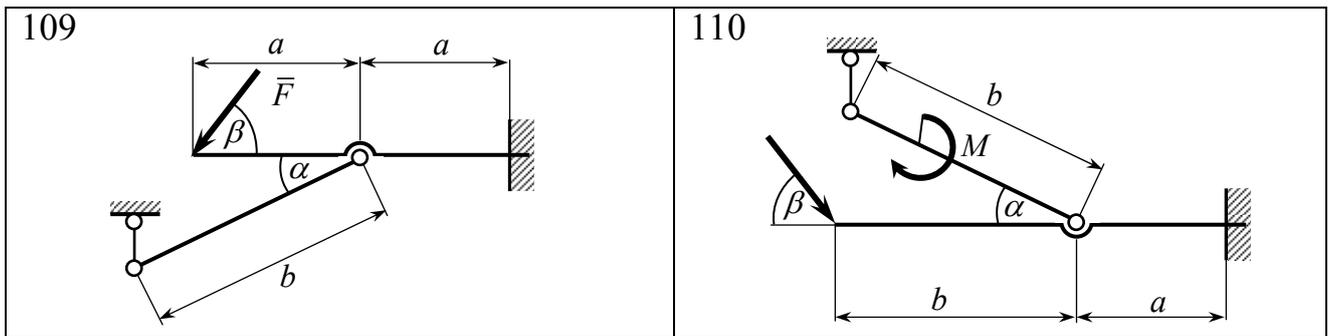
№	F κH	P κH	q $\kappa H / m$	q_{max} $\kappa H / m$	M $\kappa H m$	a m	b m	r m	R m	α $град$	β $град$
1	2	10	3	8	5	1	2	0.1	0.2	30	60
2	4	7	4	6	3	2	3	0.2	0.3	45	150
3	6	6	5	4	1	3	4	0.3	0.4	60	120
4	8	4	6	2	4	4	5	0.4	0.5	45	60
5	10	2	7	10	2	5	6	0.5	0.6	30	45



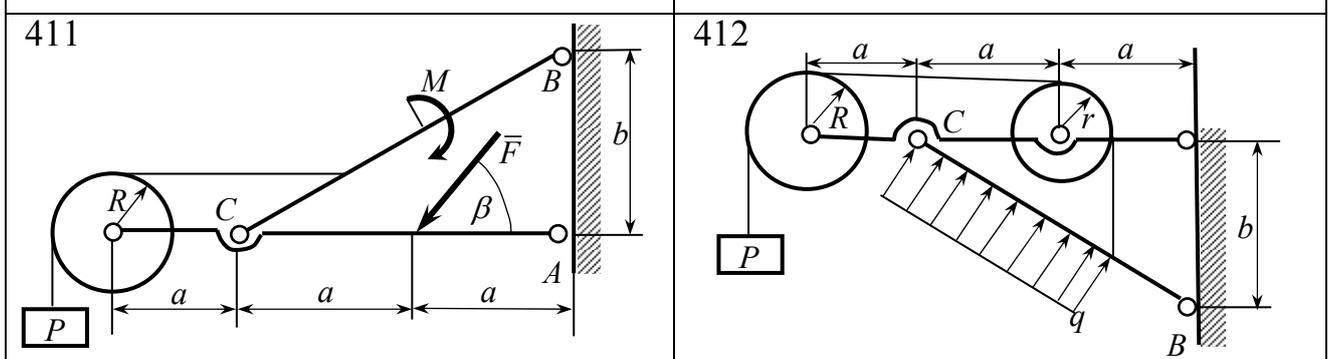
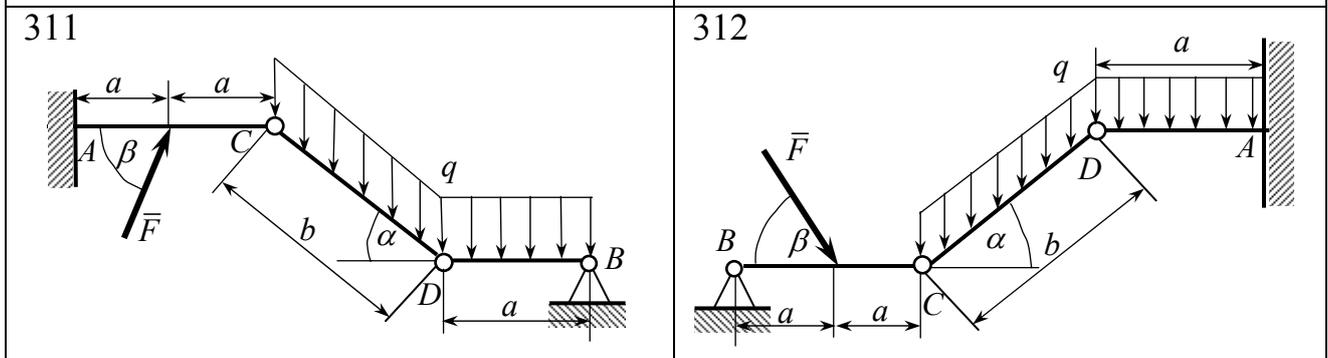
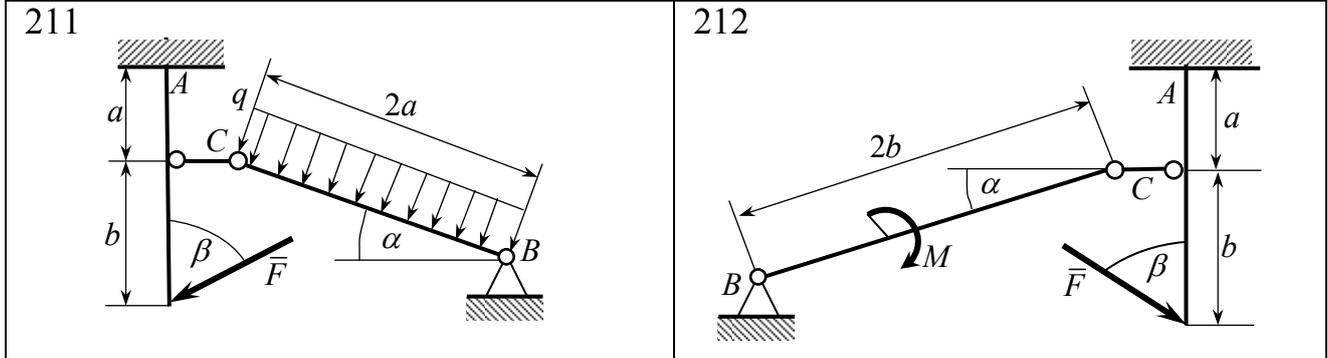
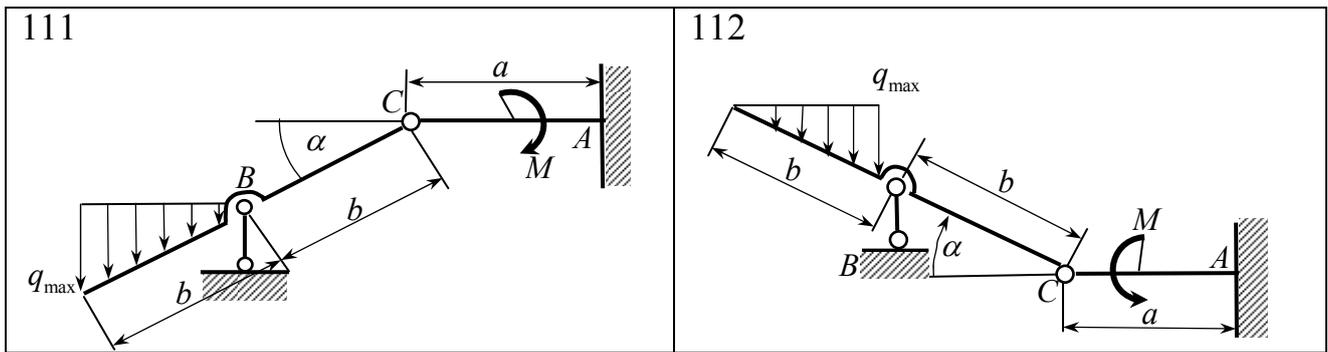
№	F κH	P κH	q $\kappa H / m$	q_{max} $\kappa H / m$	M $\kappa H m$	a m	b m	r m	R m	α $град$	β $град$
1	9	2	0.9	0.2	1	0.5	1.0	0.3	0.4	45	60
2	7	4	0.7	0.4	3	1.0	1.5	0.4	0.5	30	45
3	5	6	0.5	0.6	2	1.5	2.0	0.5	0.6	60	120
4	3	8	0.3	0.8	4	2.0	2.5	0.6	0.7	30	30
5	1	10	0.1	1.0	5	2.5	3.0	0.7	0.8	45	150



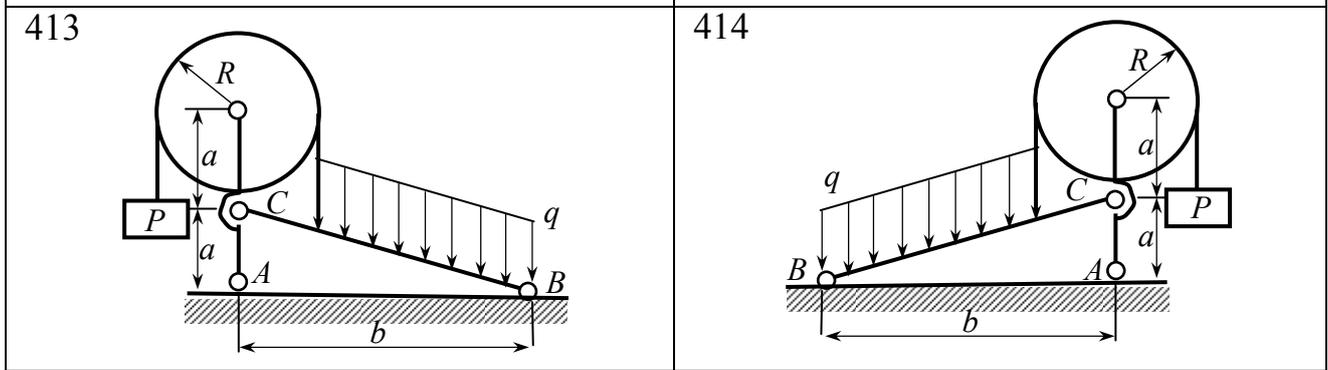
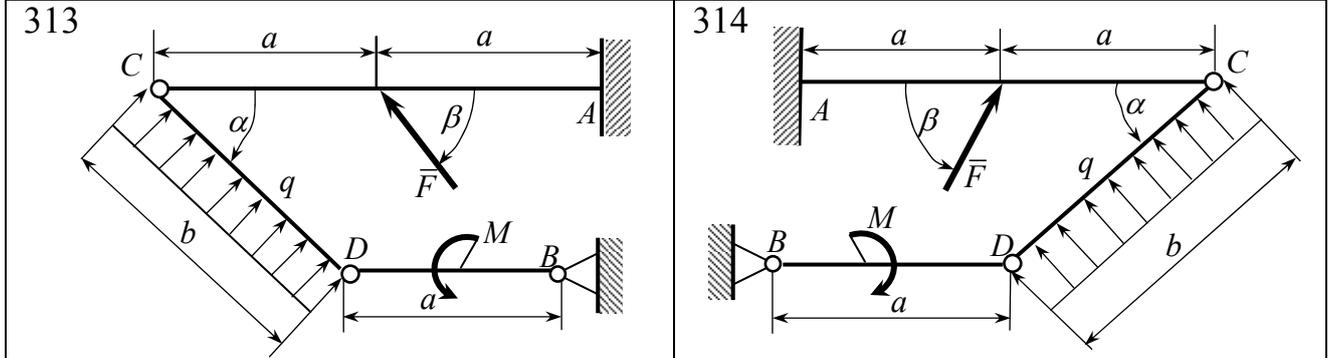
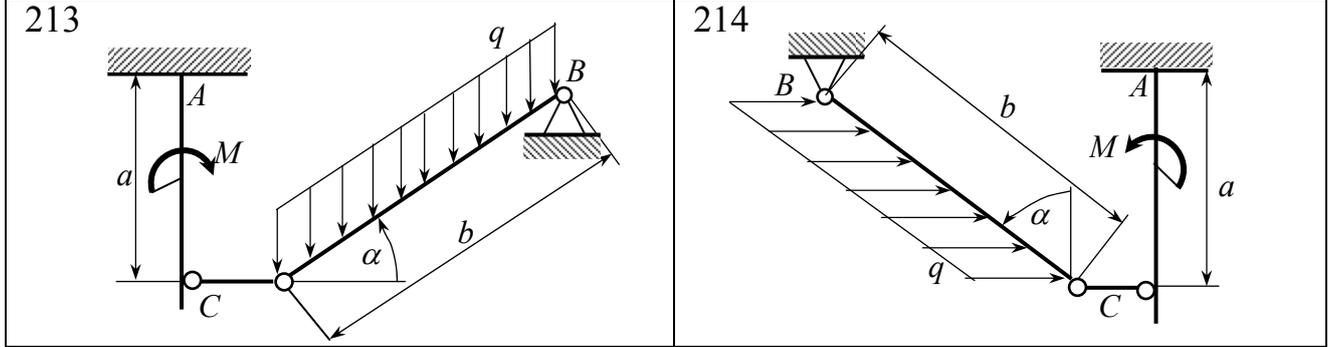
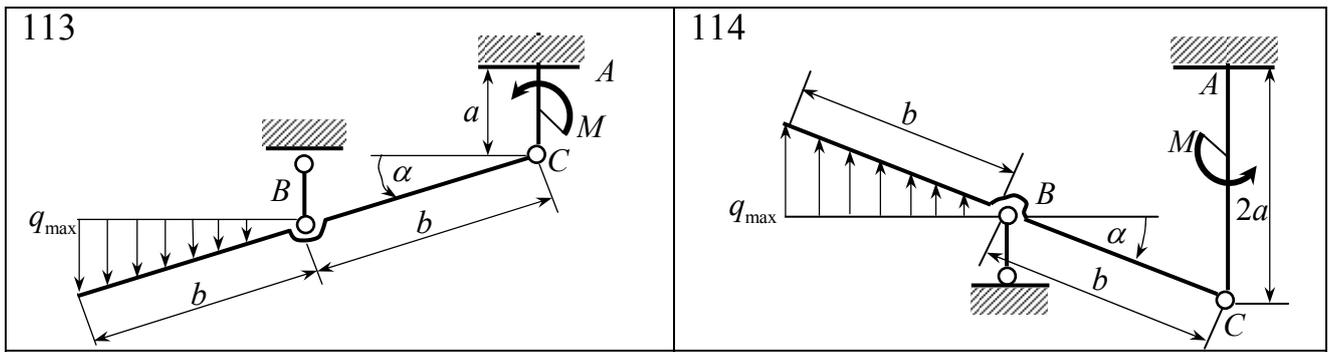
№	F κH	P κH	q $\kappa H/м$	q_{\max} $\kappa H/м$	M $\kappa H м$	a $м$	b $м$	r $м$	R $м$	α $град$	β $град$
1	10	18	1	2	5	0.3	0.6	0.1	0.2	60	45
2	12	16	2	4	10	0.6	0.9	0.3	0.5	45	30
3	14	12	3	6	15	0.9	1.2	0.2	0.4	30	120
4	16	14	4	8	10	1.2	1.5	0.6	0.8	45	60
5	18	10	5	10	5	1.5	1.8	0.5	1.0	60	150



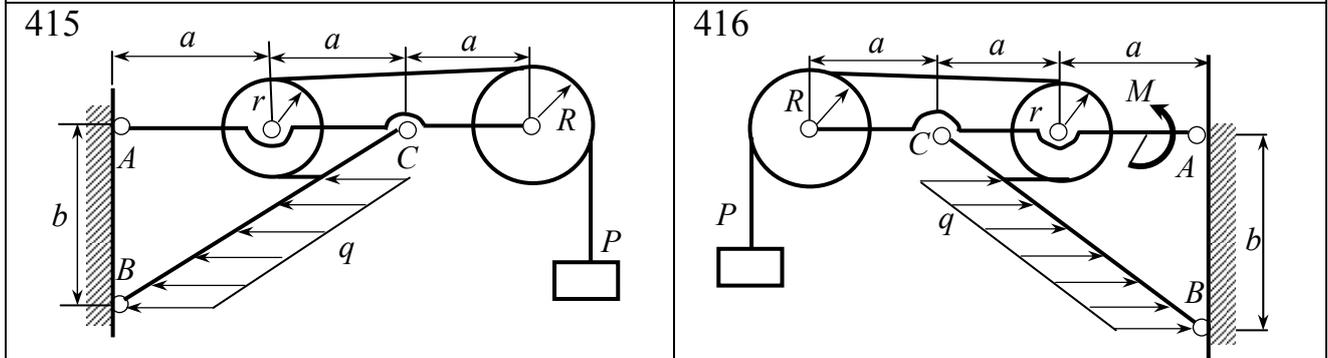
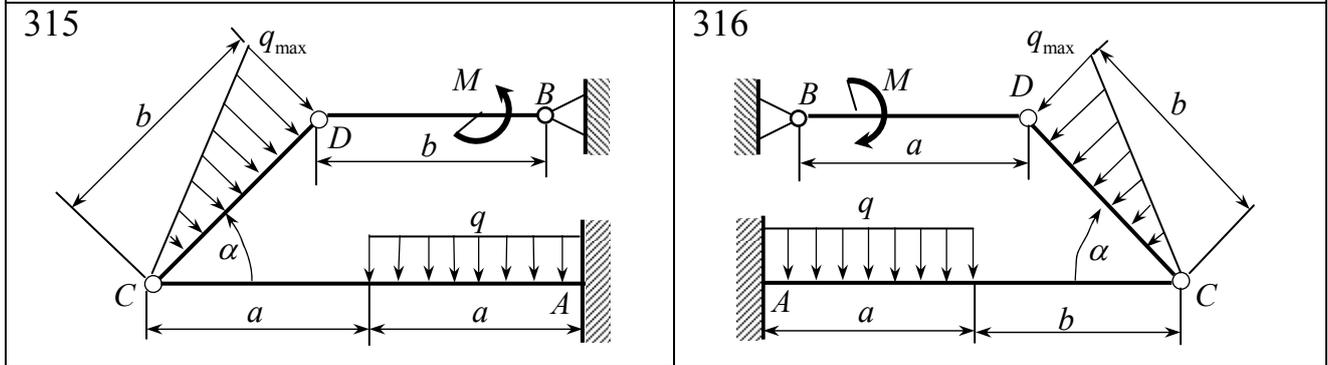
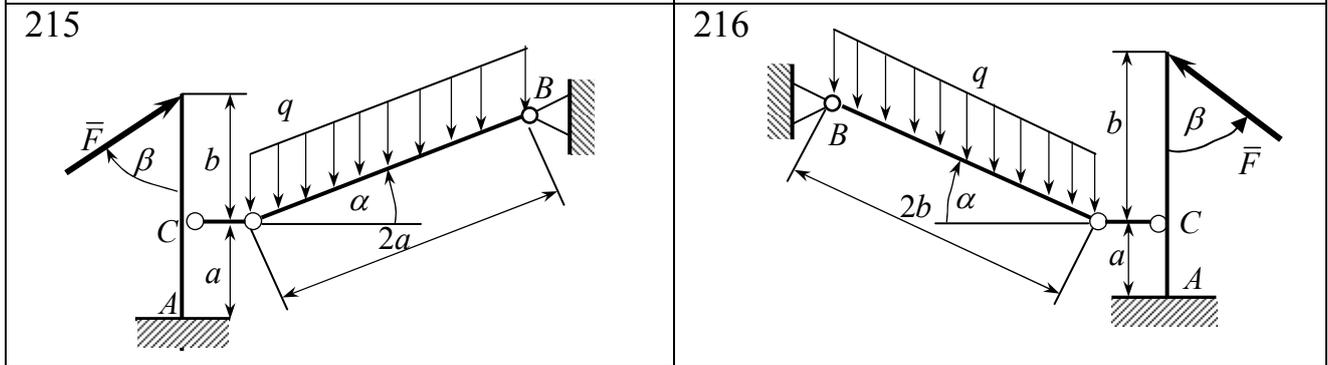
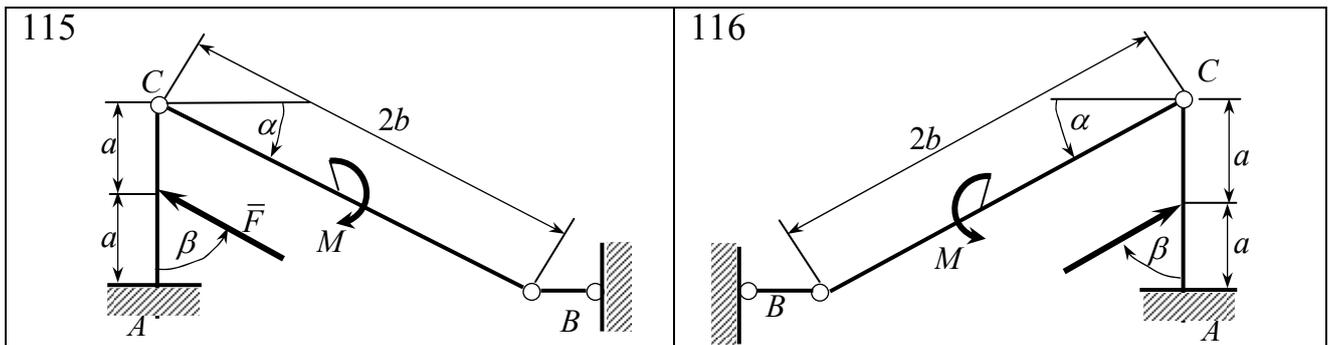
№	F κH	P κH	q $\kappa H / M$	q_{\max} $\kappa H / M$	M $\kappa H \text{ м}$	a м	b м	r м	R м	α град	β град
1	10	50	3	10	2	1.0	1.2	0.5	0.6	45	30
2	20	40	5	8	3	1.2	1.4	0.6	0.7	30	45
3	30	30	7	6	2	1.4	1.6	0.7	0.8	30	60
4	40	20	9	4	3	1.6	1.8	0.6	0.7	45	150
5	50	10	11	2	4	1.8	2.0	0.5	0.6	60	120



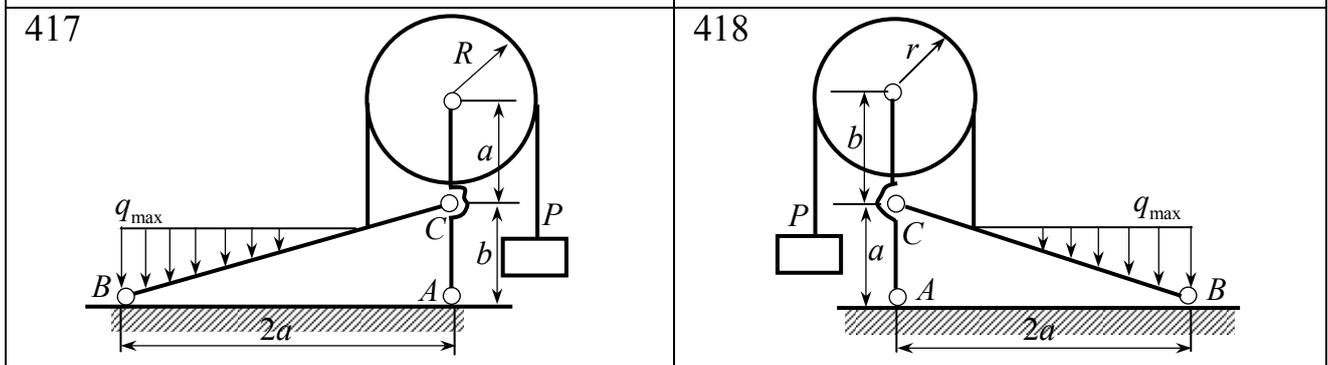
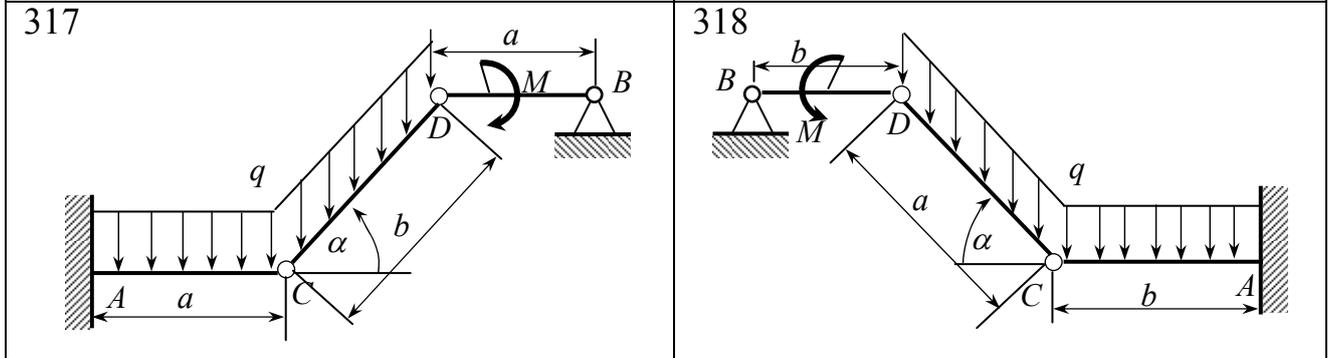
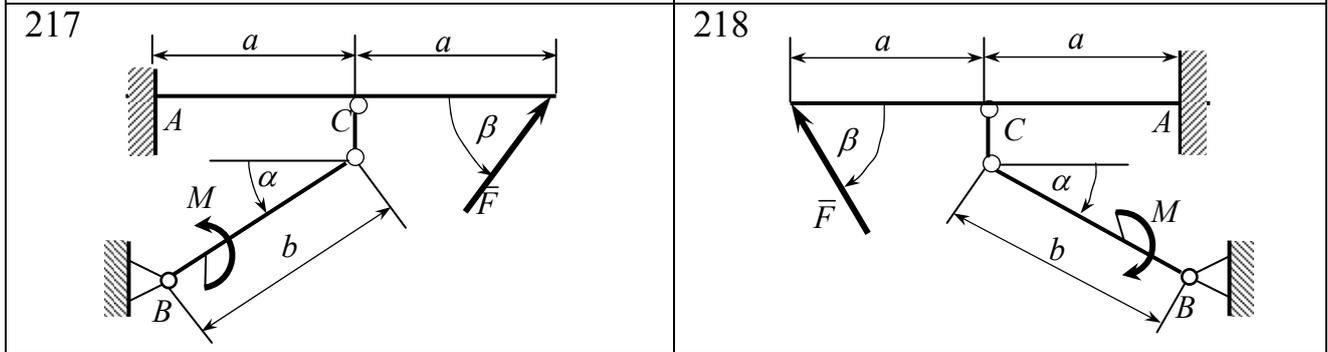
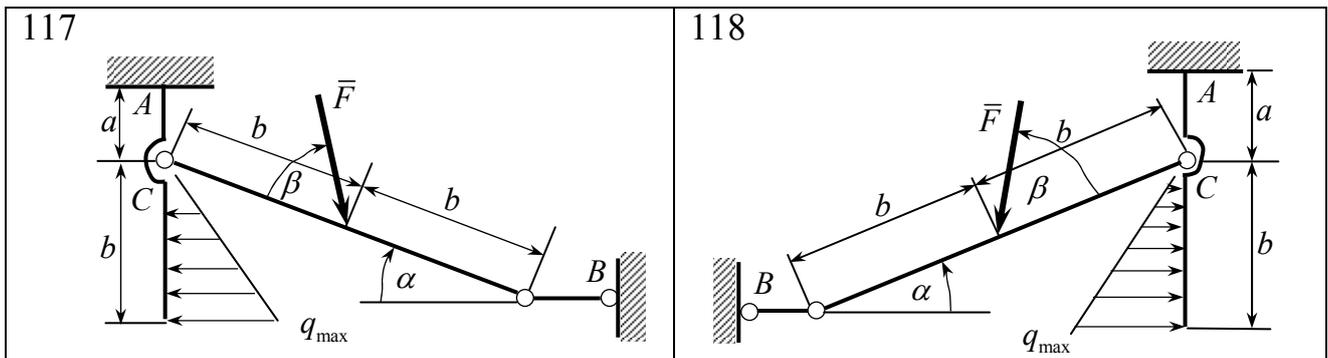
№	F κH	P κH	q $\kappa H / m$	q_{max} $\kappa H / m$	M $\kappa H m$	a m	b m	r m	R m	α $град$	β $град$
1	5	3	20	1.0	4.5	1	2	0.5	0.8	30	45
2	10	5	15	0.8	5.5	2	3	1.0	1.2	45	150
3	15	8	11	0.6	6.5	3	4	1.5	2.0	60	30
4	20	12	8	0.4	7.5	4	5	2.0	2.5	30	60
5	25	17	6	0.2	8.5	5	6	3.0	3.5	45	120



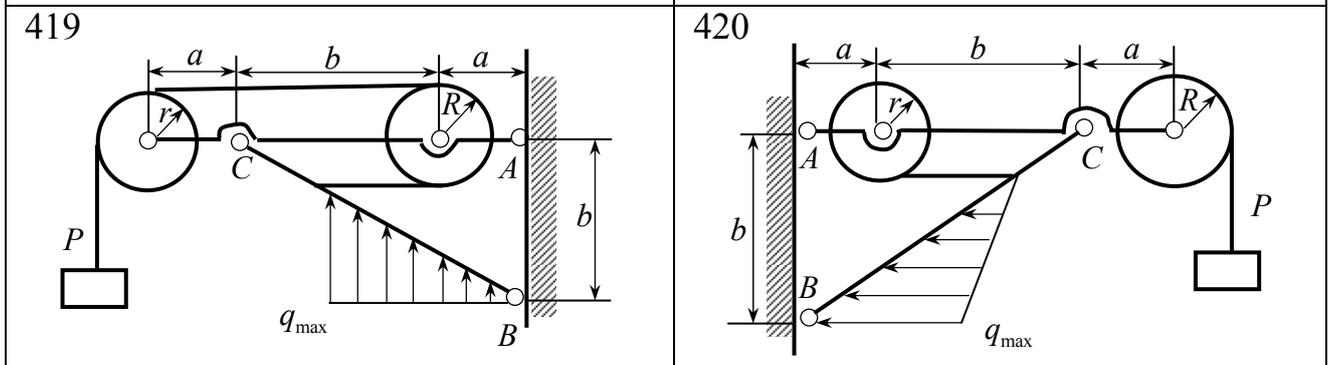
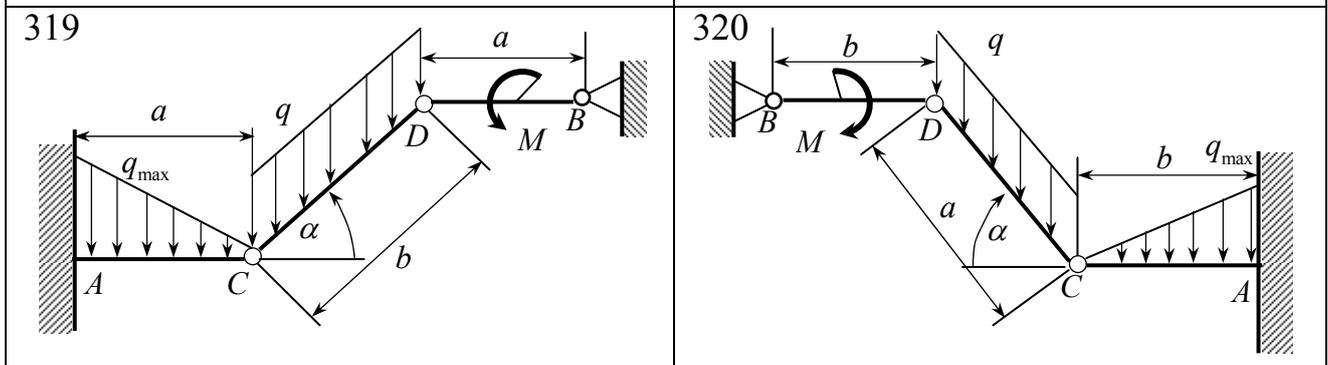
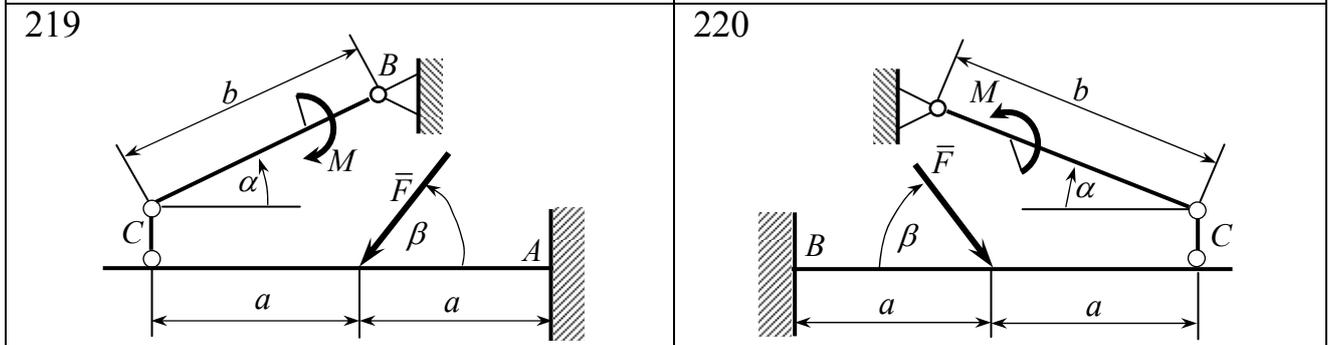
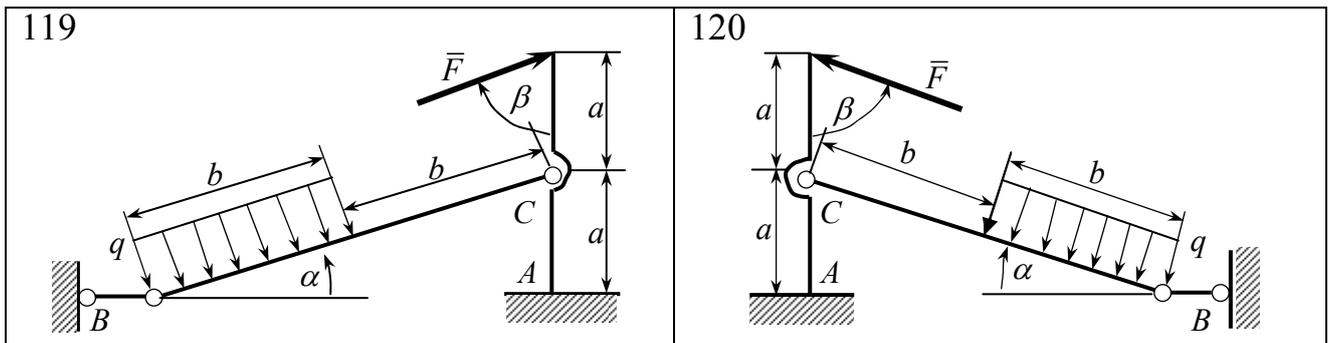
№	F κH	P κH	q $\kappa H / m$	q_{\max} $\kappa H / m$	M $\kappa H \cdot m$	a m	b m	r m	R m	α $град$	β $град$
1	25	8	11	4	3.2	0.9	1.2	0.5	0.6	30	60
2	20	3	8	6	4.2	0.5	0.8	0.3	0.5	45	30
3	15	5	20	8	5.2	0.4	0.6	0.2	0.3	60	120
4	10	17	6	10	6.2	0.8	1.0	0.4	0.8	45	150
5	15	12	15	12	7.2	0.6	0.9	0.3	0.7	30	45



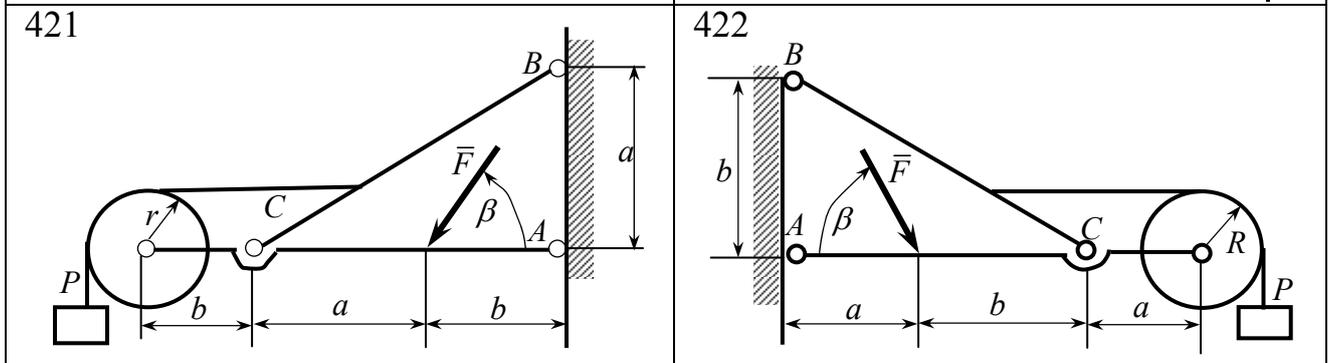
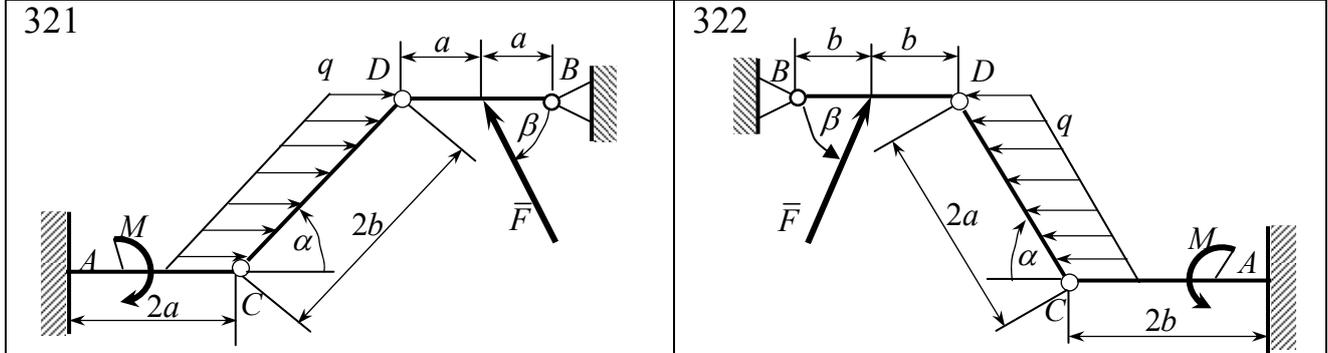
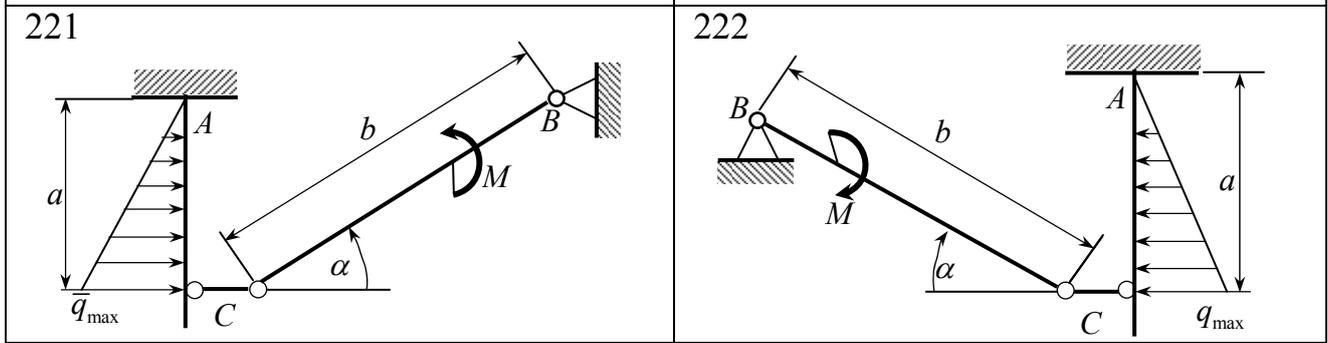
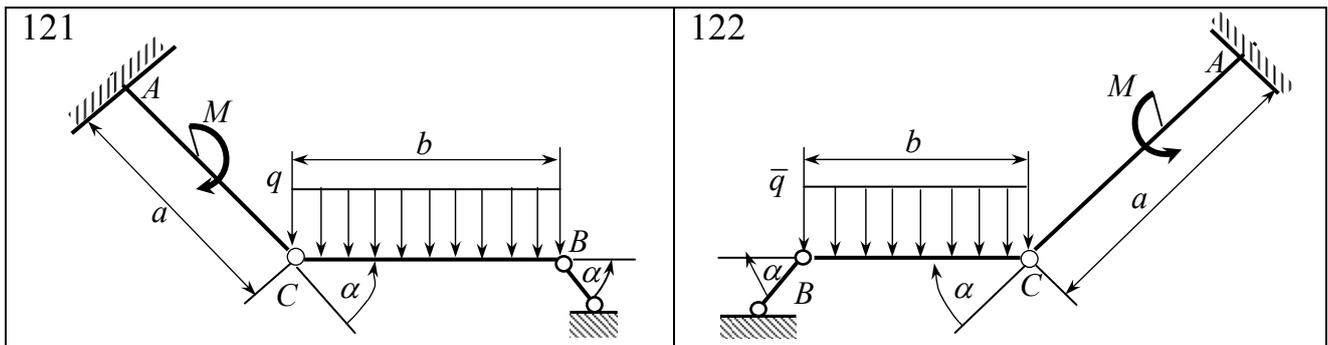
№	F κH	P κH	q $\kappa H/м$	q_{max} $\kappa H/м$	M $\kappa H м$	a $м$	b $м$	r $м$	R $м$	α $град$	β $град$
1	10	8	115	90	8.4	1.0	1.4	0.5	0.7	60	120
2	8	8	60	80	7.4	1.8	1.0	0.4	0.5	45	150
3	6	8	20	50	6.3	1.2	1.6	0.6	0.7	30	60
4	4	10	80	60	5.3	1.4	1.4	0.7	0.8	60	45
5	2	15	100	40	4.5	1.6	1.8	0.8	0.9	45	30



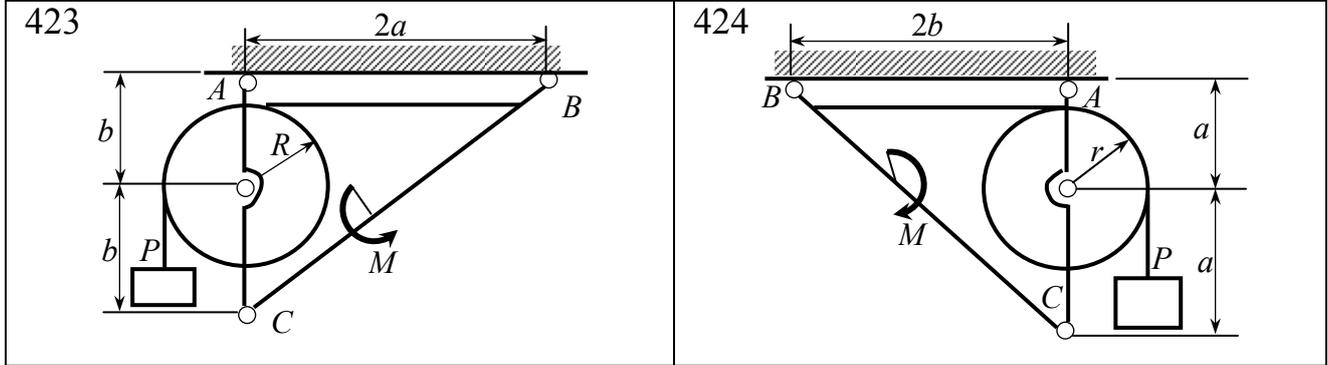
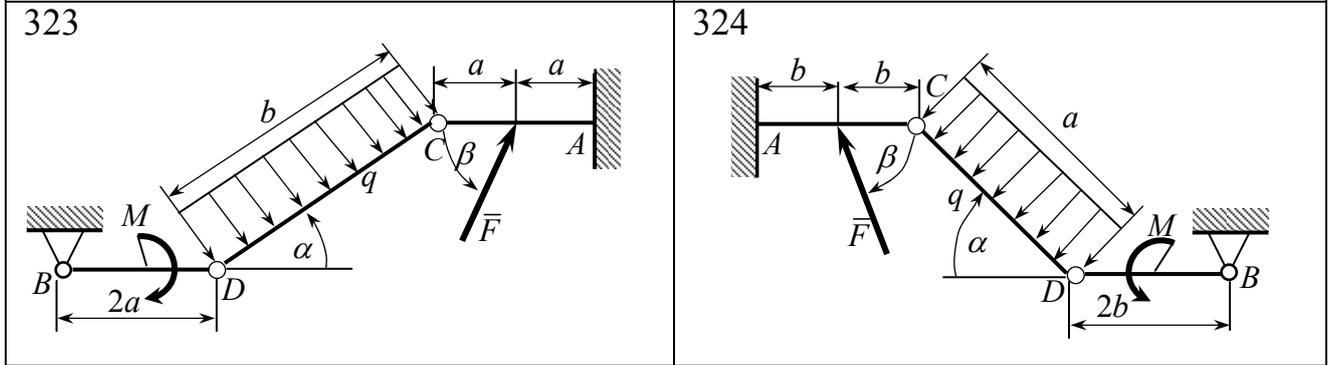
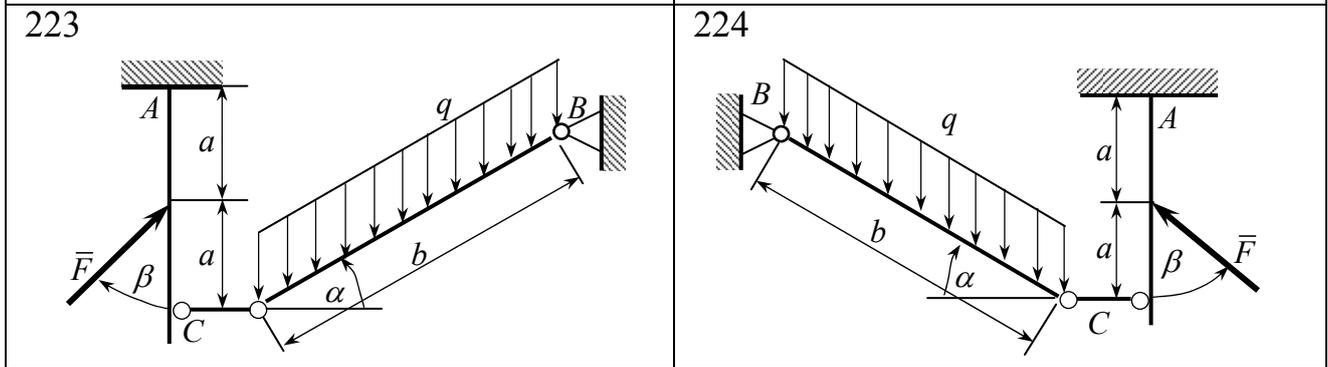
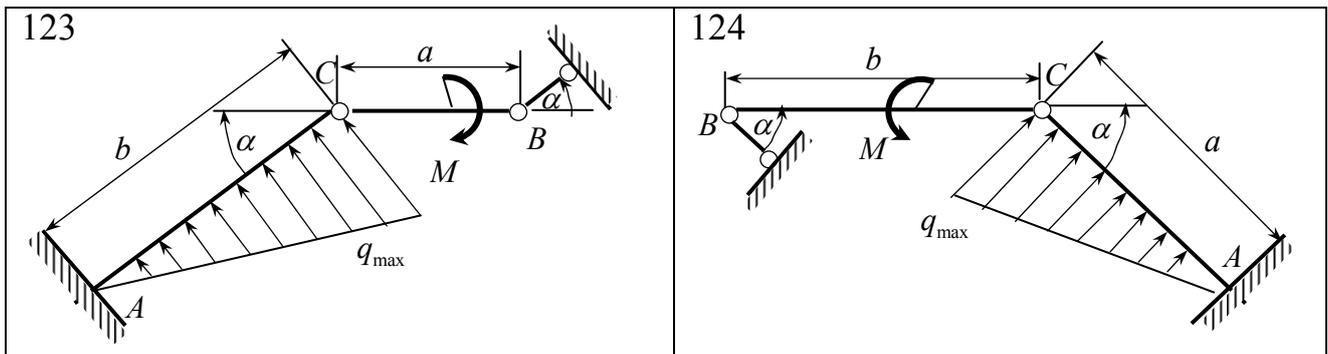
№	F κH	P κH	q $\kappa H / m$	q_{max} $\kappa H / m$	M $\kappa H m$	a m	b m	r m	R m	α $град$	β $град$
1	1	15	20	6	4.3	0.7	0.8	0.4	0.6	60	135
2	3	10	10	8	3.5	0.9	1.4	0.7	0.9	45	120
3	5	6	15	10	6.4	1.2	1.3	1.0	1.1	30	150
4	7	3	5	12	7.2	1.5	1.7	1.3	1.3	60	30
5	9	1	25	14	5.3	1.8	1.9	1.6	1.6	75	60



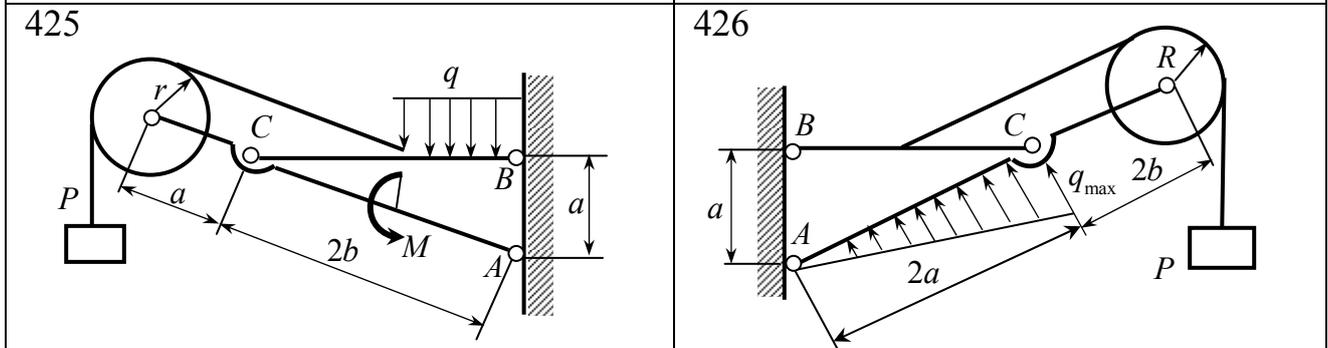
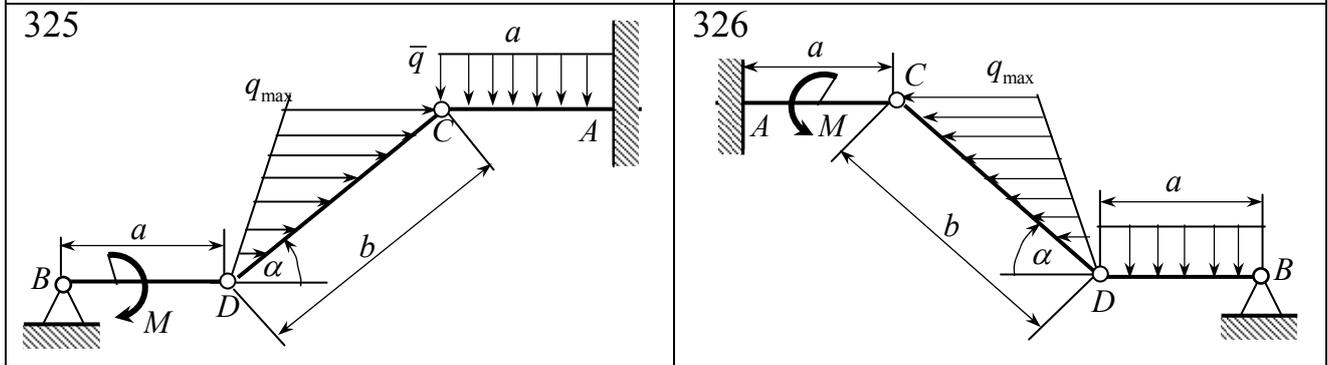
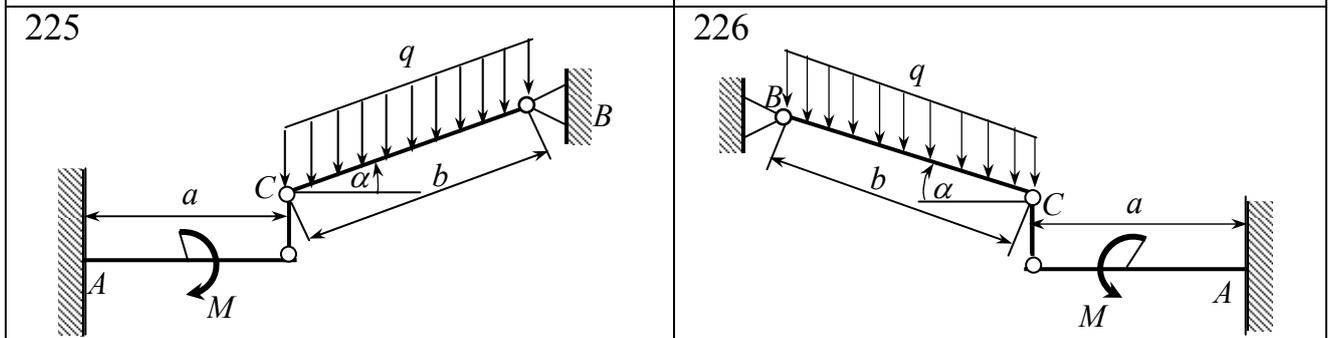
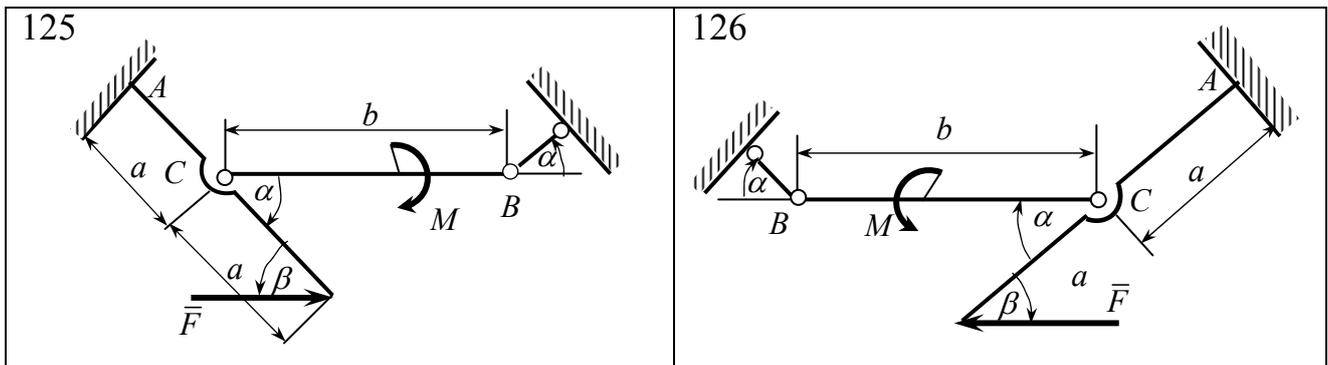
№	F κH	P κH	q $\kappa H / M$	q_{\max} $\kappa H / M$	M $\kappa H M$	a m	b m	r m	R m	α $град$	β $град$
1	3	6	25	14	3.6	0.9	1.1	0.6	0.8	30	45
2	6	8	15	12	4.8	1.2	1.3	0.9	1.1	45	150
3	9	11	25	10	5.4	1.8	2.1	0.5	1.5	60	30
4	12	15	20	8	6.2	0.6	0.8	0.3	0.5	30	60
5	15	20	10	6	7.1	1.5	1.7	1.2	1.4	45	120



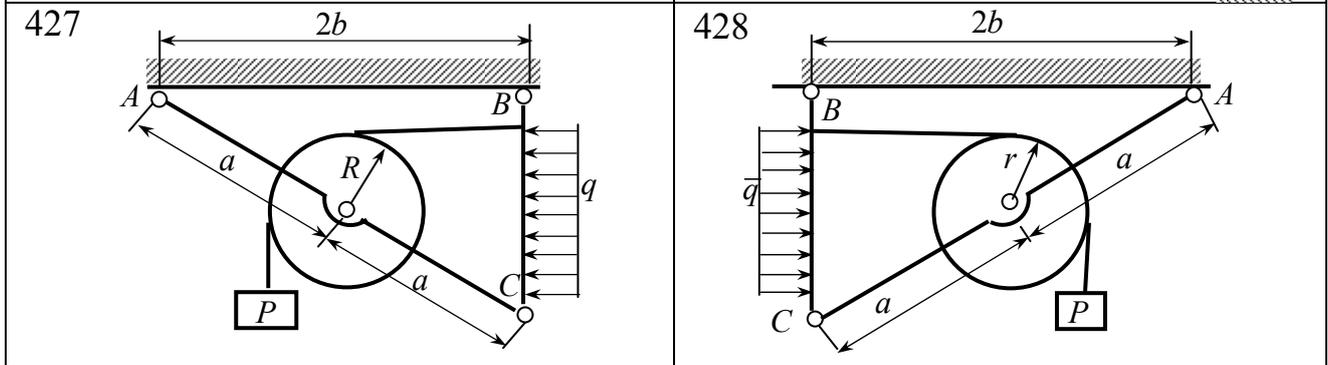
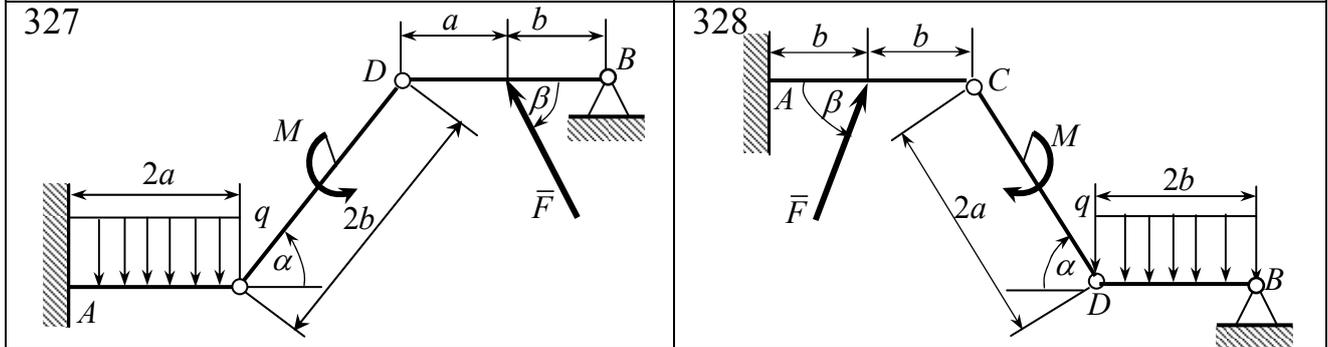
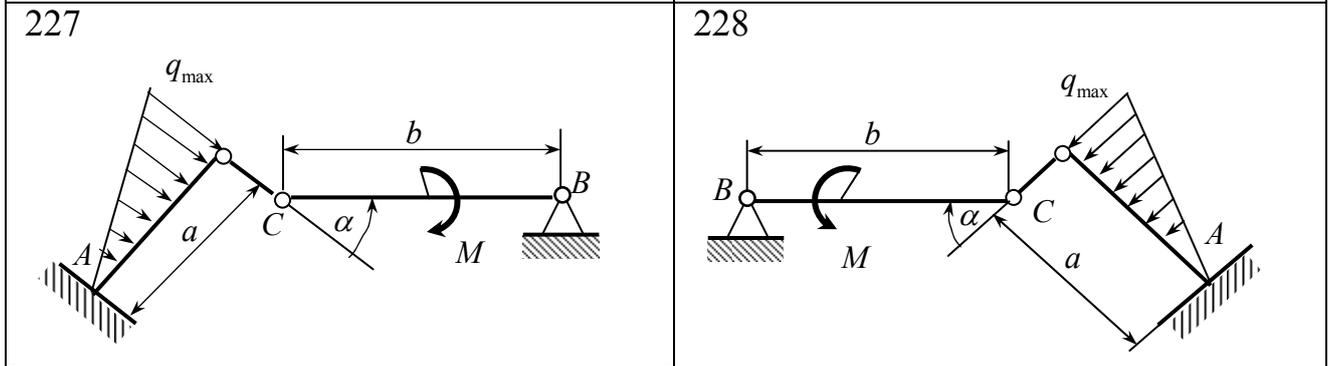
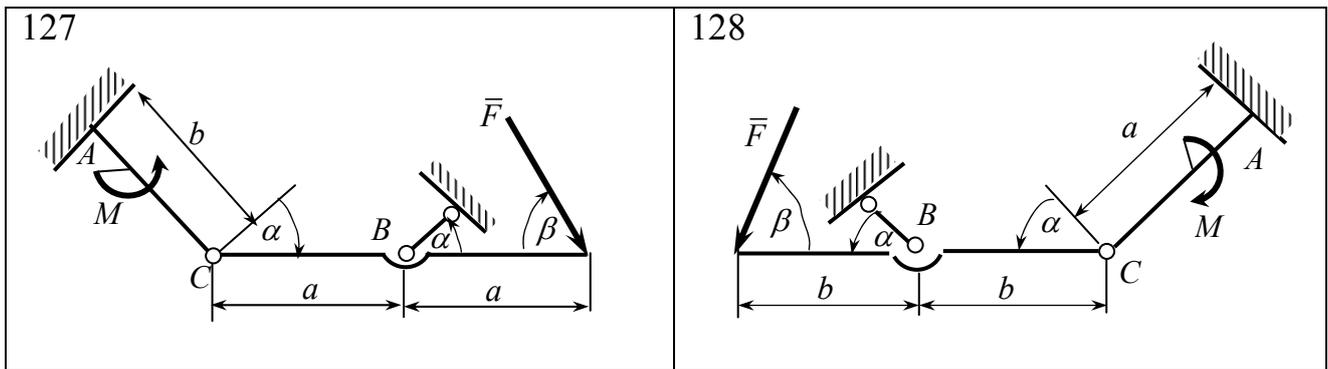
№	F κH	P κH	q $\kappa H / m$	q_{\max} $\kappa H / m$	M $\kappa H \cdot m$	a m	b m	r m	R m	α $град$	β $град$
1	15	10	2	12	1	1.1	1.2	0.9	1.0	30	45
2	12	20	4	8	3	1.2	1.3	1.0	1.1	45	150
3	19	30	6	6	2	1.3	1.4	1.1	1.2	60	30
4	6	40	8	4	4	1.4	1.5	1.2	1.3	30	60
5	3	50	10	2	5	1.5	1.6	1.3	1.4	45	120



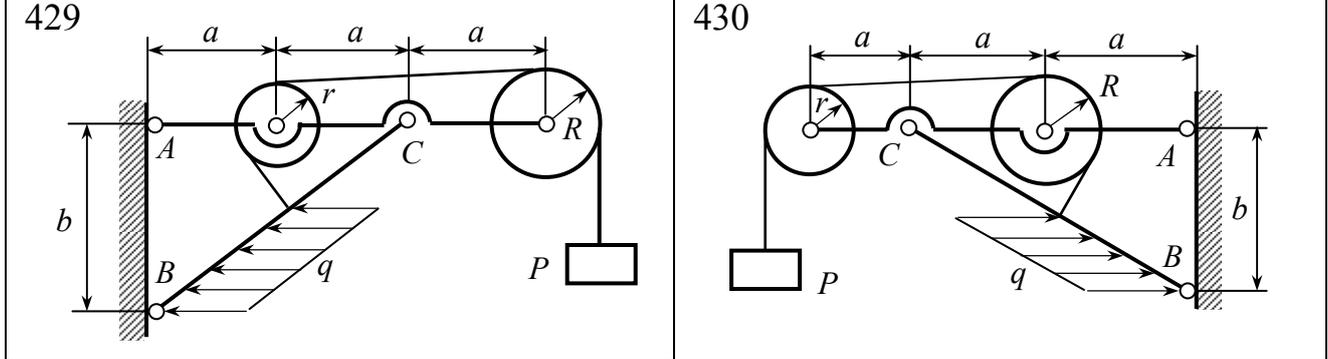
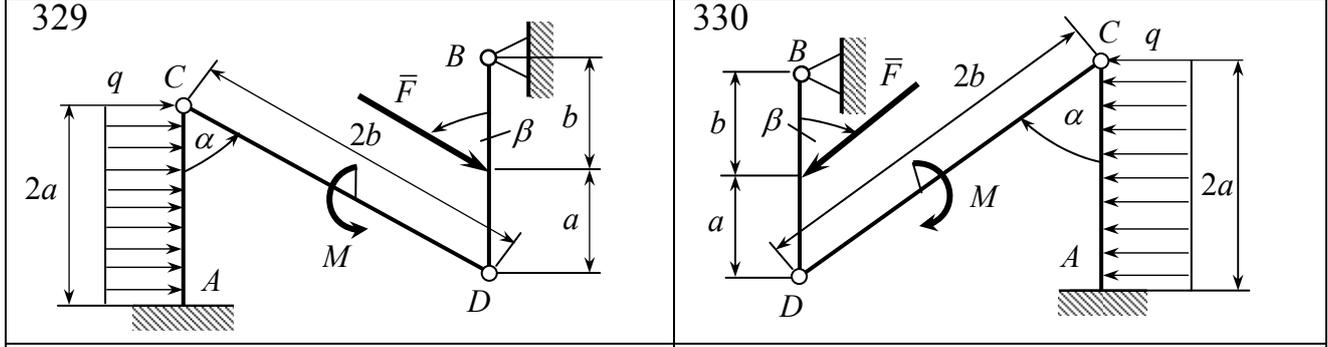
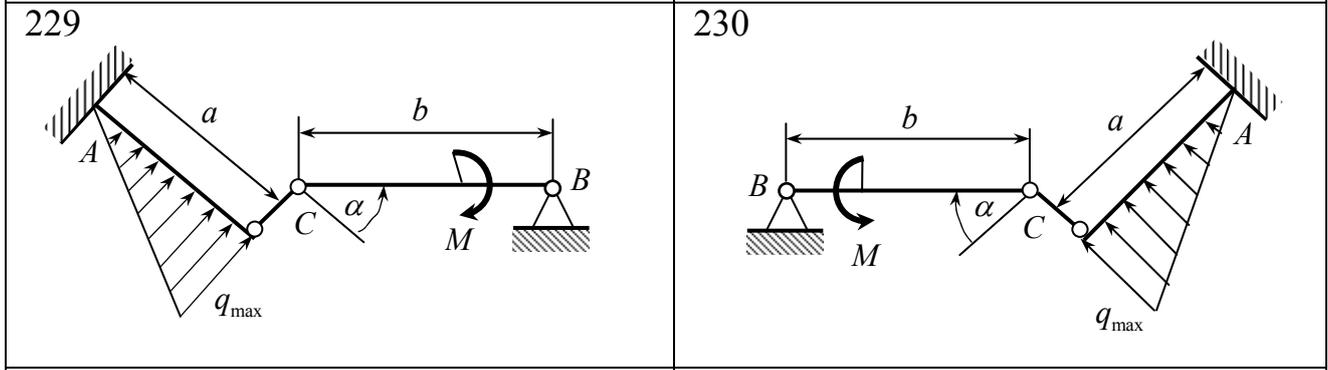
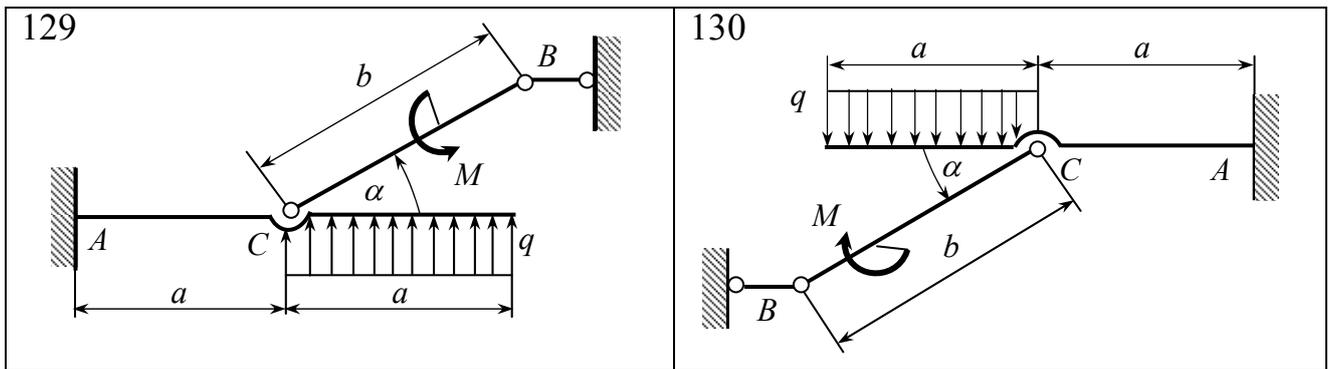
№	F κH	P κH	q $\kappa H / m$	q_{max} $\kappa H / m$	M $\kappa H m$	a m	b m	r m	R m	α $град$	β $град$
1	1	20	3	15	5	1.6	1.7	1.0	1.1	30	45
2	3	18	6	12	4	1.5	1.6	0.9	1.0	45	150
3	5	16	9	9	2	1.4	1.5	0.8	0.9	60	30
4	7	14	12	6	3	1.3	1.4	0.7	0.8	30	60
5	9	12	12	3	1	1.2	1.3	0.6	0.7	45	120



№	F κH	P κH	q $\kappa H / m$	q_{max} $\kappa H / m$	M $\kappa H m$	a m	b m	r m	R m	α $град$	β $град$
1	13	14	4	20	2	1.4	1.5	1.1	1.2	30	45
2	11	16	8	16	4	1.3	1.4	0.9	1.1	45	150
3	9	18	12	12	3	1.2	1.3	0.7	0.8	60	30
4	7	20	16	8	5	1.1	1.2	0.5	0.6	30	60
5	5	22	20	4	6	1.0	1.1	0.3	0.4	45	120



№	F κH	P κH	q $\kappa H / m$	q_{\max} $\kappa H / m$	M $\kappa H m$	a m	b m	r m	R m	α $град$	β $град$
1	20	15	7	35	3	0.8	1.0	0.6	0.7	30	45
2	16	20	14	28	5	1.0	1.2	0.8	0.9	45	150
3	12	25	21	21	4	1.2	1.4	1.0	1.1	60	30
4	8	30	28	14	6	1.4	1.6	1.2	1.3	30	60
5	4	35	35	7	8	1.6	1.8	1.4	1.5	45	120



№	F κH	P κH	q $\kappa H / m$	q_{\max} $\kappa H / m$	M $\kappa H m$	a m	b m	r m	R m	α $град$	β $град$
1	4	18	3	6	5	1.8	2.0	0.9	1.0	30	45
2	8	20	5	7	6	1.6	1.8	0.8	0.9	45	150
3	12	22	7	8	3	1.4	1.6	0.7	0.8	60	30
4	16	24	9	5	8	1.2	1.4	0.6	0.7	30	60
5	20	26	11	3	7	1.0	1.2	0.5	0.6	45	120

Определяемые реакции

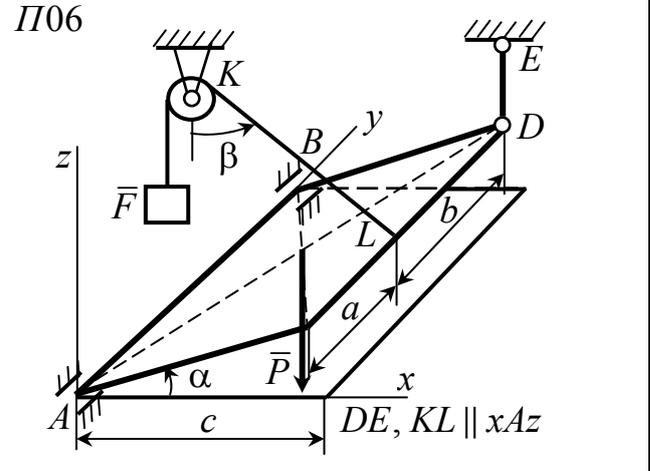
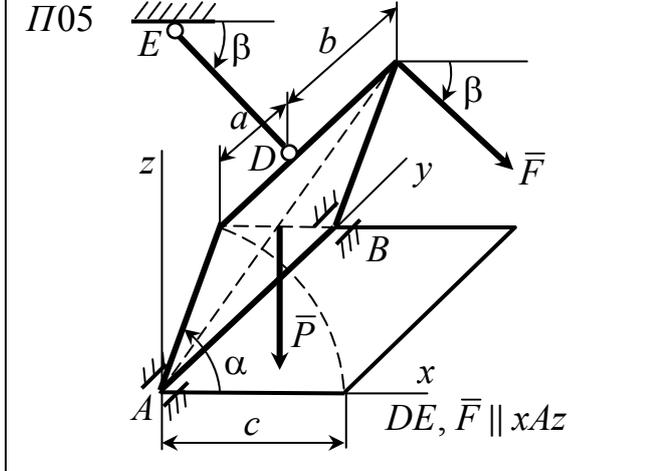
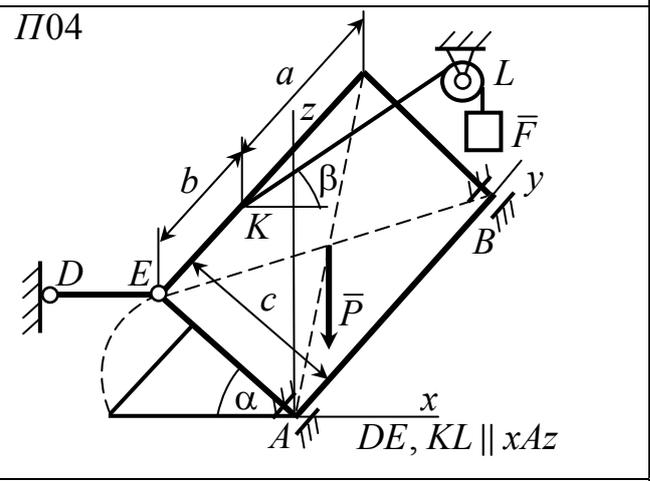
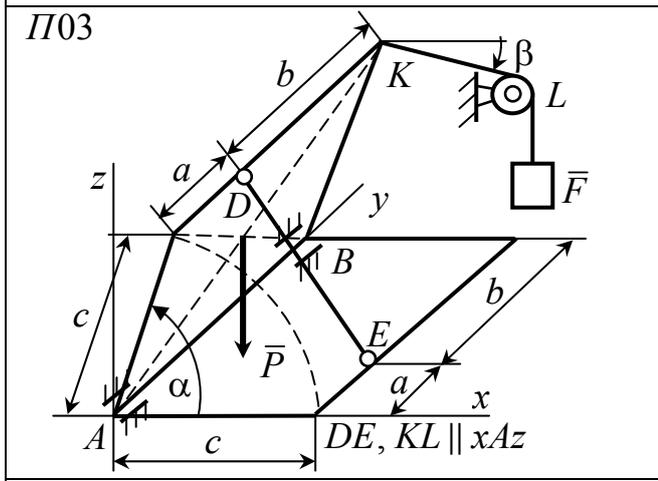
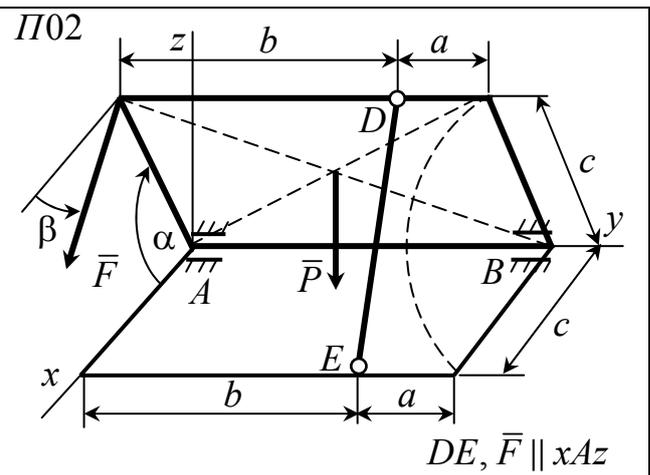
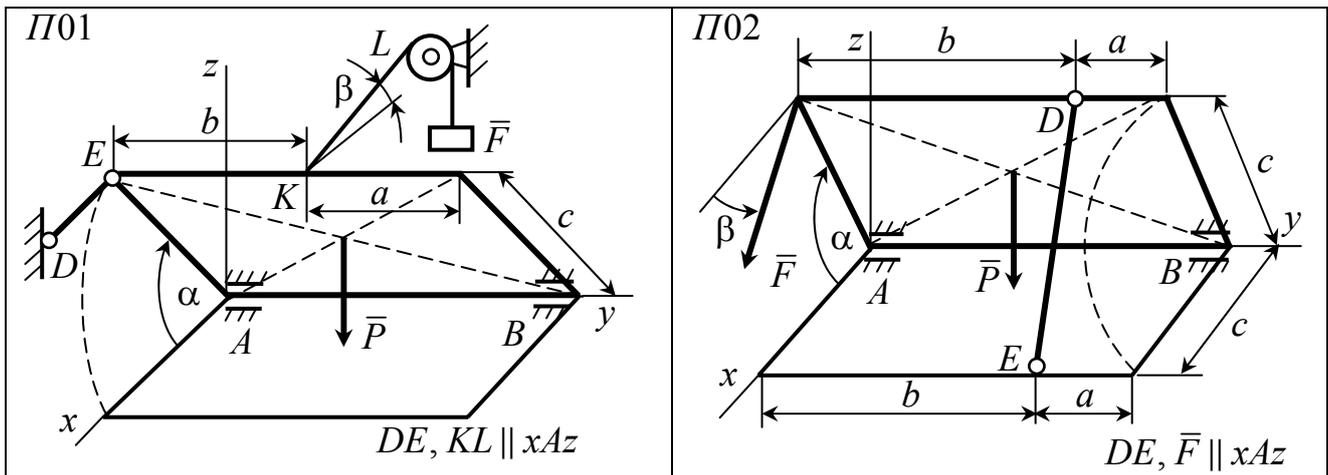
№	101–130	201–230	301–330	401–430
1	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{R}_A, M_A	\bar{R}_A
2	\bar{R}_A, M_A	\bar{X}_B, \bar{R}_C	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
3	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{X}_A, \bar{R}_B	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	\bar{R}_A, \bar{X}_B
4	M_A, \bar{Y}_C	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{Y}_A, \bar{R}_C	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
5	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{R}_A, M_A	\bar{Y}_B, \bar{Y}_D	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
6	M_A, \bar{R}_C	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	\bar{X}_B, \bar{X}_C
7	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{X}_A, \bar{R}_B	\bar{X}_A, \bar{X}_C
8	\bar{R}_A, \bar{R}_B	\bar{Y}_B, \bar{R}_C	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
9	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{Y}_A, \bar{R}_B	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	\bar{Y}_A, \bar{Y}_B
10	\bar{Y}_A, \bar{R}_B	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{Y}_A, \bar{Y}_D	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
11	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{X}_A, \bar{X}_B	\bar{R}_C	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
12	\bar{R}_A, \bar{R}_C	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	\bar{X}_B, \bar{R}_C
13	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{R}_B	\bar{R}_A, \bar{Y}_B
14	\bar{Y}_A, \bar{R}_C	\bar{R}_B	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
15	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{X}_A, \bar{R}_C	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	\bar{R}_A, \bar{X}_C
16	\bar{X}_A, \bar{R}_B	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	M_A, \bar{R}_C	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
17	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{R}_A, \bar{R}_B	\bar{X}_C, \bar{Y}_D	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
18	\bar{R}_B, \bar{X}_C	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	\bar{Y}_B, \bar{R}_C
19	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	M_A, \bar{R}_B	\bar{X}_A, \bar{X}_C
20	\bar{X}_A, \bar{X}_C	\bar{X}_A, \bar{Y}_B	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
21	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{Y}_A, \bar{R}_C	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	\bar{Y}_A, \bar{R}_C
22	\bar{Y}_A, \bar{Y}_C	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{Y}_C, \bar{Y}_D	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
23	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{R}_A, \bar{R}_C	M_A, \bar{R}_D	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
24	\bar{R}_B, \bar{Y}_C	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	\bar{R}_B
25	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{Y}_A, \bar{Y}_B	\bar{R}_A, \bar{Y}_C
26	\bar{X}_A, \bar{R}_C	\bar{R}_B, \bar{R}_C	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
27	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	M_A, \bar{R}_C	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	\bar{R}_C
28	M_A, \bar{R}_B	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{Y}_B, \bar{Y}_C	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
29	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	M_A, \bar{R}_B	\bar{R}_D	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
30	\bar{R}_C	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	\bar{R}_B, \bar{Y}_C

№	101–130	201–230	301–330	401–430
31	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{R}_A, M_A	\bar{R}_A, \bar{Y}_C
32	\bar{R}_A, M_A	\bar{R}_B, \bar{R}_C	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
33	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{X}_A, \bar{R}_B	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	\bar{R}_C
34	M_A, \bar{Y}_C	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{Y}_B, \bar{Y}_C	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
35	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{R}_A, M_A	\bar{R}_D	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
36	M_A, \bar{R}_C	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	\bar{R}_A, \bar{Y}_C
37	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{X}_A, \bar{R}_B	\bar{R}_A
38	\bar{R}_A, \bar{R}_B	\bar{X}_A, \bar{R}_C	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
39	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{Y}_A, \bar{R}_B	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	\bar{R}_A, \bar{X}_B
40	\bar{Y}_A, \bar{R}_B	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{Y}_A, \bar{R}_C	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
41	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{X}_A, \bar{X}_B	\bar{Y}_B, \bar{Y}_D	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
42	\bar{R}_A, \bar{R}_C	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	\bar{X}_B, \bar{X}_C
43	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{R}_B	\bar{X}_A, \bar{X}_C
44	\bar{Y}_A, \bar{R}_C	\bar{Y}_B, \bar{R}_C	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
45	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{X}_A, \bar{R}_C	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	\bar{Y}_A, \bar{Y}_B
46	\bar{X}_A, \bar{R}_B	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{Y}_A, \bar{Y}_D	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
47	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{R}_A, \bar{R}_B	\bar{R}_C	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
48	\bar{R}_B, \bar{X}_C	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	\bar{X}_B, \bar{R}_C
49	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{R}_B	\bar{R}_A, \bar{Y}_B
50	\bar{X}_A, \bar{X}_C	\bar{R}_B	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
51	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{Y}_A, \bar{R}_C	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	\bar{R}_A, \bar{X}_C
52	\bar{Y}_A, \bar{Y}_C	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	M_A, \bar{R}_C	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
53	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{R}_A, \bar{R}_C	\bar{X}_C, \bar{Y}_D	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
54	\bar{R}_B, \bar{Y}_C	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	\bar{Y}_B, \bar{R}_C
55	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{Y}_A, \bar{Y}_B	\bar{X}_A, \bar{X}_C
56	\bar{X}_A, \bar{R}_C	\bar{Y}_A, \bar{Y}_B	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
57	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	M_A, \bar{R}_C	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	\bar{Y}_A, \bar{R}_C
58	M_A, \bar{R}_B	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{Y}_C, \bar{Y}_D	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
59	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	M_A, \bar{R}_B	M_A, \bar{R}_D	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
60	\bar{R}_C	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	\bar{R}_B
61	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{R}_A, M_A	\bar{R}_A, \bar{Y}_C

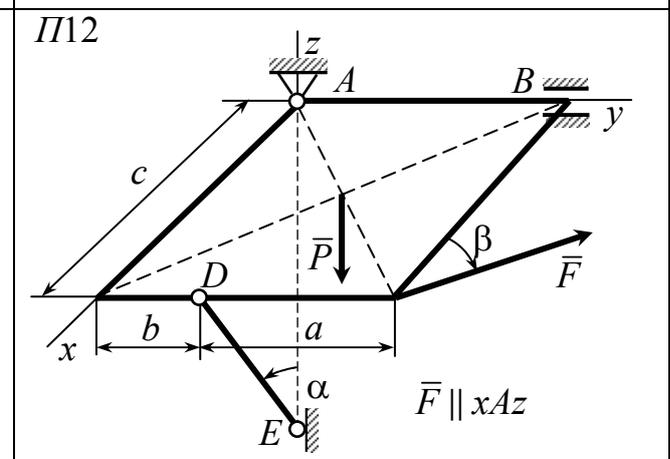
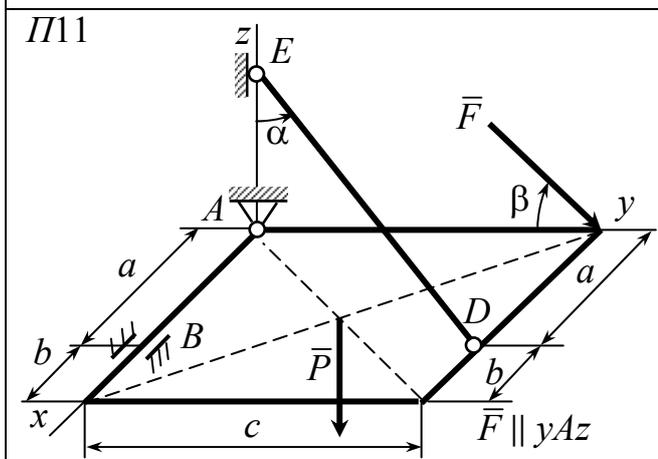
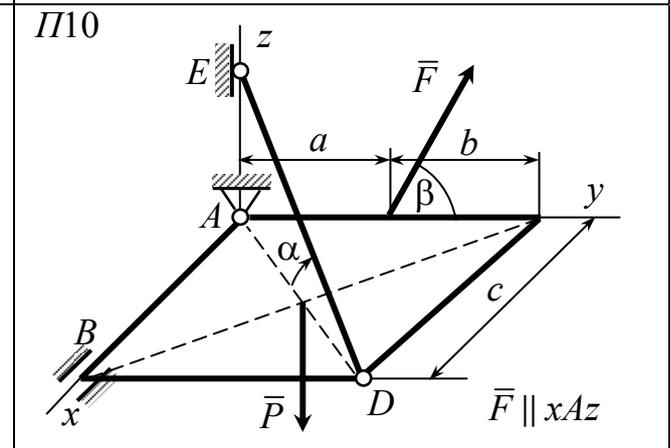
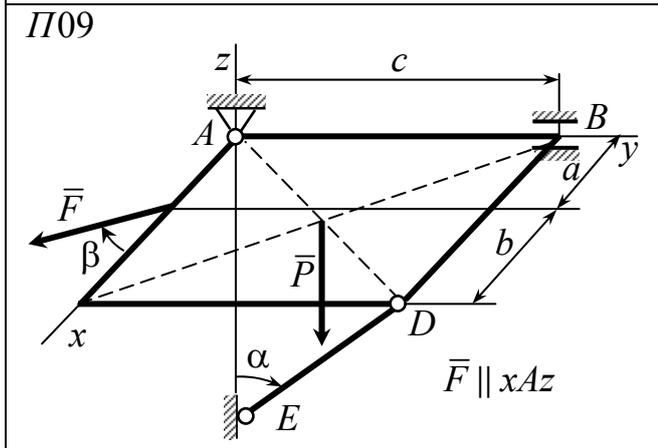
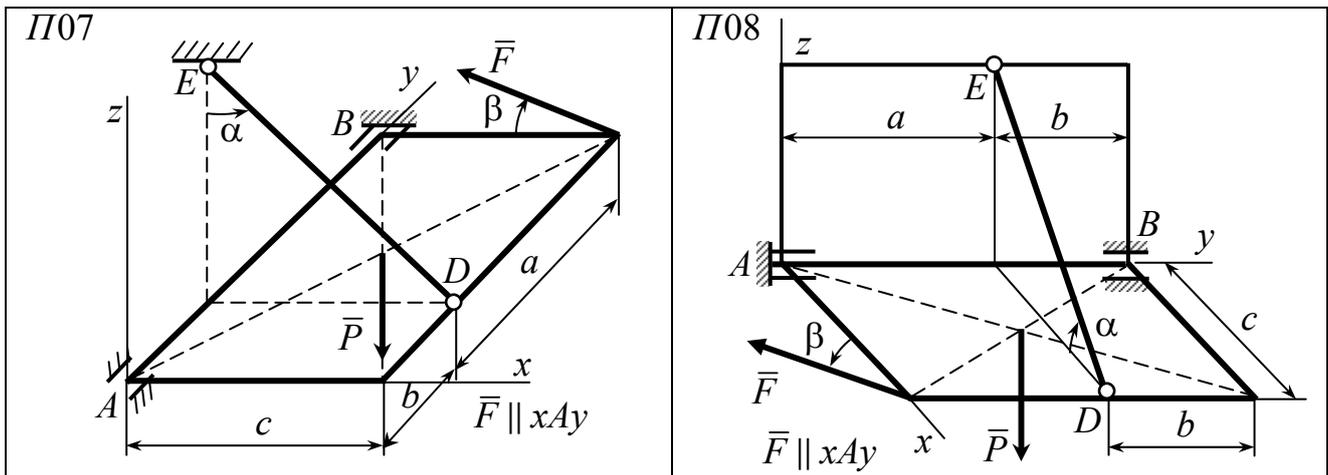
№	101–130	201–230	301–330	401–430
62	\bar{R}_A, M_A	\bar{Y}_A, \bar{Y}_B	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
63	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{Y}_A, \bar{R}_B	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	\bar{R}_C
64	M_A, \bar{Y}_C	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{Y}_C, \bar{Y}_D	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
65	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{R}_A, M_A	M_A, \bar{R}_D	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
66	M_A, \bar{R}_C	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	\bar{R}_B, \bar{Y}_C
67	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{X}_A, \bar{R}_B	\bar{R}_A, \bar{Y}_C
68	\bar{R}_A, \bar{R}_B	\bar{R}_B, \bar{R}_C	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
69	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{Y}_A, \bar{R}_B	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	\bar{R}_C
70	\bar{Y}_A, \bar{R}_B	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{Y}_B, \bar{Y}_C	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
71	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{X}_A, \bar{X}_B	\bar{R}_D	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
72	\bar{R}_A, \bar{R}_C	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	\bar{R}_A, \bar{Y}_C
73	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{R}_B	\bar{R}_A
74	\bar{Y}_A, \bar{R}_C	\bar{X}_B, \bar{R}_C	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
75	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{X}_A, \bar{R}_B	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	\bar{R}_A, \bar{X}_B
76	\bar{X}_A, \bar{R}_B	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{Y}_A, \bar{R}_C	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
77	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{R}_A, M_A	\bar{Y}_B, \bar{Y}_D	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
78	\bar{R}_B, \bar{X}_C	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	\bar{X}_B, \bar{X}_C
79	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	M_A, \bar{R}_B	\bar{X}_A, \bar{X}_C
80	\bar{X}_A, \bar{X}_C	\bar{Y}_B, \bar{R}_C	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
81	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{Y}_A, \bar{R}_B	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	\bar{Y}_A, \bar{Y}_B
82	\bar{Y}_A, \bar{Y}_C	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{Y}_A, \bar{Y}_D	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
83	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{X}_A, \bar{X}_B	\bar{R}_C	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
84	\bar{R}_B, \bar{Y}_C	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	\bar{X}_B, \bar{R}_C
85	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{Y}_A, \bar{Y}_B	\bar{R}_A, \bar{Y}_B
86	\bar{X}_A, \bar{R}_C	\bar{R}_B	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
87	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{X}_A, \bar{R}_C	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	\bar{R}_A, \bar{X}_C
88	M_A, \bar{R}_B	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	M_A, \bar{R}_C	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
89	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{R}_A, \bar{R}_B	\bar{X}_C, \bar{Y}_D	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
90	\bar{R}_C	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	\bar{Y}_B, \bar{R}_C
91	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{R}_A, M_A	\bar{X}_A, \bar{X}_C
92	\bar{R}_A, M_A	\bar{X}_A, \bar{Y}_B	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$

№	101–130	201–230	301–330	401–430
93	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{Y}_A, \bar{R}_C	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	\bar{Y}_A, \bar{R}_C
94	M_A, \bar{Y}_C	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	M_A, \bar{R}_C	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
95	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{R}_A, \bar{R}_C	\bar{X}_C, \bar{Y}_D	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
96	M_A, \bar{R}_C	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	\bar{R}_B
97	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{X}_A, \bar{R}_B	\bar{R}_A, \bar{Y}_C
98	\bar{R}_A, \bar{R}_B	\bar{R}_B, \bar{R}_C	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
99	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	M_A, \bar{R}_C	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	\bar{R}_C
100	\bar{Y}_A, \bar{R}_B	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{Y}_C, \bar{Y}_D	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
101	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	M_A, \bar{R}_B	M_A, \bar{R}_D	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
102	\bar{R}_A, \bar{R}_C	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	\bar{R}_B, \bar{Y}_C
103	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{R}_B	\bar{R}_A, \bar{Y}_C
104	\bar{Y}_A, \bar{R}_C	\bar{R}_B, \bar{R}_C	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
105	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{X}_A, \bar{R}_B	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	\bar{R}_C
106	\bar{X}_A, \bar{R}_B	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{Y}_A, \bar{Y}_D	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
107	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{R}_A, M_A	\bar{R}_C	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
108	\bar{R}_B, \bar{X}_C	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	\bar{R}_A, \bar{Y}_C
109	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	M_A, \bar{R}_B	\bar{R}_A
110	\bar{X}_A, \bar{X}_C	\bar{X}_A, \bar{R}_C	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
111	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{Y}_A, \bar{R}_B	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	\bar{R}_A, \bar{X}_B
112	\bar{Y}_A, \bar{Y}_C	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{Y}_A, \bar{R}_C	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
113	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{X}_A, \bar{X}_B	\bar{Y}_B, \bar{Y}_D	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
114	\bar{R}_B, \bar{Y}_C	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	\bar{X}_B, \bar{X}_C
115	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{Y}_A, \bar{Y}_B	\bar{X}_A, \bar{X}_C
116	\bar{X}_A, \bar{R}_C	\bar{Y}_B, \bar{R}_C	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
117	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{X}_A, \bar{R}_C	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	\bar{Y}_A, \bar{Y}_B
118	M_A, \bar{R}_B	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{Y}_A, \bar{Y}_D	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
119	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{R}_A, \bar{R}_B	\bar{R}_C	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
120	\bar{R}_C	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	\bar{X}_B, \bar{R}_C
121	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{R}_A, M_A	\bar{R}_A, \bar{Y}_B
122	\bar{R}_A, M_A	\bar{R}_B	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
123	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{Y}_A, \bar{R}_C	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	\bar{R}_A, \bar{X}_C

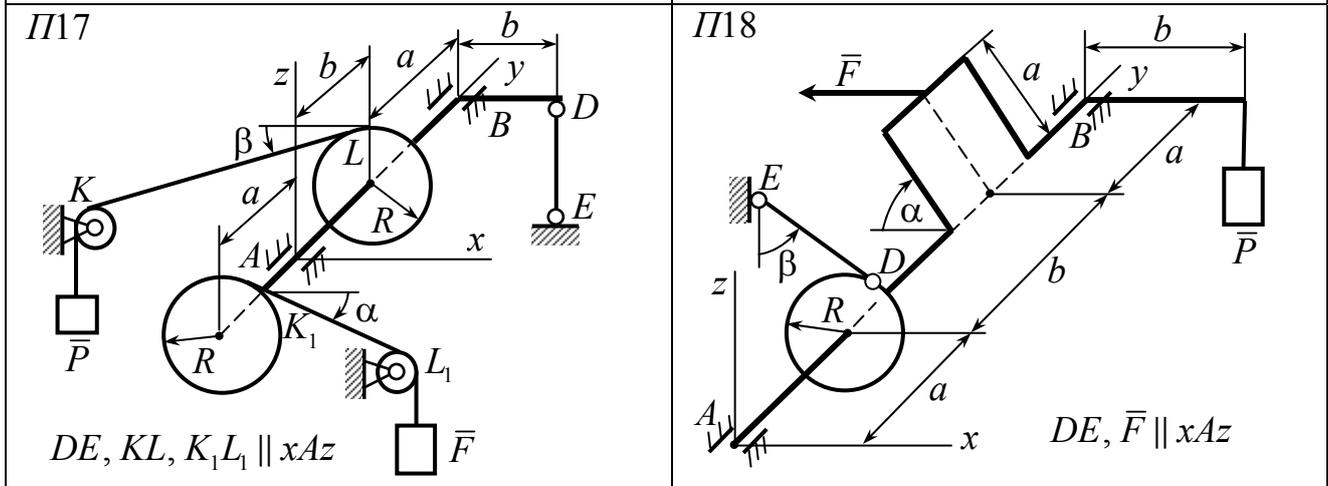
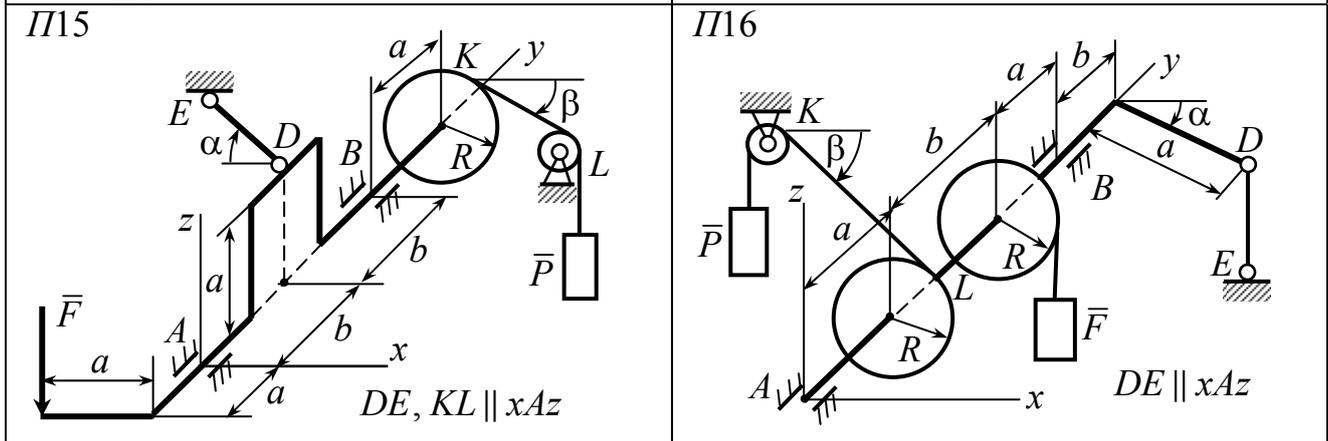
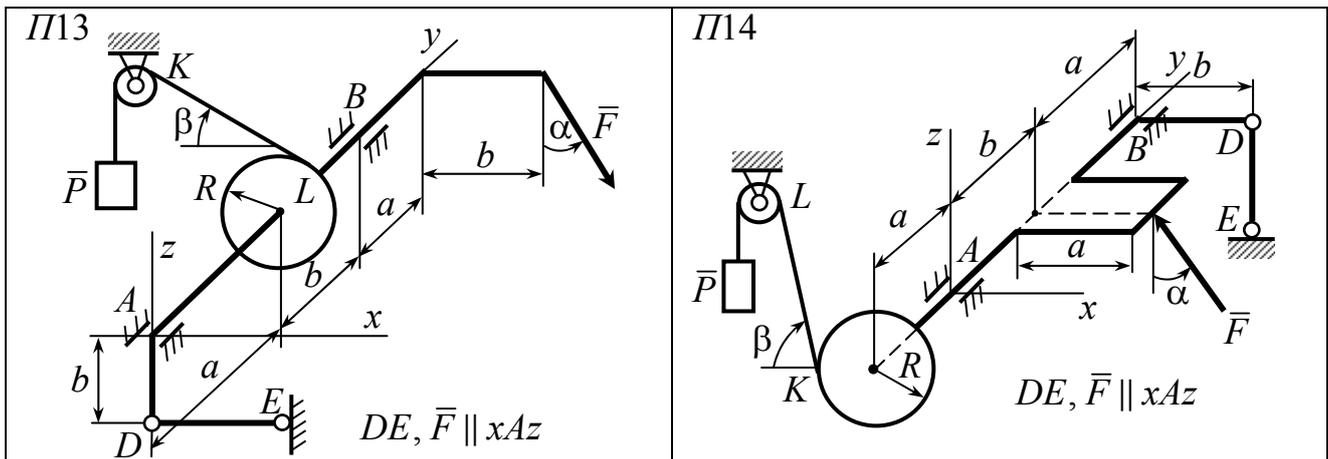
№	101–130	201–230	301–330	401–430
124	M_A, \bar{Y}_C	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{Y}_A, \bar{Y}_D	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
125	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{R}_A, \bar{R}_C	\bar{R}_C	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
126	M_A, \bar{R}_C	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	\bar{Y}_B, \bar{R}_C
127	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{X}_A, \bar{R}_B	\bar{X}_A, \bar{X}_C
128	\bar{R}_A, \bar{R}_B	\bar{Y}_A, \bar{Y}_B	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
129	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	M_A, \bar{R}_C	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	\bar{Y}_A, \bar{R}_C
130	\bar{Y}_A, \bar{R}_B	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	M_A, \bar{R}_C	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
131	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	M_A, \bar{R}_B	\bar{X}_C, \bar{Y}_D	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
132	\bar{R}_A, \bar{R}_C	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	\bar{R}_B
133	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{R}_B	\bar{R}_A, \bar{Y}_C
134	\bar{Y}_A, \bar{R}_C	\bar{Y}_A, \bar{Y}_B	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
135	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{Y}_A, \bar{R}_B	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	\bar{R}_C
136	\bar{X}_A, \bar{R}_B	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{Y}_C, \bar{Y}_D	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
137	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{R}_A, M_A	M_A, \bar{R}_D	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
138	\bar{R}_B, \bar{X}_C	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	\bar{R}_B, \bar{Y}_C
139	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	M_A, \bar{R}_B	\bar{R}_A, \bar{Y}_C
140	\bar{X}_A, \bar{X}_C	\bar{R}_B, \bar{R}_C	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
141	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{Y}_A, \bar{R}_B	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	\bar{R}_C
142	\bar{Y}_A, \bar{Y}_C	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{Y}_B, \bar{Y}_C	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
143	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{X}_A, \bar{X}_B	\bar{R}_D	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
144	\bar{R}_B, \bar{Y}_C	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	\bar{R}_A, \bar{Y}_C
145	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{Y}_A, \bar{Y}_B	\bar{R}_A
146	\bar{X}_A, \bar{R}_C	\bar{X}_B, \bar{R}_C	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
147	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	M_A, \bar{R}_C	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	\bar{R}_A, \bar{X}_B
148	M_A, \bar{R}_B	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	\bar{Y}_A, \bar{R}_C	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
149	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	M_A, \bar{R}_B	\bar{Y}_B, \bar{Y}_D	$\bar{R}_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$
150	\bar{R}_C	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C$	$\bar{R}_A, M_A, \bar{R}_B, \bar{R}_C, \bar{R}_D$	\bar{X}_B, \bar{X}_C



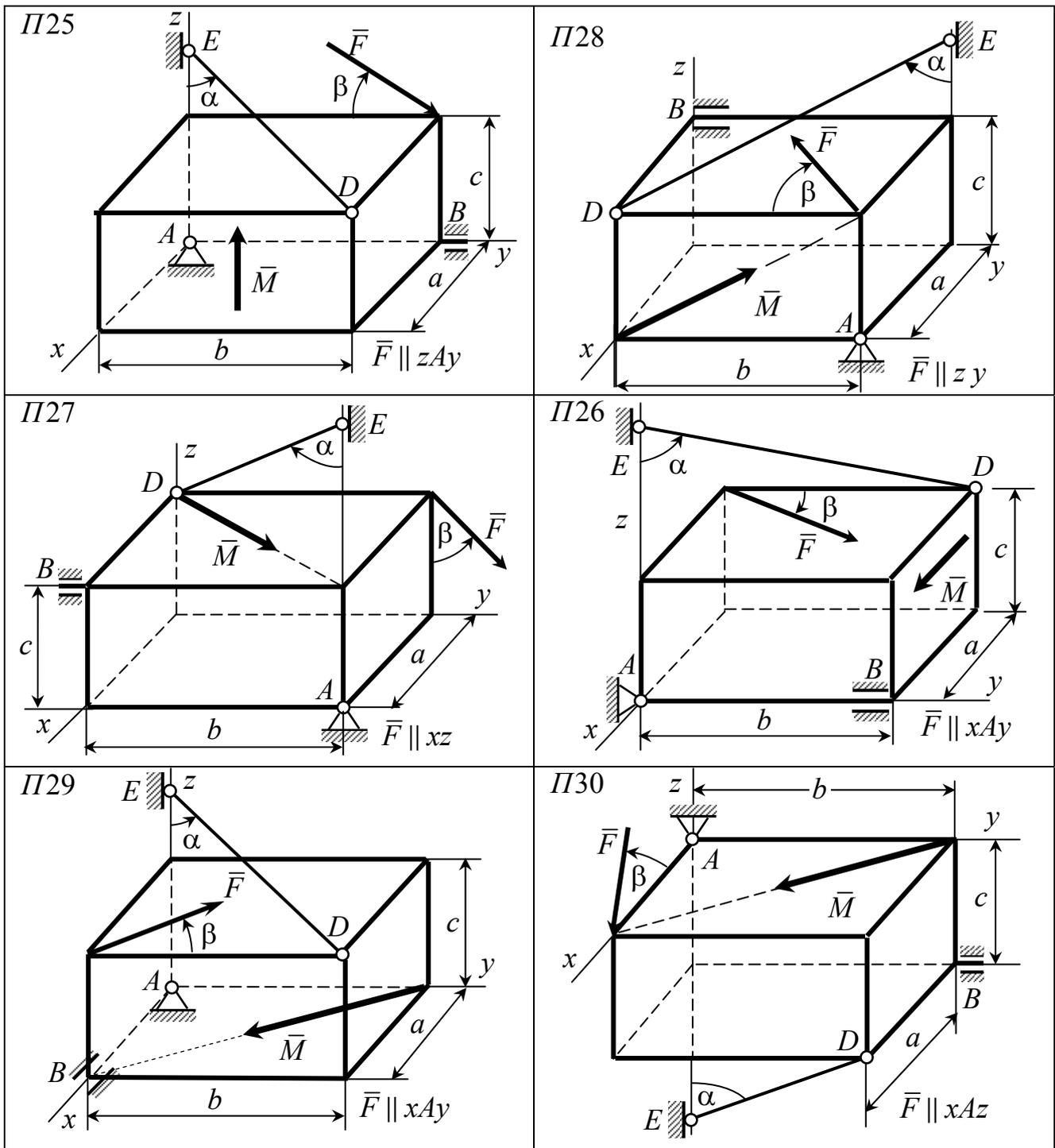
№	F κH	P κH	a m	b m	c m	α $град$	β $град$
1	50	10	0,2	0,4	0,5	45	60
2	40	20	0,1	0,5	0,6	30	45
3	30	30	0,5	0,6	0,7	60	15
4	20	40	0,3	0,3	0,4	30	30
5	10	50	0,4	0,2	0,8	45	75



№	F κH	P κH	a m	b m	c m	α $град$	β $град$
1	2	6	1	2	3	45	60
2	3	5	2	1	3	30	45
3	4	4	3	3	4	60	30
4	5	3	4	1	5	45	75
5	6	2	2	2	6	30	15



№	F κH	P κH	a m	b m	R m	α $град$	β $град$
1	25	3	0,1	0,2	0,1	60	15
2	20	9	0,2	0,3	0,3	45	75
3	15	12	0,4	0,2	0,4	30	45
4	10	15	0,3	0,5	0,5	45	30
5	5	18	0,4	0,4	0,6	30	60



№	F κH	P κH	a m	b m	c m	α $град$	β $град$
1	30	16	3	4	1	45	60
2	10	18	4	1	3	30	45
3	20	24	2	5	2	60	30
4	50	12	3	6	5	45	15
5	40	20	1	3	2	30	75

Учебное издание

Бертяев Виталий Дмитриевич

Латышев Валерий Иванович

Маркелов Сергей Семенович

Курсовая работа по статике
«РАСЧЕТ ПЛОСКИХ И ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ»

Учебное пособие

Авторское редактирование

Изд. лиц. ЛР № 020300 от 12.02.97. Подписано в печать 10.03.08.

Формат бумаги 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 4,8. Уч.–изд. л. 4,1.

Тираж 50 экз. Заказ № _____

Оригинал-макет отпечатан на кафедре «Теоретическая механика»
Тульского государственного университета

Тульский государственный университет
300600, Тула, просп. Ленина, 92

Отпечатано в издательстве ТулГУ
300012, г. Тула, просп. Ленина, 95

