

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Хакасский технический институт – филиал федерального государственного автономного  
образовательного учреждения высшего образования  
**«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

### **ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА**

По дисциплине

Б1.О.13.03 Теоретическая механика

Направление подготовки

08.03.01 Строительство

Направленность (профиль)

08.03.01.01 Промышленное и гражданское строительство

Форма очно-заочная

# 1 Перечень компетенций с указанием индикаторов их достижения, соотношенных с результатами обучения по дисциплине (модулю), практике и оценочными мероприятиями

Семестр	Код и наименование индикатора компетенции	Результаты обучения	Оценочные мероприятия
<b>ОПК-1: Способен решать задачи профессиональной деятельности на основе использования теоретических и практических основ естественных и технических наук, а также математического аппарата</b>			
2	ОПК-1: Способен решать задачи профессиональной деятельности на основе использования теоретических и практических основ естественных и технических наук, а также математического аппарата	Знать: общие законы движения и равновесия материальных тел, методики математического моделирования и теоретического анализа механических систем	ОС-1
		Уметь: самостоятельно выбирать методику расчета элементов конструкций	ОС-2
		Владеть: навыками использования стандартных методик расчетов статики, динамики и кинематики твердых тел в области строительного проектирования	
2	ОПК-1.6. Решение инженерных задач с помощью математического аппарата векторной алгебры, аналитической геометрии	Умеет определять реактивные силы, действующих на тело, и силы взаимодействия между телами системы; определять скорости и ускорения точек тела во вращательном и плоском движениях; определять динамические реакции опор вращающихся тел. Анализировать кинематические схемы механических элементов агрегатов и комплексов, определять их основные динамические характеристики.	ОС-1.3 ОС-2.3
2	ОПК-1.7. Решение уравнений, описывающих основные физические процессы, с применением методов линейной алгебры и математического анализа	Знает способы задания движения точки и тела, законы определения скоростей и ускорений точек при плоском, сферическом и произвольном движении тела. Основные задачи динамики материальной точки и уравнения движения системы материальных точек. Умеет решать задачи динамики с использованием математического аппарата численных методов.	ОС-1.1 ОС-2.1
2	ОПК-1.9. Решение инженерно-геометрических задач графическими способами	Знает законы преобразования систем сил; условия равновесия систем сил на плоскости и в пространстве и условия равновесия тел; влияние трения скольжения и сопротивления качению на равновесие тел.	ОС-1.2 ОС-2.2

## 2 Типовые оценочные средства с описанием шкал оценивания и методическими материалами, определяющими процедуру проведения и оценивания достижения результатов обучения

### Оценочное средство 1 – ВОПРОСЫ К ЗАЧЕТУ (ОС-1) по дисциплине «Теоретическая механика» (2 семестр)

#### Раздел Кинематика (ОС-1.1)

1. Способы задания движения точки и уравнения движения.
2. Скорости и ускорение точки при векторном способе задания движения.
3. Скорость и ускорение точки при координатном способе задания движения.
4. Скорость и ускорение точки при естественном способе задания движения.
5. Поступательное движение твердого тела.
6. Вращательное движение твердого тела вокруг неподвижной оси. Уравнение вращательного движения тела.
7. Угловая скорость и угловое ускорение вращающегося тела.
8. Скорость и ускорение точки тела при его вращательном движении вокруг неподвижной оси.
9. Выражение скорости и ускорения точки вращающегося тела в виде векторного произведения.
10. Плоскопараллельное (плоское) движение твердого тела. Уравнения движения плоской фигуры.
11. Теорема о скоростях точек плоской фигуры.
12. Теорема о проекциях скоростей двух точек плоской фигуры.
13. Мгновенный центр скоростей.

14. Определение скоростей точек и угловой скорости плоской фигуры с помощью мгновенного центра скоростей.
15. Способы определения положения мгновенного центра скоростей.
16. Теорема об ускорениях точек плоской фигуры.
17. Абсолютное, относительное и переносное движения точки.
18. Теорема о сложении скоростей точки при ее составном движении.
19. Теорема Кориолиса о сложении ускорений точки.
20. Модуль и направление ускорения Кориолиса. Случаи отсутствия ускорения Кориолиса при сложном движении точки.

### **Раздел Статика (ОС-1.2)**

1. Аксиомы статики. Задачи статики. Принцип освобождаемости от связей.
2. Основные связи и их реакции. Проекция силы на ось и на плоскость.
3. Аналитический и геометрический способ задания силы.
4. Аналитический и геометрический способ сложения сил.
5. Система сходящихся сил и их равнодействующая.
6. Геометрическое условие равновесия систем сходящихся сил.
7. Аналитические условия равновесия систем сходящихся сил.
8. Момент силы относительно центра как вектор.
9. Алгебраический момент силы относительно точки плоскости.
10. Теорема о параллельном переносе силы.
11. Теорема Пуансо.
12. Теорема Вариньона о моменте равнодействующей.
13. Условия равновесия твердого тела под действием произвольной системы сил.
14. Момент силы относительно оси.
15. Аналитические выражения моментов силы относительно декартовых осей.
16. Правило вычисления момента силы относительно оси.
17. Вычисление главного вектора и момента системы сил.
18. Аналитические условия равновесия для плоских и пространственных систем сил.
19. Частные случаи приведение пространственной системы сил к центру.
20. Центр тяжести твердого тела.

### **Раздел Динамика (ОС-1.3)**

1. Дифференциальные уравнения движения материальной точки в векторной форме.
2. Дифференциальные уравнения движения материальной точки в декартовых координатах.
3. Естественные уравнения движения материальной точки.
4. Две задачи динамики материальной точки.
5. Решение второй задачи динамики точки. Определение постоянных интегрирования.
6. Дифференциальные уравнения относительного движения материальной точки.
7. Принцип относительности классической механики.
8. Классификация сил механической системы. Свойство внутренних сил.
9. Момент инерции тела относительно оси. Радиус инерции.
10. Теорема о моментах инерции тела относительно параллельных осей.
11. Моменты инерции однородного тонкого стержня, однородного тонкого кольца (тонкостенного полого цилиндра), сплошного круглого цилиндра (диска).
12. Дифференциальные уравнения движения механической системы в векторной форме и в проекциях на декартовы оси.
13. Теорема о движении центра масс механической системы.
14. Количество движения материальной точки.
15. Элементарный импульс силы. Импульс силы за конечный промежуток времени.
16. Теорема об изменении количества движения материальной точки в дифференциальной и в конечной формах.
17. Главный вектор количества движения механической системы.
18. Теорема об изменении количества движения механической системы.
19. Закон сохранения количества движения системы.

20. Момент количества движения материальной точки относительно центра и оси.
21. Кинетический момент механической системы относительно центра и оси.
22. Кинетический момент вращающегося твердого тела относительно оси вращения.
23. Теорема об изменении кинетического момента механической системы.
24. Законы сохранения кинетического момента системы.
25. Дифференциальные уравнения поступательного, вращательного и плоскопараллельного движения твердого тела.
26. Кинетическая энергия материальной точки и механической системы.
27. Теорема Кёнига.
28. Кинетическая энергия твердого тела при поступательном, вращательном и плоскопараллельном движении.
29. Элементарная работа силы. Работа силы на конечном перемещении точки ее приложения. Мощность силы.
30. Работа силы тяжести, силы упругости, силы приложенной к вращающемуся телу, силы трения скольжения. Работа постоянной силы на прямолинейном перемещении.
31. Теоремы об изменении кинетической энергии материальной точки в дифференциальной и конечной формах.
32. Теоремы об изменении кинетической энергии механической системы в дифференциальной и конечной формах.
33. Принцип Даламбера для материальной точки; сила инерции.
34. Принцип Даламбера для механической системы. Главный вектор и главный момент сил инерции.
35. Вычисление главного вектора и главного момента сил инерции механической системы (твердого тела).

**Оценочное средство 2 – ЗАДАЧИ К ЗАЧЕТУ (ОС-2)**  
по дисциплине «Теоретическая механика» (2 семестр)

**Раздел Кинематика (ОС-2.1)**

**Дано ОС-2.1:** Расчетная схема механизма. В указанном положении механизма задана постоянная угловая скорость звена ОА.

**Задание ОС-2.1:** Требуется найти угловые ускорения звеньев механизма.

**Задача 24.1.**

$\omega_{OAz} = 8 \text{ рад/с}, OA = 1, AB = 2\sqrt{2},$   
 $BC = 2\sqrt{2}, \alpha = \pi/4.$

**Задача 24.2.**

$\omega_{OAz} = 2 \text{ рад/с}, OA = 1, AB = 2\sqrt{2}, AC = \sqrt{2},$   
 $\alpha = \pi/4.$

**Задача 24.3.**

$\omega_{OAz} = 1 \text{ рад/с}, OA = 1, AB = \sqrt{2}, AC = \sqrt{2},$   
 $\alpha = \pi/4.$

**Задача 24.4.**

$\omega_{OAz} = 4 \text{ рад/с}, OA = 1, AB = 2\sqrt{2},$   
 $BC = \sqrt{2}, \alpha = \pi/4.$

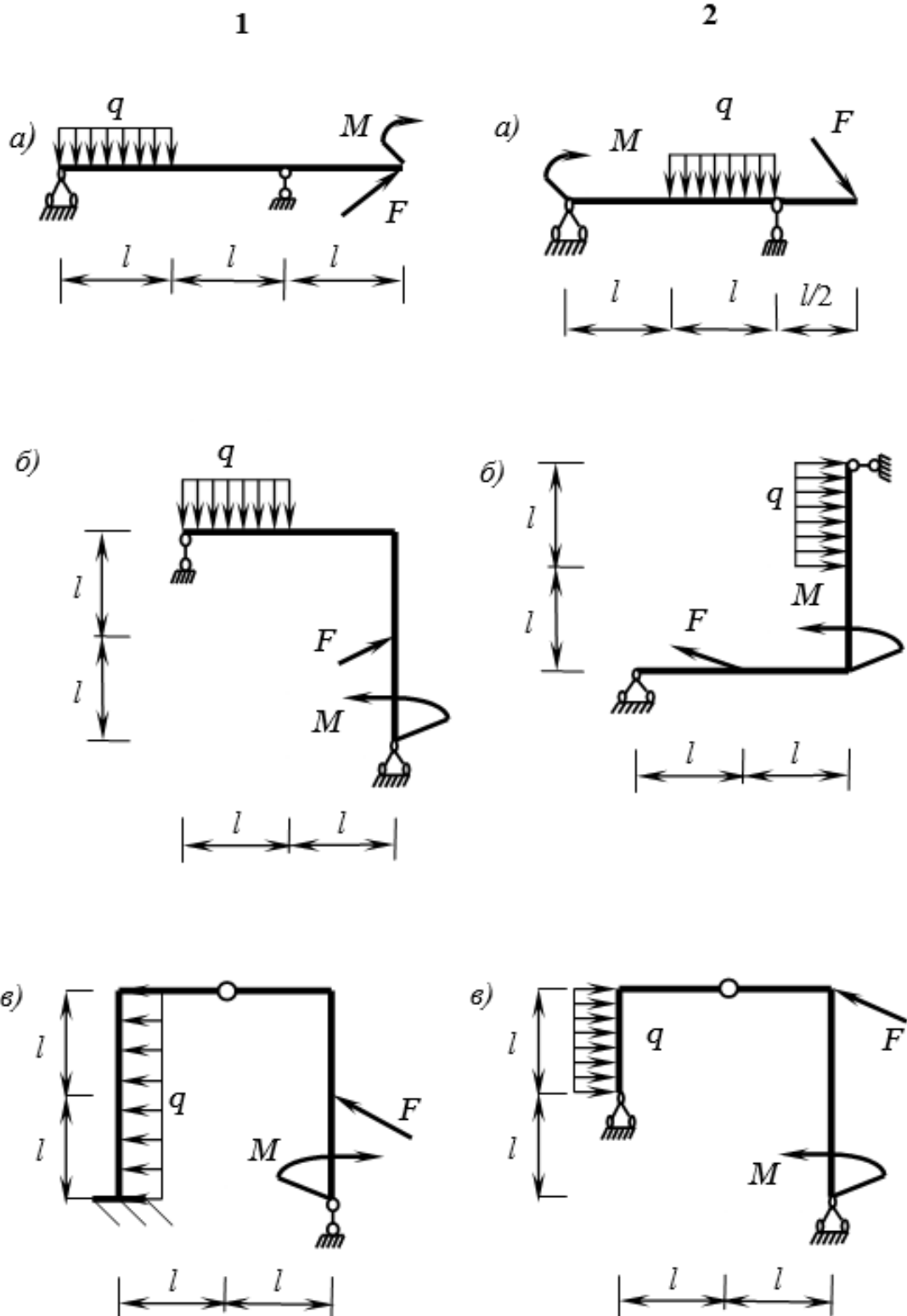
**Раздел Статика (ОС-2.2)**

**Дано ОС-2.2:**

Твердые тела: балка (а), рама (б), составная рама (в) загружены, как показано на схеме. Нагрузка и размеры во всех трех случаях одинаковы и указаны в табл. ОС-2.2 Сила  $F$  во всех случаях приложена под углом  $\alpha$  к горизонту, значение которого указано в табл. ОС-2.2

**Задание ОС-2.2:**

1. Определить реакции опор.
2. Выполнить проверку.



**Рисунок 2 – Расчетные схемы ОС-2.2**

Таблица 2 – Исходные данные для ОС-2.2

Номер варианта	$l$ , м	$q$ , кН/м	$F$ , кН	$M$ , кНм	$\alpha^\circ$
1	0,6	1	2	30	30
2	0,8	2	4	28	45
3	1,0	3	6	26	60
4	1,2	4	8	24	30
5	1,4	5	10	22	45
6	1,6	6	12	20	60
7	1,8	7	14	18	30
8	2,0	8	16	16	45
9	2,2	9	18	14	60
10	2,4	10	20	12	30
11	2,6	1	20	10	45
12	2,8	2	18	10	60
13	3,0	3	16	12	30
14	3,2	4	14	14	45
15	3,4	5	12	16	60
16	3,6	6	10	18	30
17	3,8	7	8	20	45
18	4,0	8	6	22	60
19	0,8	9	4	24	30
20	1,0	10	2	26	45
21	1,2	1	10	28	60
22	1,4	2	12	30	30
23	1,6	3	14	30	45
24	1,8	4	16	28	60
25	2,0	5	18	26	30
26	2,2	6	20	24	45
27	2,4	7	2	22	60
28	2,6	8	4	20	30
29	2,8	9	6	18	45
30	3,0	10	8	16	60

Пример решения задания ОС-2.2.1 (а)

Исходные данные:

Балка нагружена, как показано на рис. 2.1. Сила  $F$  приложена под углом  $\alpha$  к горизонту.

$F = 12$  кН,  $M = 20$  кНм,  $q = 4$  кН/м,  $l = 2$  м,  $\alpha = 30^\circ$ .

Требуется:

1. Определить значение опорных реакций.
2. Выполнить проверку.

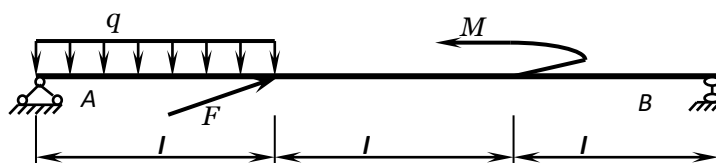


Рисунок 2.21

Решение:

1. Определим значение опорных реакций.

Отбросим опоры в точках  $A$  и  $B$  и заменим их опорными реакциями (рис. 2.2).

В точке  $A$  (шарнирно-неподвижная опора) возникают две взаимно перпендикулярные реакции

$R_A$ ,  $H_A$ ; в точке  $B$  (шарнирно-подвижная) возникает одна реакция  $R_B$ , направленная перпендикулярно поверхности, на которую опирается каток.

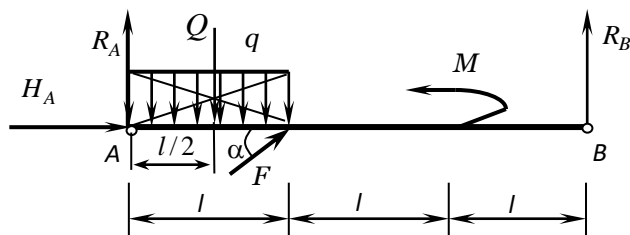


Рисунок 2.2.2

Составим уравнения равновесия для плоской системы сил. Для этого можно использовать основную или вторую форму условий равновесия (согласно формулам 4.2, 4.3).

При составлении моментных уравнений момент каждой из сил определяется по формуле 4.1.

Равномерно распределенную нагрузку  $q$  заменяем равнодействующей  $Q$ , действующей посередине нагруженного участка (рис. 2.2), значение которой определяется по формуле (4.5):  $Q = q \cdot l = 4 \cdot 2 = 8 \text{ кН}$ .

$$\begin{aligned} \sum F_x = H_A + F \cdot \cos \alpha = 0 &\Rightarrow H_A = -F \cdot \cos \alpha = -12 \cdot 0,866 = -10,392 \text{ кН}; \\ \sum M_A = -Q \cdot 0,5 \cdot l + F \cdot \sin \alpha \cdot l + M + R_B \cdot 3 \cdot l = 0; \\ R_B = \frac{Q \cdot 0,5 \cdot l - F \cdot \sin \alpha \cdot l - M}{3 \cdot l} &= \frac{8 \cdot 1 - 12 \cdot 0,5 \cdot 2 - 20}{3 \cdot 2} = -4 \text{ кН}; \\ \sum M_B = +M - F \cdot \sin \alpha \cdot 2l + Q \cdot 2,5l - R_A \cdot 3l = 0; \\ R_A = \frac{M - F \cdot \sin \alpha \cdot 2l + Q \cdot 2,5l}{3l} &= \frac{20 - 12 \cdot 0,5 \cdot 2 \cdot 2 + 8 \cdot 2,5 \cdot 2}{3 \cdot 2} = 6 \text{ кН}. \end{aligned}$$

2. Выполним проверку:

$$\begin{aligned} \sum F_y = R_A + R_B + F \cdot \sin \alpha - Q = 0; \\ 6 - 4 + 12 \cdot 0,5 - 8 = 0; \\ 12 - 12 = 0; \\ 0 = 0. \end{aligned}$$

Так как реакция  $R_A$  получилась положительной, значит её направление выбрано верно, а реакция  $R_B$  имеет знак минус, следовательно, она направлена в сторону, противоположную показанной.

### Пример решения задания ОС-2.2.2 (б)

Исходные данные:

Рама нагружена, как показано на рис. 2.3. Сила  $F$  приложена под углом  $\alpha$  к горизонту.

$$F = 12 \text{ кН}; M = 20 \text{ кНм}; q = 4 \text{ кН/м}; \alpha = 30^\circ.$$

Требуется:

1. Определить значение опорных реакций.
2. Выполнить проверку.

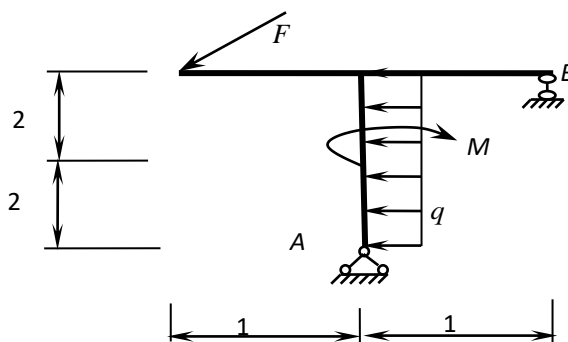


Рисунок 2.2.3

Решение:

1. Определим значение опорных реакций.

Отбросим опоры в точках  $A$  и  $B$  и заменим их опорными реакциями (рис. 2.2.4).

В точке  $A$  (шарнирно-неподвижная опора) возникают две взаимно перпендикулярные опорные реакции  $R_A$ ,  $H_A$ ; в точке  $B$  (шарнирно-подвижная) возникает одна опорная реакция  $R_B$ , направленная перпендикулярно поверхности, на которую опирается каток.

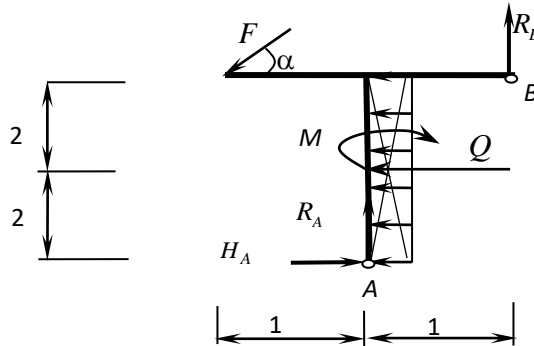


Рисунок 2.2.4

Составим уравнение равновесия для плоской системы сил. Для этого можно использовать любую форму условий равновесия сил (согласно формулам 4.2, 4.3, 4.4).

Определим значение равнодействующей:  $Q = q \cdot l = 4 \cdot 4 = 16$  кН.

$$\sum F_x = H_A - Q - F \cdot \cos \alpha = 0.$$

$$H_A = Q + F \cos \alpha = 16 + 12 \cdot 0,866 = 26,392 \text{ кН.}$$

$$\sum M_A = Q \cdot 2 - M + R_B \cdot 1 + F \cdot \cos \alpha \cdot 4 + F \cdot \sin \alpha \cdot 1 = 0.$$

$$R_B = -Q \cdot 2 + M - F \cdot \cos \alpha \cdot 4 - F \cdot \sin \alpha \cdot 1 =$$
$$= -16 \cdot 2 + 20 - 12 \cdot 0,866 \cdot 4 - 12 \cdot 0,5 \cdot 1 = 59,568 \text{ кН.}$$

$$\sum M_B = -Q \cdot 2 - M - R_A \cdot 1 + H_A \cdot 4 + F \cdot \sin \alpha \cdot 2 = 0.$$

$$R_A = -Q \cdot 2 - M - H_A \cdot 4 + F \cdot \sin \alpha \cdot 2 = -16 \cdot 2 - 20 + 26,392 \cdot 4 +$$
$$+ 12 \cdot 0,5 \cdot 2 = 65,568 \text{ кН}$$

2. Выполним проверку:

$$\sum F_y = R_A + R_B - F \cdot \sin \alpha = 0;$$

$$65,568 - 59,568 - 12 \cdot 0,5 = 0;$$

$$0 = 0.$$

Так как реакция  $R_A$  получилась положительной, значит её направление выбрано верно, а реакция  $R_B$  имеет знак минус, следовательно, она направлена в противоположную сторону.

### Пример решения задания ОС-2.2.3 (в)

Исходные данные:

Рама нагружена, как показано на рис. 2.2.5. Сила  $F$  приложена под углом  $\alpha$  к горизонту.

$$F = 12 \text{ кН}; M = 20 \text{ кНм}; q = 4 \text{ кН/м}; \alpha = 60^\circ.$$

Требуется:

1. Определить значение опорных реакций.

2. Выполнить проверку.



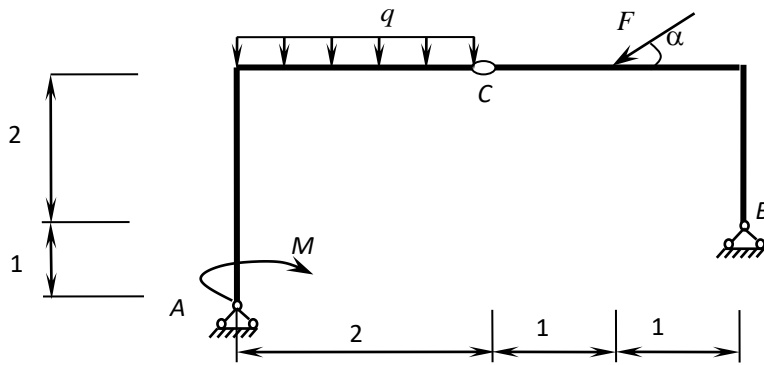


Рисунок 2.2.5

Решение:

1. Определим значение опорных реакций.

Отбросим опоры в точках  $A$  и  $B$  и заменим их опорными реакциями (рис. 2.2.5).

В точках  $A$  и  $B$  (шарнирно-неподвижные опоры) возникают по две взаимно перпендикулярные реакции  $R_A, H_A, R_B, H_B$ .

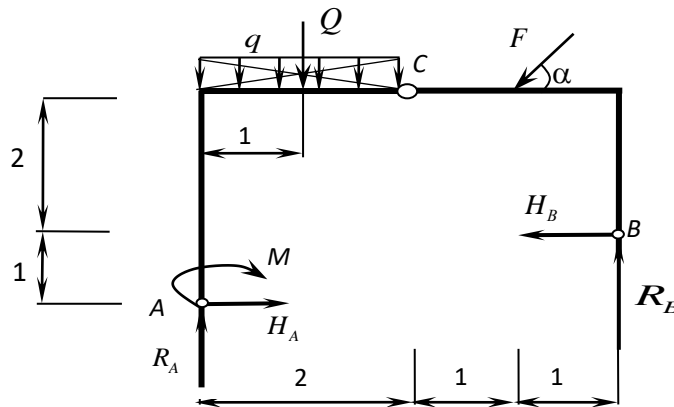


Рисунок 2.2.6

Определим значение равнодействующей силы  $Q = q \cdot l = 4 \cdot 2 = 8 \text{ кН}$ .

Кроме моментных уравнений относительно точек  $A$  и  $B$  (при рассмотрении равновесия всей конструкции) составим дополнительные уравнения:  $\sum M_C^{\text{сп}} = 0$ ;  $\sum M_C^{\text{леб}} = 0$  (при рассмотрении равновесия каждого из стержней  $AC$  и  $BC$ ).

$$1. \sum M_A = -M - Q \cdot 1 - F \cdot \sin \alpha \cdot 3 + F \cdot \cos \alpha \cdot 3 + R_B \cdot 4 + H_B \cdot 1 = 0;$$

$$2. \sum M_C^{\text{сп}} = -F \cdot \sin \alpha \cdot 1 + R_B \cdot 2 - H_B \cdot 2 = 0;$$

$$3. \sum M_B = F \cdot \sin \alpha \cdot 1 + F \cdot \cos \alpha \cdot 2 + Q \cdot 3 - M - R_A \cdot 4 + H_A \cdot 1 = 0;$$

$$4. \sum M_C^{\text{леб}} = Q \cdot 1 - M - R_A \cdot 2 + H_A \cdot 3 = 0.$$

Решая совместно 1 и 2 уравнения, определим опорные реакции:  $R_B = 9,274 \text{ кН}$ ;  $H_B = 4,08 \text{ кН}$ .

Решая совместно 3 и 4 уравнения, определим опорные реакции:  $R_A = 9,118 \text{ кН}$ ;  $H_A = 10,08 \text{ кН}$ .

Проверим правильность определения реакций опор  $A$  и  $B$ :

$$\sum F_x = H_A - H_B - F \cdot \cos \alpha = 10,08 - 4,08 - 12 \cdot 0,5 = 0;$$

$$\sum F_y = R_A + R_B - q \cdot 2 - F \cdot \sin \alpha = 9,118 + 9,274 - 8 - 12 \cdot 0,8666 = 0.$$

Так как реакции получились положительными, значит их направление выбрано верно.

Рассмотрим равновесие стержня  $CB$  и определим опорные реакции в шарнире  $C$  (шарнирно-неподвижная опора), в котором возникают две взаимно перпендикулярные реакции  $R_C, H_C$  (рис. 2.2.6):

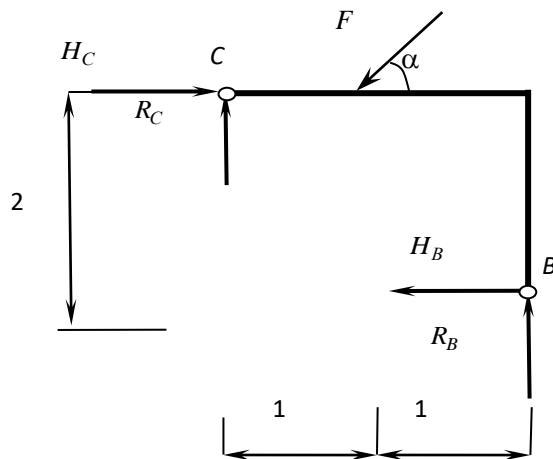


Рисунок 2.2.7

$$\sum F_x = H_C - H_B - F \cdot \cos \alpha = 0;$$

$$H_C = H_B + F \cdot \cos \alpha = 4,08 + 12 \cdot 0,5 = 10,08 \text{ кН};$$

$$\sum M_B = F \cdot \sin \alpha \cdot 1 + F \cdot \cos \alpha \cdot 2 - R_C \cdot 2 - H_C \cdot 2 = 0;$$

$$R_C = \frac{F \cdot \sin \alpha \cdot 1 + F \cdot \cos \alpha \cdot 2 - H_C \cdot 2}{2} = \frac{12 \cdot 0,866 \cdot 1 + 12 \cdot 0,5 \cdot 2 - 10,08 \cdot 2}{2} = 1,116 \text{ кН}.$$

Проверим правильность определения опорных реакций в точке C:

$$\sum F_y = R_C + R_B - F \cdot \sin \alpha = 1,116 + 9,274 - 12 \cdot 0,866 = 0.$$

Так как реакции  $H_C$ ,  $R_C$  получились положительными, значит их направление выбрано правильно.

2. Выполним проверку:

Для этого передадим реакции шарнира в точке C на стержень AC с противоположным направлением (рис. 2.8):

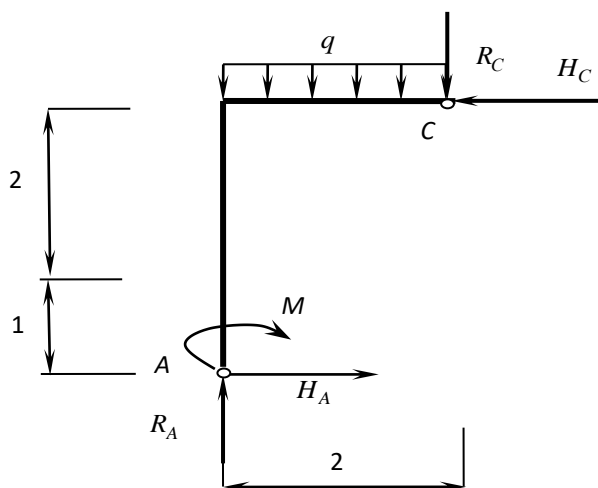


Рисунок 2.2.8

$$\begin{aligned} \sum M_A &= -M - Q \cdot 1 + H_C \cdot 3 - R_C \cdot 2 = 0; \\ -20 - 8 + 10,08 \cdot 3 - 1,116 \cdot 2 &= 0. \end{aligned}$$

Проверка выполнена, следовательно, реакции найдены верно.

**Наименование работы:** Определение центра тяжести сложного сечения

**Дано ОС-2.2.4:**

Задано плоское тело, состоящее из трех плоских элементарных фигур, координаты центра тяжести и формулы для определения площади которых принимать согласно табл. 2.2.9. Размеры тела выражены через величину  $a$ , которую следует принять согласно табл. 2.2.9.

**Задание ОС-2.2.4 - Требуется:**

1. Определить положение центра тяжести плоского тела.
2. Выполнить проверки:  $S_{x_c} = 0$ ;  $S_{y_c} = 0$ .
3. Вычертить сечение в удобном масштабе на миллиметровой бумаге формата А4. Показать все необходимые оси и размеры.

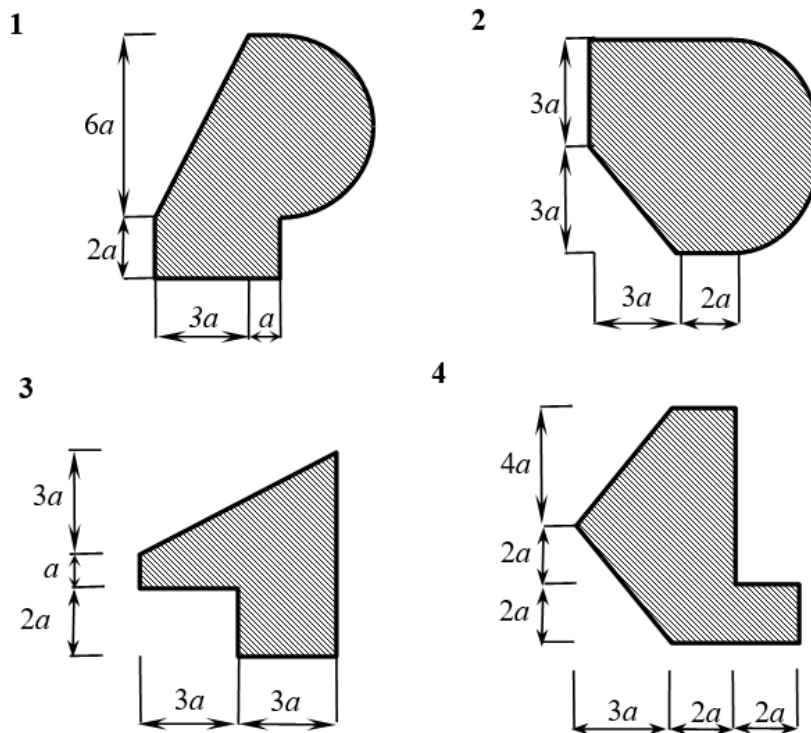


Рисунок 2.2.9 – Схемы для расчета тип  $a$

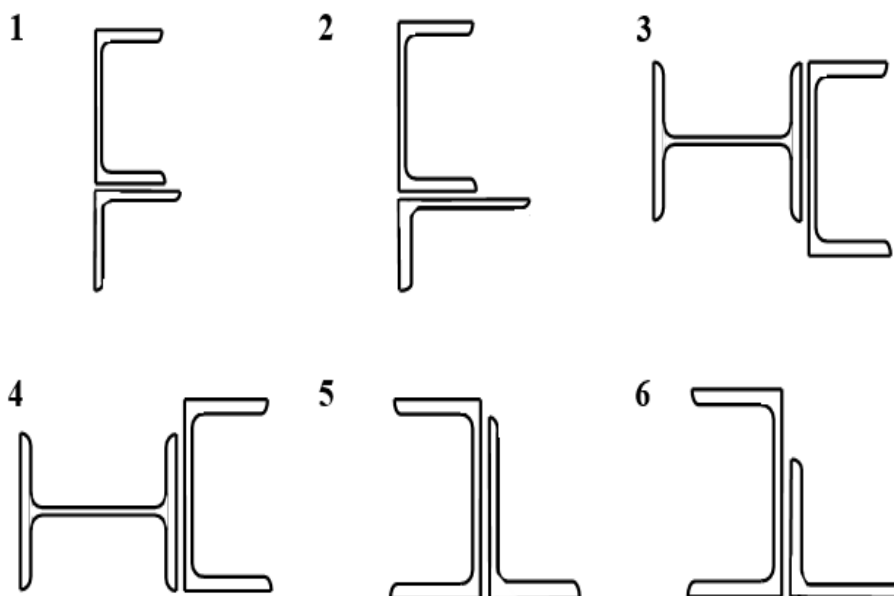


Рисунок 2.2.10 – Схемы для расчета тип  $b$

Таблица 2 – Исходные данные для ОС-2.2.4

№ задания	К задаче С-2 (а)	К задаче С-2 (б)			
	а, см	Номер профиля			
		уголка равнопо- лочного	уголка неравнопо- лочного	двутавра	швеллера
1	2	5	5/3,2	10	5
2	3	5,6	5,6/3,6	12	8
3	4	6,3	6,3/4,0	14	10
4	5	7	7,5/5	16	12
5	6	7,5	8/5	18	14
6	7	8	9/5,6	20	16
7	8	5	5/3,2	10	5
8	9	5,6	5,6/3,6	12	8
9	10	6,3	6,3/4,0	14	10
10	2	7	7,5/5	16	12
11	3	7,5	8/5	18	14
12	4	8	9/5,6	20	16
13	5	5	5/3,2	10	5
14	6	5,6	5,6/3,6	12	8
15	7	6,3	6,3/4,0	14	10
16	8	7	7,5/5	16	12
17	9	7,5	8/5	18	14
18	10	8	9/5,6	20	16
19	2	5	5/3,2	10	5
20	3	5,6	5,6/3,6	12	8
21	4	6,3	6,3/4,0	14	10
22	5	7	7,5/5	16	12
23	6	7,5	8/5	18	14
24	7	8	9/5,6	20	16
25	8	5	5/3,2	10	5
26	9	5,6	5,6/3,6	12	8
27	10	6,3	6,3/4,0	14	10
28	2	7	7,5/5	16	12
29	4	7,5	8/5	18	14
30	6	8	9/5,6	20	16

**Пример решения задания ОС-2.2.4 (а)**

Исходные данные:

Задано плоское тело (рис. 5.4), состоящее из двух плоских элементарных фигур, координаты центра тяжести и формулы для определения площади которых принимать согласно табл. 5.2.

Требуется:

1. Определить положение центра тяжести плоского тела.
2. Выполнить проверку:

$$S_{x_c} = \sum A_k a_k = 0;$$

$$S_{y_c} = \sum A_k b_k = 0.$$

3. Вычертить сечение в удобном масштабе. Показать все необходимые оси и размеры.

Решение:

1. Определим положение центра тяжести сечения.

Разобьем заданное сечение на две элементарные фигуры: 1 – полукруг, 2 – треугольник (рис. 5.5).

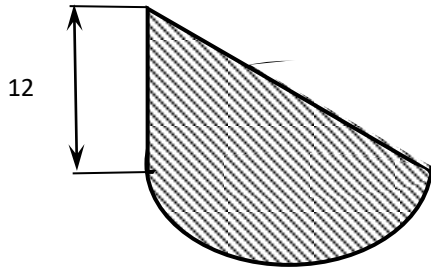


Рисунок 2.2.11

Покажем положение центров тяжести (точки  $C_1, C_2$ ) и центральные оси ( $x_1, y_1, x_2, y_2$ ) каждой фигуры. Согласно табл. 2.2.11, вертикальная ось полукруга совпадает с осью симметрии и проходит посередине ширины полукруга, горизонтальная ось отстает от основания полукруга на величину  $y_{c1}$  центр тяжести прямоугольного треугольника расположен на расстоянии  $y_{c2}$  от основания и расстоянии  $x_{c2}$  от вертикального катета (рис. 2.2.11).

Проводим центральные оси и на пересечении их показываем центры тяжести каждой фигуры (рис. 5.5).

Положение центра тяжести сечения определяется по формулам (5.3):

$$x_c = \frac{1}{A} \sum A_k x_k; \quad y_c = \frac{1}{A} \sum A_k y_k.$$

Определим площадь каждой фигуры по формулам из табл. 5.2:

$$A_1 = \frac{\pi \cdot d^2}{8} = \frac{3,14 \cdot 18^2}{8} = 127,17 \text{ см}^2;$$

$$A_2 = \frac{1}{2} \cdot 12 \cdot 18 = 108 \text{ см}^2.$$

Найдем координаты  $y_k$ , определяемые расстояниями между случайной осью  $\bar{y}$  и центральными вертикальными осями каждой фигуры  $y_k$  (рис. 5.5):

$$y_1 = R - y_{c1} = R - 0,2122d = 0,2878d_1 = 0,2878 \cdot 18 = 5,1804 \text{ см};$$

$$y_2 = R_1 + \frac{1}{3}h_2 = 9 + \frac{1}{3}12 = 13 \text{ см}.$$

$$\text{Тогда: } y_c = \frac{127,17 \cdot 5,1804 + 108 \cdot 13}{127,17 + 108} = \frac{658,79 + 1404}{235,17} = 8,771 \text{ см}.$$

От оси  $\bar{x}$  вверх откладываем координату  $y_c = 8,771 \text{ см}$  и проводим центральную горизонтальную ось  $x_c$  (рис. 5.5).

Найдем координаты  $x_k$ , определяемые расстояниями между случайной осью  $\bar{y}$  и центральными вертикальными осями каждой фигуры  $y_k$  (рис. 5.5):

$$x_1 = R = 9 \text{ см}; \quad x_2 = \frac{1}{3}b_2 = \frac{1}{3}18 = 6 \text{ см}.$$

$$\text{Тогда: } x_c = \frac{127,17 \cdot 9 + 108 \cdot 6}{127,17 + 108} = \frac{1144,53 + 648}{235,17} = 7,622 \text{ см}.$$

От оси  $\bar{y}$  вправо откладываем координату  $x_c = 7,622 \text{ см}$  и проводим центральную вертикальную ось  $y_c$ . Точка пересечения осей  $x_c$  и  $y_c$  – центр тяжести всего сечения (рис. 2.2.11).

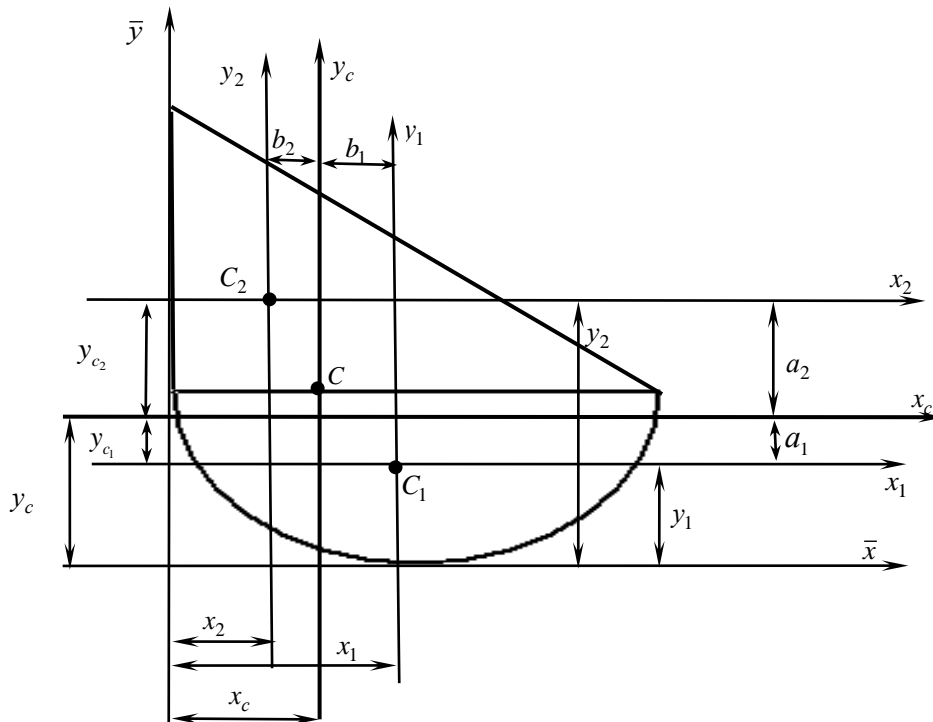


Рисунок 2.2.12

2. Выполним проверку:

Статический момент площади относительно центральных осей должен быть равен нулю.

$$S_{x_c} = \sum A_k a_k = 0; S_{y_c} = \sum A_k b_k = 0.$$

Определим ординаты  $a_k$  – расстояния между центральной горизонтальной осью всего сечения  $x_c$  и центральными горизонтальными осями каждой фигуры  $x_k$  (рис. 5.5).

$$a_1 = y_1 - y_c = 5,1804 - 8,771 = -3,5906 \text{ см};$$

$$a_2 = y_2 - y_c = 13 - 8,771 = 4,229 \text{ см}.$$

$$S_{x_c} = 127,17 \cdot (-3,5906) + 108 \cdot 4,229 \approx 0.$$

Определим ординаты  $b_k$  – расстояния между центральной вертикальной осью всего сечения  $y_c$  и центральными вертикальными осями каждой фигуры отдельно  $y_k$  (рис. 5.5).

$$b_1 = x_1 - x_c = 9 - 7,622 = 1,378 \text{ см};$$

$$b_2 = x_2 - x_c = 6 - 7,622 = -1,622 \text{ см}.$$

$$S_{y_c} = 127,17 \cdot 1,378 + 108 \cdot (-1,622) \approx 0.$$

Проверки выполнены, значит расчеты проведены верно.

### Пример решения задания ОС-2.2.4 (б)

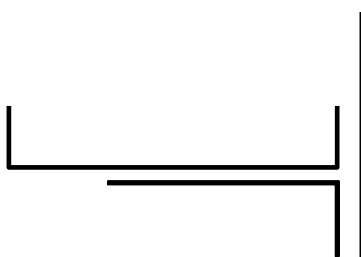


Рисунок 2.2.13

Исходные данные:

Задано плоское сечение твердого тела (рис. 2.2.13), состоящее из листа  $16 \times 1,4$  см и двух прокатных профилей (швеллер 16, уголок  $9/5,6$ ) координаты центра тяжести и площади которых принимают согласно табл. 2.2.13, 2.2.14.

Требуется:

1. Определить положение центра тяжести плоского тела.
2. Выполнить проверки:

$$S_{x_c} = \sum A_k a_k = 0; S_{y_c} = \sum A_k b_k = 0.$$

3. Вычертить сечение в удобном масштабе. Показать все необходимые оси и размеры.

*Решение:*

1. Определим положение центра тяжести сечения:

Обозначим швеллер фигурой – 1, уголок – 2, лист – 3 (рис.2.2.13).

Выпишем все геометрические характеристики для заданных профилей: по таблице 2.2.3 для швеллера № 16 (ГОСТ 8240–89):  $b_1 = 64$  мм,  $h_1 = 160$  мм,  $x_{c_1} = 1,97$  см,  $A_1 = 18,1$  см<sup>2</sup>; по таблице 2.2.3 для уголка неравнобокого 90×56×8 (ГОСТ 8510–86):  $x_{c_2} = 1,36$  см,  $y_{c_2} = 3,04$  см,  $A_2 = 11,18$  см<sup>2</sup>.

Лист имеет размеры  $h_3 = 16$  см,  $b_3 = 1,4$  см.

Покажем положение центров тяжести (точки  $C_1, C_2, C_3$ ) и центральные оси ( $x_1, y_1; x_2, y_2; x_3, y_3$ ) каждой фигуры. Вертикальная ось швеллера совпадает с осью симметрии и проходит посередине высоты его стенки, а горизонтальная ось отстает от внешней грани стенки швеллера на величину  $x_{c_1}$ . Вертикальная ось неравнобокого уголка расположена на расстоянии  $y_{c_2}$  от внешней грани меньшей полки уголка, а горизонтальная ось расположена на расстоянии  $x_{c_2}$  от внешней грани большей полки уголка. Центральные оси листа совпадают с осями его симметрии. Проводим центральные оси и на пересечении их показываем центры тяжести каждой фигуры (рис. 2.2.13).

Положение центра тяжести плоского тела определяется по формулам (5.3):

$$x_c = \frac{1}{A} \sum A_k x_k;$$
$$y_c = \frac{1}{A} \sum A_k y_k.$$

Площади швеллера и уголка выписаны из таблицы 5.4 и 5.6 и равны соответственно:  $A_1 = 18,1$  см<sup>2</sup>,  $A_2 = 11,18$  см<sup>2</sup>, а площадь листа определяем:

$$A_3 = h_3 \cdot b_3 = 16 \cdot 1,4 = 22,4 \text{ см}^2.$$

Найдем координаты  $y_k$ , определяемые расстояниями между случайной осью  $\bar{x}$  и центральными горизонтальными осями каждой фигуры  $x_k$  (рис. 5.7):

$$y_1 = b_2 + x_{c_1} = 5,6 + x_{c_1} = 5,6 + 1,97 = 7,57 \text{ см};$$

$$y_2 = b_2 - x_{c_2} = 5,6 - 1,36 = 4,24 \text{ см};$$

$$y_3 = \frac{h_3}{2} = 8 \text{ см}.$$

$$\text{Тогда } y_c = \frac{18,1 \cdot 7,57 + 11,18 \cdot 4,24 + 22,4 \cdot 8}{18,1 + 11,18 + 22,4} = 7,036 \text{ см}.$$

От оси  $\bar{x}$  вверх откладываем координату  $y_c = 7,036$  см и проводим центральную горизонтальную ось  $x_c$  (рис. 2.2.13).

Найдем координаты  $x_k$ , определяемые расстояниями между случайной осью  $\bar{y}$  и центральными вертикальными осями каждой фигуры  $y_k$  (рис. 2.2.13):

$$x_1 = \frac{h_1}{2} = \frac{16}{2} = 8 \text{ см};$$

$$x_2 = h_1 - y_{c_2} = 16 - 3,04 = 12,96 \text{ см};$$

$$x_3 = h_1 + \frac{b_3}{2} = 16 + \frac{1,4}{2} = 16,7 \text{ см}.$$

$$\text{Тогда } x_c = \frac{18,1 \cdot 8 + 11,18 \cdot 12,96 + 22,4 \cdot 16,7}{18,1 + 11,18 + 22,4} = 12,844 \text{ см}.$$

От оси  $\bar{y}$  вправо откладываем координату  $x_c = 12,844$  см и проводим центральную вертикальную ось  $y_c$ . Точка пересечения осей  $x_c$  и  $y_c$  – центр тяжести всего сечения (рис. 2.2.13).

2. Выполним проверку:

Статический момент площади относительно центральных осей должен быть равен нулю.

$$S_{x_c} = \sum A_k \cdot a_k = 0;$$

$$S_{y_c} = \sum A_k \cdot b_k = 0.$$

Определим ординаты  $a_k$  – расстояния между центральной горизонтальной осью всего сечения  $x_c$  и центральными горизонтальными осями каждой фигуры отдельно  $x_k$  (рис. 2.2.13):

$$a_1 = y_1 - y_c = 7,57 - 7,036 = 0,534 \text{ см};$$

$$a_2 = y_2 - y_c = 4,24 - 7,036 = -2,796 \text{ см};$$

$$a_3 = y_3 - y_c = 8 - 7,036 = 0,964 \text{ см};$$

$$S_{x_c} = A_1 \cdot a_1 + A_2 \cdot a_2 + A_3 \cdot a_3 = 18,1 \cdot 0,534 + 11,18 \cdot (-2,796) + 22,4 \cdot 0,364 = 0,0002 \approx 0.$$

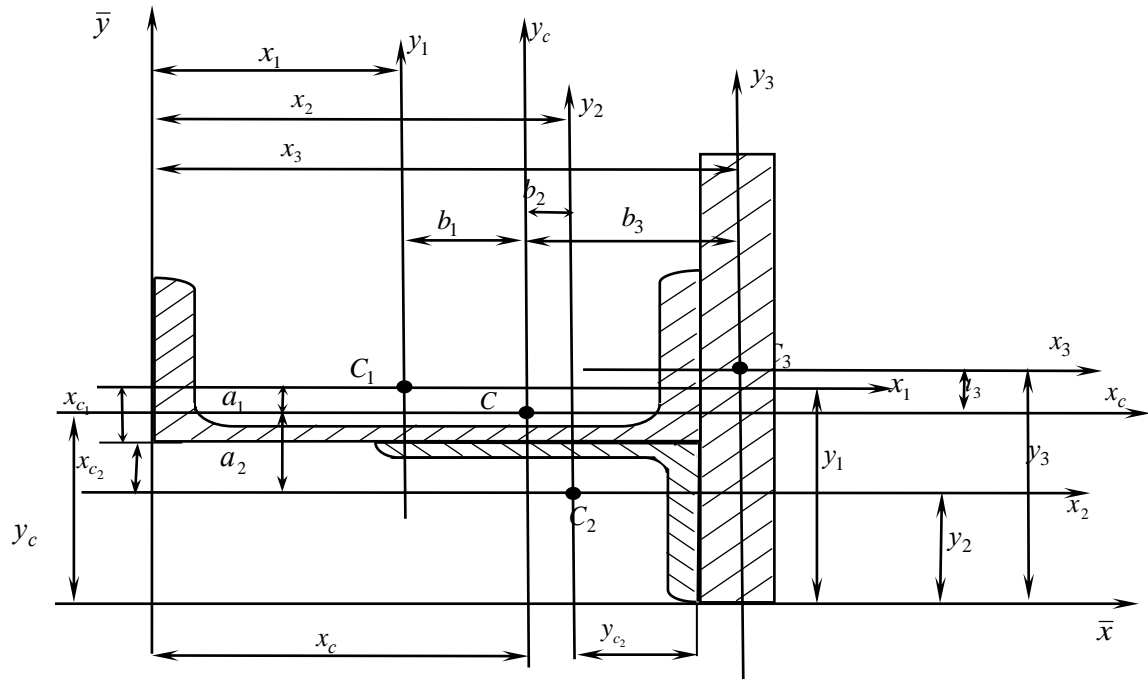


Рисунок 2.2.13

Определим ординаты  $b_k$  – расстояния между центральной вертикальной осью всего сечения  $y_c$  и центральными вертикальными осями каждой фигуры отдельно  $y_k$  (рис. 5.7):

$$b_1 = x_1 - x_c = 8 - 12,844 = -4,844 \text{ см}; \quad b_2 = x_2 - x_c = 12,96 - 12,844 = 0,116 \text{ см};$$

$$b_3 = x_3 - x_c = 16,7 - 12,844 = 3,856 \text{ см};$$

$$S_{y_c} = A_1 \cdot b_1 + A_2 \cdot b_2 + A_3 \cdot b_3 = 18,1 \cdot (-4,844) + 11,18 \cdot 0,116 + 22,4 \cdot 3,856 = -0,005 \approx 0.$$

Проверки выполнены, значит, расчеты проведены верно.

## Наименование работы: Определение усилий в стержнях фермы

### Дано ОС-2.2.5:

Статически определимая ферма (общий вид фермы см. рис. 2.2.14) загружена двумя сосредоточенными силами  $F$  и  $P$ , значения, направления и точки приложения которых указаны в табл. 2.2.5

**Задание ОС-2.2.5** - Требуется:

1. Определить реакции опор фермы от заданной нагрузки.
2. Определить усилия во всех стержнях фермы способом вырезания узлов.
3. Определить усилия в стержнях первой панели пролета фермы способом Риттера (способ сечений).
4. Определить усилия во всех стержнях фермы графическим способом (чертеж выполнить на миллиметровой бумаге).
5. Результаты вычислений занести в таблицу 2.2.6.



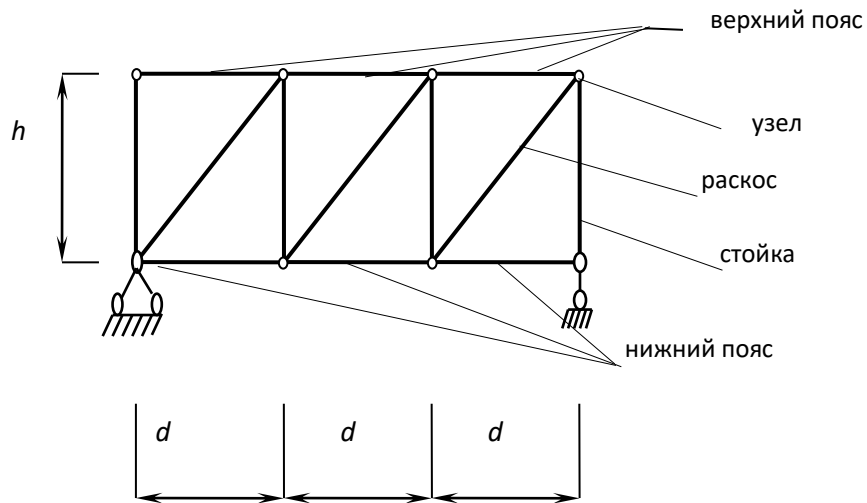


Рисунок 2.2.14

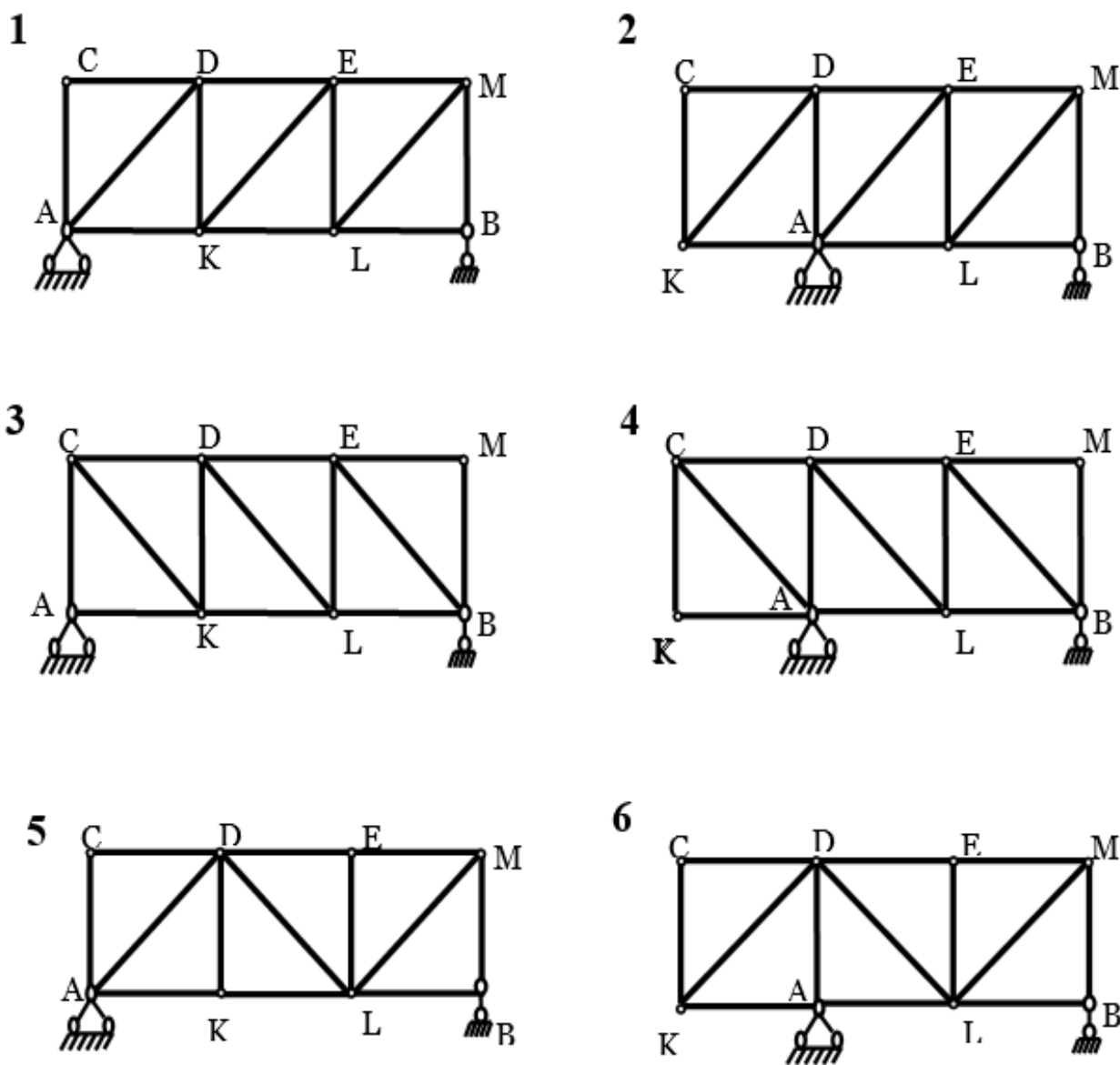


Рисунок 2.2.15

Таблица 2.2.5 – Данные для ОС-2.2.5

Номер варианта	$h$ , м	$d$ , м	$\uparrow$ $P = 20$ кН	$\rightarrow$ $F = 10$ кН
			точка приложения силы	
1	2	3	4	5
1	0,8	2	К	С
2	1,0	3	Л	М
3	1,2	4	К	С
4	1,4	5	Л	М
5	1,6	6	К	С
6	1,8	2	Л	М
7	2,0	3	К	С
8	2,2	4	Л	М
9	2,4	5	К	С
10	2,6	6	Л	М
11	2,8	2	К	С
12	3,0	3	Л	М
13	3,2	4	К	С
14	3,4	5	Л	М
15	3,6	6	К	С
16	3,8	2	Л	М
1	2	3	4	5
17	4,0	3	К	С
18	3,8	4	Л	М
19	3,6	5	К	С
20	3,4	6	Л	М
21	3,2	2	К	С
22	3,0	3	Л	М
23	2,8	4	К	С
24	2,6	5	Л	М
25	2,4	6	К	С
26	2,2	2	Л	М
27	2,0	3	К	С
28	1,8	4	Л	М
29	1,6	5	К	С
30	1,4	6	Л	М

Таблица 2.2.6 – Усилия в стержнях фермы

Способ	Усилия в стержне			
	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_n$
вырезания узлов				
сечений (Риттера)				
графический				

## Пример решения задания ОС – 2.2.5

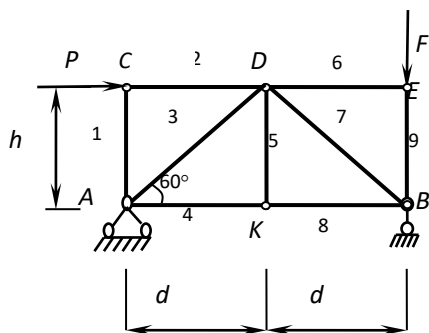


Рисунок 2.2.16

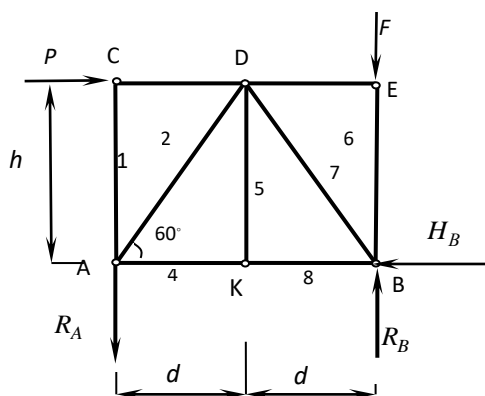


Рисунок 2.2.17

Исходные данные:

Ферма нагружена двумя сосредоточенными силами  $F = 10$  кН и  $P = 20$  кН;  $d = 3$  м (рис. 2.2.16).

Требуется:

1. Определить реакции опор фермы от заданной нагрузки.
2. Определить усилия во всех стержнях фермы способом вырезания узлов.
3. Определить усилия в стержнях первой панели пролета фермы способом Риттера (способом сечений).

4. Определить усилия во всех стержнях фермы графическим способом (построением диаграммы Максвелла).

Решение:

1. Определим реакции опор фермы от заданной нагрузки (рис. 2.2.17).

Определим высоту фермы:

$$\operatorname{tg} 60^\circ = \frac{h}{d} \Rightarrow h = d \cdot \operatorname{tg} 60^\circ = 3 \cdot 1,732 = 5,196 \text{ м.}$$

Составим уравнения равновесия:

1.  $\sum F_x = P - H_B = 0$ ;  $H_B = P = 20$  кН.
2.  $\sum M_A = -P \cdot h - F \cdot 2d + R_B \cdot 2d = 0$ ;

$$R_B = \frac{P \cdot h + F \cdot 2d}{2d} = \frac{20 \cdot 5,196 + 10 \cdot 2 \cdot 3}{6} = 27,32 \text{ кН.}$$

$$3. \sum M_B = -P \cdot h + R_A \cdot 2d = 0;$$

$$R_A = \frac{P \cdot h}{2d} = \frac{20 \cdot 5,196}{6} = 17,32 \text{ кН.}$$

Проверка:

$$\sum F_y = R_B - R_A - F = 0; \quad 27,32 - 10 - 17,32 = 0.$$

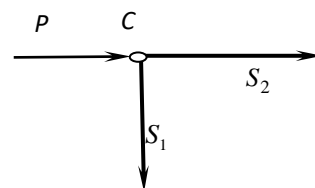


Рисунок 2.2.18

2. Определим усилия во всех стержнях фермы способом вырезания узлов.

Начинаем вырезать с того узла, в котором сходятся не более двух стержней с неизвестными усилиями. Это узел C или E. Усилия в стержнях предполагаем растянутыми (т. е. направленными от узла). Составим уравнения сходящейся системы сил согласно формулам (2.1). Так как заданная ферма является плоской, то этих уравнений будет два:

$$\sum F_{kx} = 0; \quad \sum F_{ky} = 0.$$

Вырезаем узел C (рис. 2.2.18):

Покажем внешнюю нагрузку – силу  $P$ , приложенную к этому узлу, и усилия в стержнях 1 и 2 ( $S_1, S_2$ ); считая их растянутыми, изображаем направленными от узла.

$$\sum F_x = P + S_2 = 0 \Rightarrow S_2 = -P = -20 \text{ кН;}$$

$$\sum F_y = -S_1 = 0 \Rightarrow S_1 = 0.$$

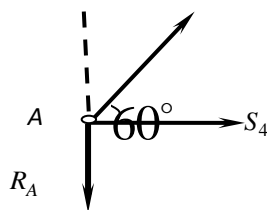


Рисунок 2.2.19

Так как стержень 2 сжат – усилие необходимо направить в другую сторону, т. е. к узлу, и в дальнейших расчетах считать его положительным. Вырезаем узел A (рис. 2.2.19).

Прикладываем опорную реакцию –  $R_A$  и показываем усилия в стержнях 3 и 4 ( $S_3, S_4$ ):

$$\begin{aligned}\sum F_x &= S_4 + S_3 \cos 60^\circ = 0; \\ \sum F_y &= -R_A + S_3 \sin 60^\circ = 0; \Rightarrow \\ S_3 &= \frac{R_A}{\sin 60^\circ} = \frac{17,32}{0,866} = 20 \text{ кН}; \\ S_4 &= -S_3 \cos 60^\circ = -20 \cdot 0,5 = -10 \text{ кН}.\end{aligned}$$

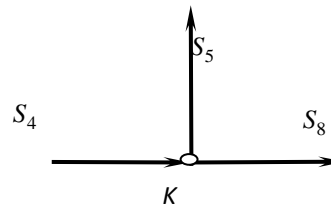


Рисунок 2.2.20

Так как стержень 4 сжат – усилие необходимо направить в другую сторону, т. е. к узлу, и в дальнейших расчетах считать его положительным.

Вырезаем узел  $K$  (рис. 6.20):

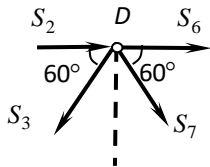


Рис. 2.2.21

Так как стержень 8 сжат – усилие необходимо направить в другую сторону, т. е. к узлу, и в дальнейших расчетах считать его положительным.

Вырезаем узел  $D$  (рис. 6.21):

$$\begin{aligned}\sum F_x &= S_4 + S_8 = 0; \Rightarrow S_8 = -S_4 = -10 \text{ кН}; \\ \sum F_y &= S_5 = 0; \Rightarrow S_5 = 0.\end{aligned}$$

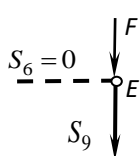


Рис. 2.2.22

$$\begin{aligned}\sum F_x &= S_2 - S_3 \cos 60^\circ + S_7 \cos 60^\circ + S_6 = 0; \\ \sum F_y &= -S_3 \sin 60^\circ - S_7 \sin 60^\circ = 0; \Rightarrow \\ S_7 &= \frac{-S_3 \sin 60^\circ}{\sin 60^\circ} = -20 \text{ кН}; \\ S_6 &= -S_2 + S_3 \cos 60^\circ - S_7 \cos 60^\circ = \\ &= -20 + 20 \cdot 0,5 - (-20) \cdot 0,5 = 0 \text{ кН}.\end{aligned}$$

Так как стержень 7 сжат – усилие необходимо направить в другую сторону, т. е. к узлу, и в дальнейших расчетах считать его положительным.

Вырезаем узел  $E$  (рис. 6.22):

$$\begin{aligned}\sum F_x &= 0; \\ \sum F_y &= -F - S_9 = 0; \Rightarrow S_9 = -F = -10 \text{ кН}.\end{aligned}$$

Так как стержень 9 сжат – усилие необходимо направить в другую сторону, т. е. к узлу, и в дальнейших расчетах считать его положительным.

Так как усилия во всех стержнях определены, то узел  $B$  используем в качестве проверки.

Вырезаем узел  $B$  (рис.2.2.23):

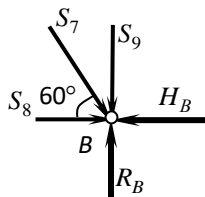


Рис. 2.2.23

$$\begin{aligned}\sum F_x &= S_8 + S_7 \cos 60^\circ - H_B = 0; \\ 10 + 20 \cdot 0,5 - 20 &= 0; \\ 0 &= 0; \\ \sum F_y &= R_B - S_9 - S_7 \sin 60^\circ = 0; \\ 27,32 - 10 - 20 \cdot 0,866 &= 0; \\ 0 &= 0.\end{aligned}$$

3. Определим усилия в стержнях первой панели пролета фермы способом сечений (способом Риттера).

Разрежем ферму на две части сечением 1-1, проходящим через стержни 2, 3, 4 (рис. 6.24).

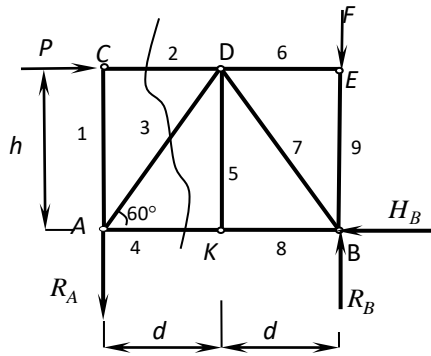


Рис. 2.2.24

Правую часть (то что находится правее сечения) отбросим, а в стержнях 2, 3, 4 покажем усилия  $S_2, S_3, S_4$ , считая стержни растянутыми (рис. 6.25).

Составим уравнения равновесия для определения искомых усилий:

Для определения усилия в стержне 4 необходимо составить моментное уравнение относительно точки, в которой пересекаются два других стержня (стержни 2 и 3). Это точка D (рис. 2.2.25).

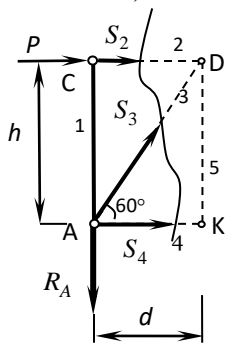


Рис. 2.2.25

$$\sum M_D = +R_A \cdot d + S_4 \cdot h = 0;$$

$$S_4 = \frac{-R_A \cdot d}{h} = \frac{-17,32 \cdot 3}{5,196} = -10 \text{ кН.}$$

Так как усилие  $S_4$  получили отрицательным, значит этот стержень сжат, а не растянут, как полагали.

Для определения усилия в стержне 2 необходимо составить моментное уравнение относительно точки, в которой пересекаются два других стержня (стержни 3 и 4). Это точка A (рис. 6.25).

$$\sum M_A = -P \cdot h - S_2 \cdot h = 0;$$

$$S_2 = -P = -20 \text{ кН.}$$

Т. к. усилие  $S_2$  получили отрицательным, значит этот стержень сжат, а не растянут как полагали.

Для определения усилия в стержне 3 необходимо составить моментное уравнение относительно точки, через которую этот стержень не проходит. Это точка C (рис. 2.2.25).

$$\sum M_C = S_4 \cdot h + S_3 \cdot \cos 60^\circ \cdot h = 0;$$

$$S_3 = \frac{-S_4 \cdot h}{\cos 60^\circ \cdot h} = \frac{-(-10)}{0,5} = 20 \text{ кН.}$$

4. Определим усилия во всех стержнях фермы графическим способом (построением диаграммы Максвелла):

Части плоскости, ограниченные контуром фермы и линиями действия внешних сил (включая опорные реакции), обозначаем буквами:  $a, б, в, г, д$  (рис. 2.2.26).

Части плоскости, ограниченные стержнями фермы, обозначаем буквами:  $A, Б, В, Г$  (рис. 2.2.26).

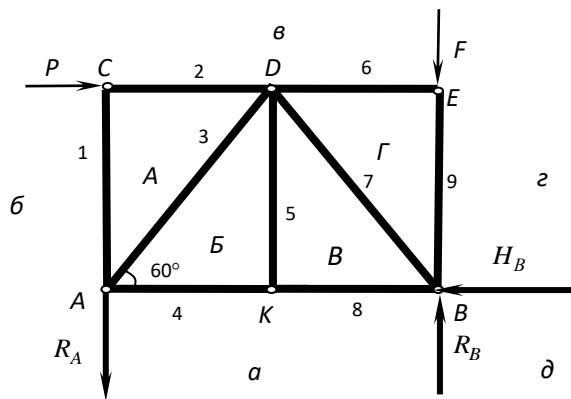
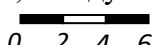


Рис. 2.2.26

Построим замкнутый многоугольник внешних сил (включая опорные реакции). Для этого откладываем силы в масштабе в том порядке, в котором они встречаются при обходе фермы по часовой стрелке. Силы обозначаем буквами того же наименования, что и буквы, обозначающие смежные участки плоскости, между которыми проходит линия действия данной силы.

Выбираем масштаб:   
 1 см – 2 кН

Произвольно отмечаем начало построения – точку *a*. Направление обхода фермы – по часовой стрелке. Между участками плоскости *a* и *б* проходит вертикальная сила  $R_A = 17,32$  кН, направленная вниз. Значит от точки *a* вертикально вниз (параллельно  $R_A$ ) откладываем в выбранном масштабе вектор *ab* (в конце вектора ставим точку *б*). Далее обходим ферму. Между участками плоскости *б* и *в* проходит горизонтальная сила  $P = 20$  кН, направленная слева направо. Значит на диаграмме от точки *б* горизонтально и слева направо (параллельно  $P$ ) откладываем в выбранном масштабе вектор *бв* (в конце вектора ставим точку *в*). По такому же алгоритму строим вектора *вг*, *гд*, *да*. В результате получим замкнутый силовой многоугольник (конец вектора *да* совпадает с началом вектора *ab*, т. е. с точкой *a*) (рис. 2.2.27).

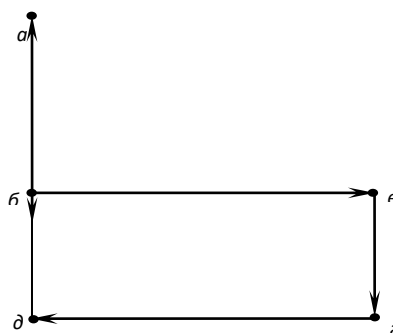


Рис. 2.2.27

Затем последовательно строим на этом же рисунке замкнутые силовые многоугольники для каждого узла, при этом узлы выбираем в таком порядке, чтобы каждый раз число неизвестных усилий в стержнях равнялось 2 (в последнем узле получится при этом одно неизвестное усилие). Обход каждого узла делаем по часовой стрелке.

Рассмотрим пример построения точки *A* (рис. 2.2.28).

Область *A* граничит с двумя внешними участками плоскости *б* и *в*. Через точку *в* на диаграмме параллельно стержню 2 (который разделяет области *в* и *A*) проводим прямую *в–A*, а через точку *б* проводим прямую *б–A*, параллельную стержню 1 (который разделяет области *A* и *б*). Точка пересечения этих прямых и есть точка *A* (она совпадает с точкой *б*).

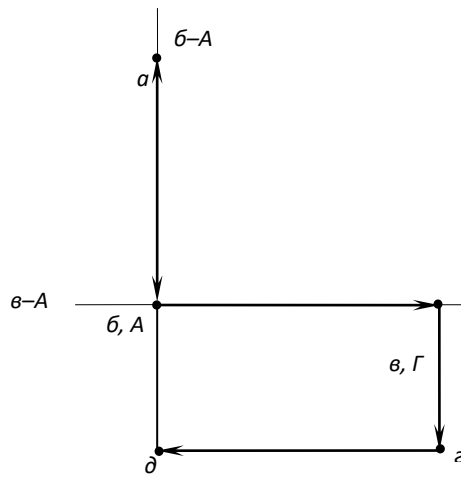


Рис. 2.2.28

Чтобы построить точку  $B$  (рис. 2.2.29), надо провести через точку  $A$  прямую  $A-B$  параллельно стержню 3 (который разделяет области  $A$  и  $B$ ), затем через точку  $a$  провести прямую  $B-a$  параллельно стержню 4 (который разделяет области  $B$  и  $a$ ). Точка пересечения этих прямых и есть точка  $B$ .

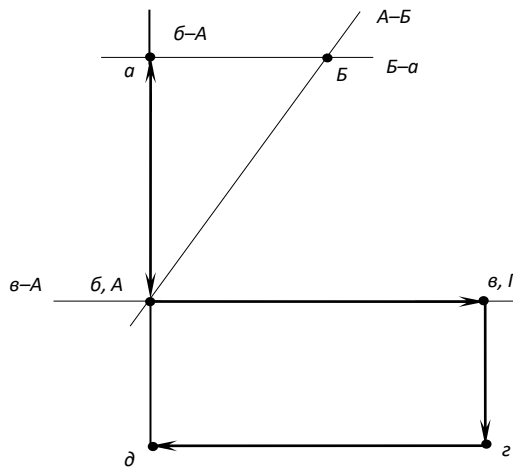


Рис. 2.2.29

Аналогично строим точки  $B$  и  $\Gamma$  (рис. 2.2.30).

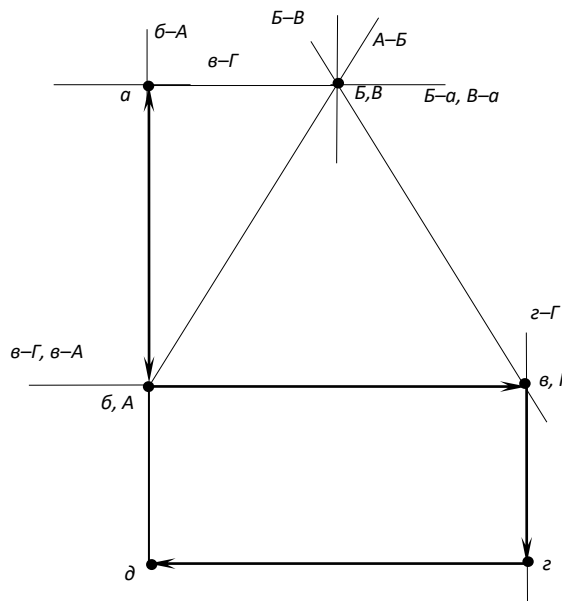


Рис. 2.2.30

Определим характер деформации в стержнях фермы.

Для определения того, сжат или растянут стержень, направляем стрелки векторов от одной буквы к другой в таком порядке, как они встречаются при обходе узла по часовой стрелке. Потом переносим определенное направление усилия на стержень. Стержень сжат, если усилие направлено к узлу, растянут, если направлено от узла.

Рассмотрим узел А (рис. 2.2.26).

Стержень 1 отображен на диаграмме (рис. 2.2.31) вектором  $\overline{bA}$  (смежные области, которые разделяет стержень 1). Эти точки совпадают, значит стержень не деформируется – усилие в нем равно нулю:  $S_1 = 0$ .

Стержень 3 отображен на диаграмме (рис. 2.2.31) вектором  $\overline{AB}$ , начало которого в точке А, конец в точке В (именно в таком порядке эти буквы встречаются при обходе узла А по часовой стрелке). Переносим найденное направление (вверх и вправо) на стержень 3 фермы (рис. 2.2.32), помещая начало этого вектора в узел А. Получаем, что стержень 3 растянут (так как усилие направлено от узла). В узле D для стержня 3 также показываем усилие направленным от узла (рис. 2.2.32).

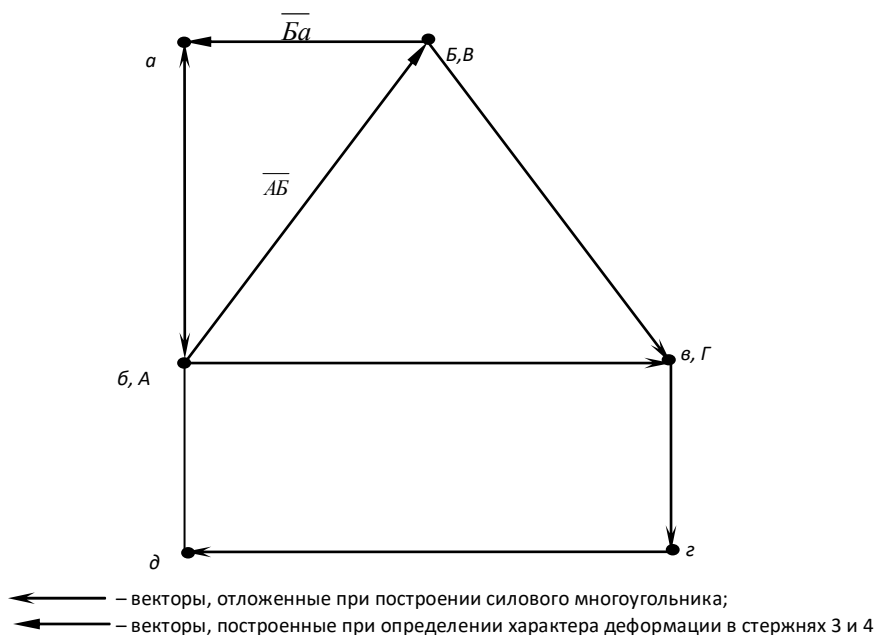


Рис. 2.2.31

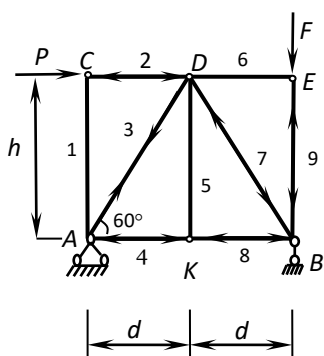


Рис. 2.2.32

Стержень 4 отображен на диаграмме (рис. 2.2.31) вектором  $\overline{B-a}$ , начало которого в точке В, конец в точке а (именно в таком порядке эти буквы встречаются при обходе узла А по часовой стрелке). Переносим найденное направление (справа налево) на стержень 4 фермы (рис. 2.2.32). Получаем, что стержень 4 сжат (так как усилие направлено к узлу). В узле К для стержня 4 также показываем усилие направленным к узлу (рис. 2.2.32).

Аналогично определяем характер деформации всех стержней фермы (рис. 2.2.32).

Определим значение усилий в стержнях фермы.

Для этого надо измерить линейкой длину соответствующих векторов и с учетом масштаба определить усилия.

Так для стержня 3, который отображен на диаграмме вектором  $\overline{AB}$  (рис. 2.2.31), замеряем длину вектора  $l = 10$  см. Так как, согласно выбранному масштабу, 1 см равен 2 кН, получаем  $S_3 = 10 \cdot 2 = 20$  кН.

Аналогично определяем усилия во всех стержнях фермы.

Результаты определения усилий в стержнях фермы сведены в табл. 2.2.3.



Таблица 2.2.7 – Результат решения задания ОС-2.2.5

Усилия в стержнях фермы

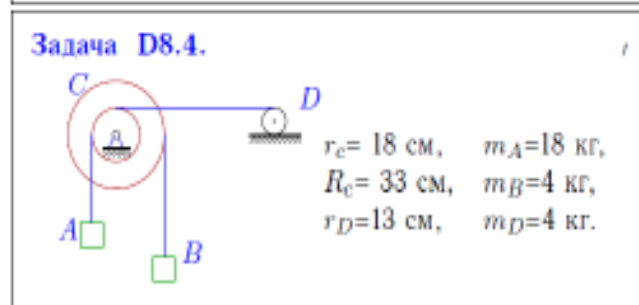
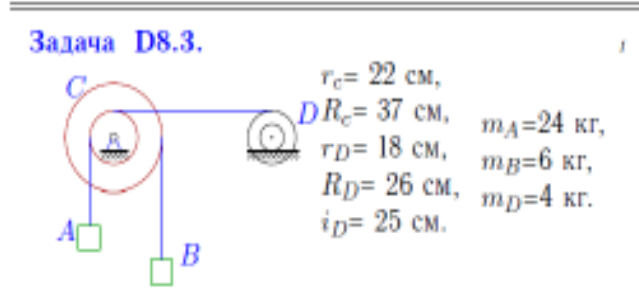
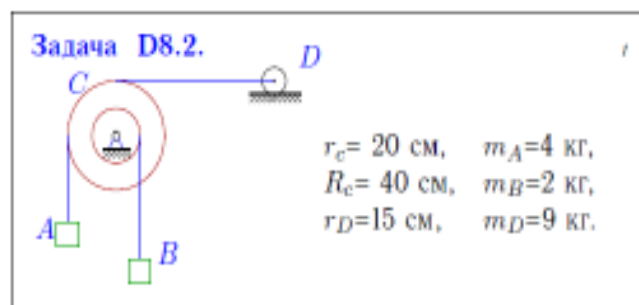
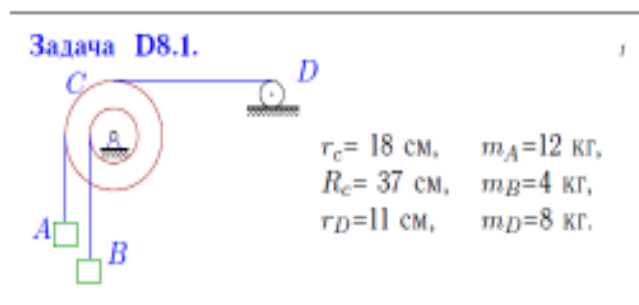
Способ	Усилия в стержне								
	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$	$S_6$	$S_7$	$S_8$	$S_9$
Вырезания узлов	0	20	20	10	0	0	20	10	10
Сечений (Риттера)	–	20	20	10	–	–	–	–	–
Графический	0	20	20	10	0	0	20	10	10

**Раздел Динамика (ОС-2.3)**

**Дано ОС-2.3:** Расчетная схема механизма. Механическая система с одной степенью свободы состоит из тел, совершающих плоское движение. Под действием сил тяжести система из состояния покоя переходит в движение. Коэффициент трения скольжения  $f$ . Радиус инерции. Радиус инерции  $i_p$ . Внешние радиусы  $R_C, R_D$ , внутренние  $r_C, r_D$ .

**Задание ОС-2.3:**

- Какую скорость приобретет груз А, переместившись (вверх или вниз) на  $S = 1\text{ м}$ ? качение цилиндра (или блока) происходит без проскальзывания.



**3. ПРОЦЕДУРА ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ**

Зачет проводится в форме индивидуальной защиты – ответов на вопросы (ОС-1) и решение задачи (ОС-2).

Преподаватель в начале семестра выдает обучающимся список вопросов для зачета.

Обучающийся должен вовремя прибыть на зачет с зачетной книжкой, письменными принадлежностями. При необходимости и возникновения необходимости обдумывания ответа на вопрос обучающийся может использовать время 5-15 минут для подготовки ответа.

Пользоваться учебниками, книгами, пособиями, записями и конспектами лекции на зачете не разрешается. В период учебных занятий (лекций и семинаров, а также зачета) запрещено пользоваться мобильной связью.


На зачете обучающемуся следует кратко и аргументировано изложить ответы на поставленные преподавателем вопросы, решить задачу. Обучающийся должен быть готов и к дополнительным (уточняющим) вопросам, которые может задать преподаватель. Так же

учитывается активность обучающегося в течение всего семестра и степень освоения изучаемого материала.

Оценочные средства для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья выбираются с учетом их индивидуальных психофизических возможностей (подбираются индивидуально в зависимости от возможностей здоровья студента):

Категории студентов	Виды оценочных средств	Форма контроля и оценки результатов обучения
С нарушением слуха	Отчет по индивидуальному заданию	Преимущественно письменная проверка
С нарушением зрения	Отчет по индивидуальному заданию	Преимущественно устная проверка (индивидуально)
С нарушением опорно-двигательного аппарата	Отчет по индивидуальному заданию	Письменная проверка

Разработчик:

  
\_\_\_\_\_

/ Е. В. Логинова