



Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования «Брестский государственный
технический университет»
Филиал Учреждения образования «Брестский государственный
технический университет» Политехнический колледж

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель директора
по учебной работе
_____ С.В. Маркина
«___» _____ 2022 г.

ОСНОВЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

для выполнения практических работ
для учащихся специальности
2–39 02 32 «Проектирование и производство радиоэлектронных средств»

Разработала: М.О. Храпунова, преподаватель Филиала БрГТУ
Политехнический колледж.

Методические указания разработаны на основании учебной программы «Основы технической механики», утвержденной первым проректором УО БрГТУ 15.07.2022 г.

Методические указания обсуждены и рекомендованы к использованию на заседании цикловой комиссии радиотехнических предметов

Протокол № _____ от «_____» _____ 2022 г.

Председатель цикловой комиссии _____ Л.П. Бойко

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Учебный предмет «Основы технической механики» является важным общетехническим предметом, назначение которого дать будущим техникам-технологам основные сведения об общих законах равновесия материальных тел; о методах расчета элементов конструкций и машин на прочность, жесткость и устойчивость; о законах движения материальных тел; об устройстве машин и механизмов, их деталей и области их применения. Знания и навыки, полученные при изучении этого учебного предмета, являются основой для освоения смежных специальных учебных предметов.

В результате изучения программного учебного материала учащиеся должны:
знать на уровне представления:

- применение механизмов, деталей машин и приборов;
- методы проектирования механических систем;
- условия равновесия и уравнения динамики системы в обобщенных координатах;

знать на уровне понимания:

- понятия, теоремы и аксиомы теоретической механики;
- виды деформаций, основные понятия сопротивления материалов;
- принцип расчета деталей механизмов на прочность, жесткость, устойчивость;
- назначение, классификацию деталей машин и механизмов радиоэлектронных средств;

уметь:

- выбирать расчетную схему (модель) и проводить расчеты типовых элементов механизмов в процессе проектирования радиоэлектронных средств;
- анализировать условия работы простейших механизмов, определять вид нагружения, характер эксплуатационной нагруженности;
- определять критерии работоспособности деталей и составлять расчетные схемы;
- составлять простейшие кинематические схемы, проводить кинематический и силовой расчеты механических передач и приводов;
- определять класс и по справочникам выбирать марки, характеристики физико-механических свойств и допускаемые напряжения конструкционных материалов радиоэлектронных средств.

Практические работы проводятся с целью:

- систематизации и закрепления полученных теоретических знаний и практических умений учащихся;
- углубления и расширения теоретических знаний;
- формирования умений использовать нормативную, справочную документацию и специальную литературу;
- развития познавательных способностей и активности учащихся: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирования самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развития исследовательских умений.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1

Расчет опорных реакций балок

Цель: научиться рассчитывать реакции опорных устройств балочных систем.

Теоретические сведения

Равновесие плоской системы сил

Основной задачей статики является изучение равновесия тел под действием приложенных к ним сил.

Равновесием тела называют состояние его покоя или движения, при котором все точки тела двигаются равномерно прямолинейно.

Количество уравнений, составляемых при решении задач о равновесии тел, зависит от расположения векторов сил, приложенных к рассматриваемому телу.

Для равновесия тела, находящегося под действием произвольной плоской системы сил, необходимо и достаточно, чтобы алгебраические суммы проекций всех сил на координатные оси, лежащие в плоскости действия сил, и алгебраическая сумма моментов всех сил относительно произвольной точки плоскости равнялись нулю:

$$\begin{cases} \sum F_{ix} = 0; \\ \sum F_{iy} = 0; \\ \sum M_{iA} = 0. \end{cases} \quad (1)$$

При решении задач о равновесии тела, на которое действует произвольная плоская система сил, можно использовать и иные наборы уравнений, включающие:

- равенство нулю алгебраических сумм моментов всех сил относительно любых трех точек, не лежащих на одной прямой:

$$\begin{cases} \sum M_{iA} = 0; \\ \sum M_{iB} = 0; (A \notin BC) \\ \sum M_{iC} = 0. \end{cases} \quad (2)$$

- равенство нулю алгебраических сумм моментов всех сил системы относительно двух любых точек и алгебраической суммы их проекций на ось, не перпендикулярную прямой, проходящей через две выбранные точки:

$$\begin{cases} \sum M_{iA} = 0; \\ \sum M_{iB} = 0; \\ \sum F_{ix} = 0. \end{cases} \quad (3)$$

Таким образом, при решении задач о равновесии тел с применением приведенных уравнений целесообразно придерживаться следующей последовательности действий.

1. Изображаются (в масштабе) исследуемые тела с наложенными на них механическими связями.
2. Выявляется узловое тело системы. Под узловым телом понимается тело, на которое действуют известные силы и силы, подлежащие определению.
3. На рисунке изображаются векторы активных сил, приложенных к узловому телу.
4. Определяются виды механических связей, наложенных на узловое тело, и расставляются векторы соответствующих сил реакций связей.
5. Проводятся оси координат так, чтобы они составляли известные или легко определяемые углы со всеми векторами рассматриваемых сил.
6. Устанавливается вид системы сил, приложенной к узловому телу, и составляются уравнения равновесия, соответствующие полученной системе сил.
7. Путем решения системы уравнений равновесия определяются величины, подлежащие определению по решению задачи.

Пример 1. Определить реакции опор, если $F = 10$ кН, $q = 2$ кН/м, $M = 3$ кН·м, $\alpha = 60^\circ$, $a = 6$ м, $b = 2$ м, $c = 4$ м (рисунок 1.1).

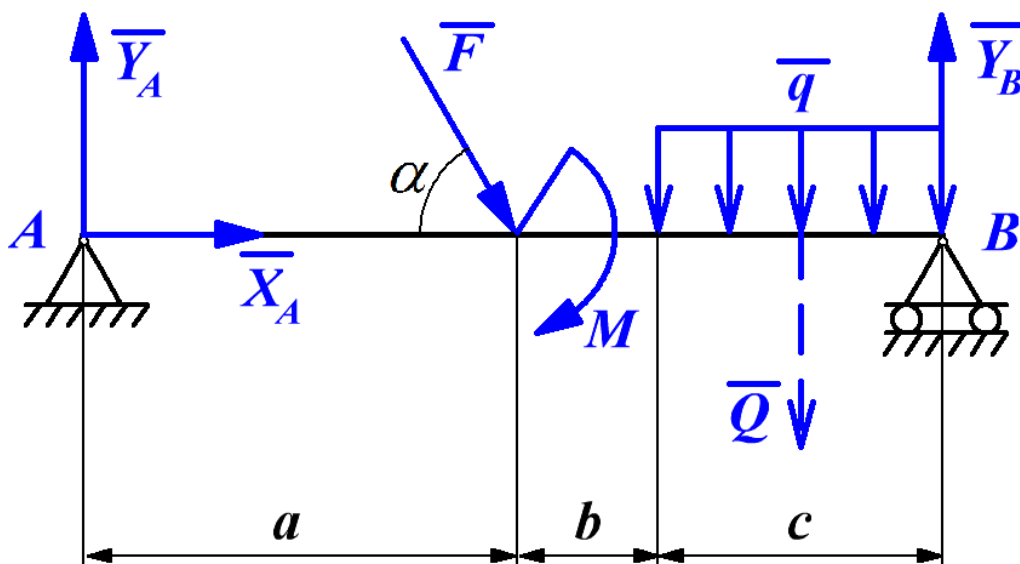


Рисунок 1.1 – Схема загрузки балки

Решение. Рассмотрим равновесие балки AB под действием силы F , момента M , равномерно распределенной нагрузки q и реакций связей X_A , Y_A , Y_B . Составим

три уравнения равновесия по первой форме. Равномерно распределенную нагрузку заменим равнодействующей $Q = c \cdot q = 4 \cdot 2 = 8$ кН, которая приложена в середине участка BD .

$$\begin{cases} \sum F_{ix} = 0; & X_A + F \cdot \cos \alpha = 0; & (4.1) \\ \sum F_{iy} = 0; & Y_A - F \cdot \sin \alpha - Q + Y_B = 0; & (4.2) \\ \sum M_A(\bar{F}_k) = 0; & -M - a \cdot F \cdot \sin \alpha - (a + b + 0,5 \cdot c) \cdot Q + (a + b + c) \cdot Y_B = 0. & (4.3) \end{cases}$$

Из (4.1) определим X_A :

$$X_A = -F \cdot \cos \alpha = -10 \cdot \cos 60^\circ = -5 \text{ кН}.$$

Из (4.3) определим Y_B :

$$Y_B = \frac{M + a \cdot F \cdot \sin \alpha + (a + b + 0,5 \cdot c) \cdot Q}{(a + b + c)} = \frac{3 + 6 \cdot 10 \cdot \sin 60^\circ + 10 \cdot 8}{12} = 11,247 \text{ кН}.$$

Из (4.2) определим Y_A :

$$Y_A = F \cdot \sin \alpha + Q - Y_B = 10 \cdot \sin 60^\circ + 8 - 11,247 = 5,413 \text{ кН}.$$

Выполним проверку:

$$\sum M_B(\bar{F}_k) = 0; \quad -M + (b + c) \cdot F \cdot \sin \alpha + 0,5 \cdot c \cdot Q - (a + b + c) \cdot Y_A = 0;$$

$$-3 + (2 + 4) \cdot 10 \cdot \sin 60^\circ + 0,5 \cdot 4 \cdot 8 - 12 \cdot 5,413 = 0,006 \approx 0;$$

Ответ: $X_A = -5$ кН, $Y_A = 5,413$ кН, $Y_B = 11,247$ кН.

Знак «минус» указывает, что направление X_A противоположно направлению, показанному на рисунке 1.1.

Пример 2. Определить реакции в жесткой заделке балки, если $F_1 = 10$ кН, $F_2 = 20$ кН, $F_3 = 30$ кН, $F_4 = 40$ кН, $q_1 = 5$ кН/м, $q_2 = 7$ кН/м, $m = 30$ кН·м, $\alpha_1 = 30^\circ$, $\alpha_2 = 60^\circ$, $a = 2$ м, $b = 3$ м, $c = 1$ м, $d = 1,5$ м, $e = 2,5$ м (рисунок 1.2).

Решение. Рассмотрим равновесие балки AB под действием сил F_1, F_2, F_3, F_4 , момента m , равномерно распределенной нагрузки q_1, q_2 , а также реакций связей X_A, Y_A, Y_B . Составим три уравнения равновесия по первой форме. Равномерно распределенную нагрузку заменим соответствующими равнодействующими $Q_1 = q_1 \cdot (d + e) = 5 \cdot (1,5 + 2,5) = 20$ кН, которая приложена в середине участка DB и $Q_2 = q_2 \cdot (b + c) = 7 \cdot (3 + 1) = 28$ кН, которая приложена в середине участка CK .

$$\begin{cases} \sum F_{ix} = 0; & X_A - F_1 \cdot \cos \alpha_1 + F_2 \cdot \cos \alpha_2 = 0; & (5.1) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \sum F_{iy} = 0; & Y_A - F_1 \cdot \sin \alpha_1 + Q_2 - F_2 \cdot \sin \alpha_2 + F_4 - Q_1 - F_3 = 0; & (5.2) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \sum M_A(\bar{F}_k) = 0; & m_A + m - F_1 \cdot \sin \alpha_1 \cdot a + Q_2 \cdot (a + 0,5(b + c)) - F_2 \cdot \sin \alpha_2 \cdot (a + b) + \\ & + F_4 \cdot (a + b + c) - Q_1 \cdot (a + b + c + 0,5(d + e)) - F_3 \cdot (a + b + c + d + e) = 0. & (5.3) \end{cases}$$

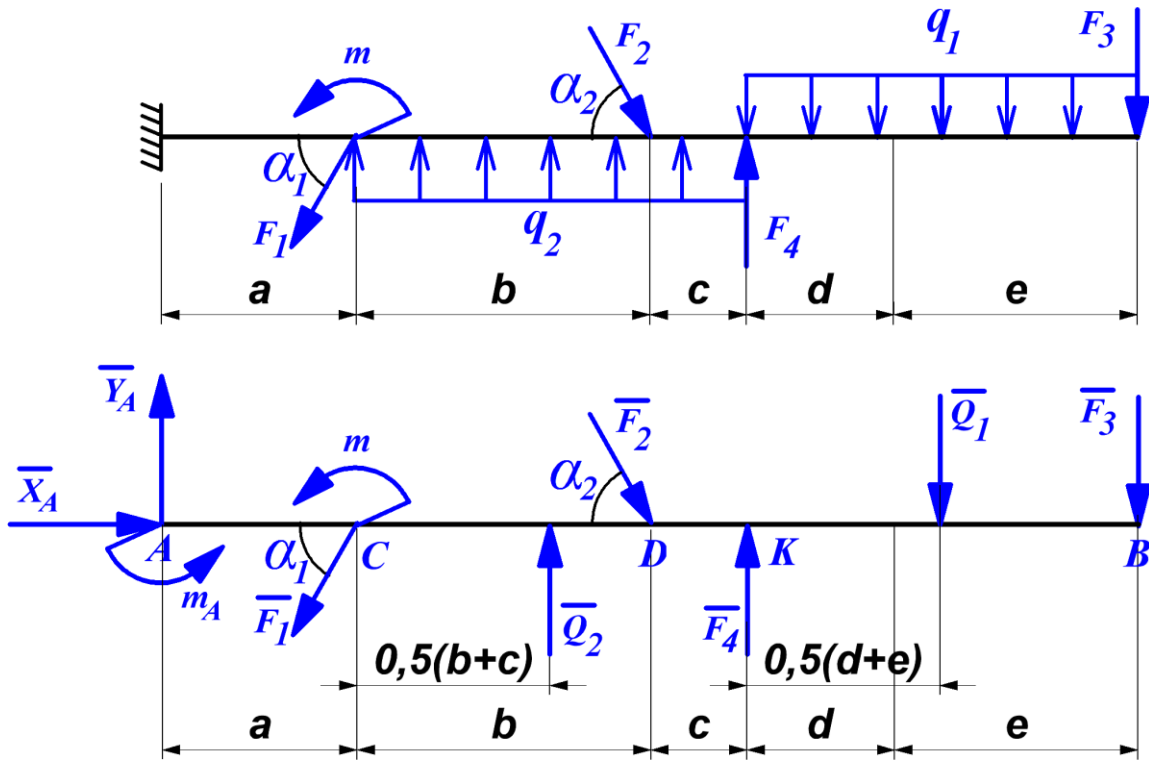


Рисунок 1.2 – Схема загрузки балки

Из (5.1) определим X_A :

$$X_A = F_1 \cdot \cos \alpha_1 - F_2 \cdot \cos \alpha_2 = 10 \cdot \cos 30^\circ - 20 \cdot \cos 60^\circ = -1,340 \text{ кН}.$$

Из (5.2) определим Y_A :

$$\begin{aligned} Y_A &= F_1 \cdot \sin \alpha_1 - Q_2 + F_2 \cdot \sin \alpha_2 - F_4 + Q_1 + F_3 = \\ &= 10 \cdot \sin 30^\circ - 28 + 20 \cdot \sin 60^\circ - 40 + 20 + 30 = 4,321 \text{ кН}. \end{aligned}$$

Из (5.3) определим m_A :

$$\begin{aligned} m_A &= -m + F_1 \cdot \sin \alpha_1 \cdot a - Q_2 \cdot (a + 0,5(b+c)) + F_2 \cdot \sin \alpha_2 \cdot (a+b) - \\ &\quad - F_4 \cdot (a+b+c) + Q_1 \cdot (a+b+c+0,5(d+e)) + F_3 \cdot (a+b+c+d+e) = \\ &= -30 + 10 \cdot \sin 30^\circ \cdot 2 - 28 \cdot (2 + 0,5(3+1)) + 20 \cdot \sin 60^\circ \cdot (2+3) - \\ &\quad - 40 \cdot (2+3+1) + 20 \cdot (2+3+1+0,5(1,5+2,5)) + 30 \cdot (2+3+1+1,5+2,5) = \\ &= 174,603 \text{ кН}\cdot\text{м}. \end{aligned}$$

Выполним проверку:

$$\begin{aligned} \sum M_B(\bar{F}_k) &= 0; \quad m_A + m - Y_A \cdot (a+b+c+d+e) + F_1 \cdot \sin \alpha_1 \cdot (b+c+d+e) - \\ &\quad - Q_2 \cdot (0,5(b+c) + d+e) + F_2 \cdot \sin \alpha_2 \cdot (c+d+e) - \\ &\quad - F_4 \cdot (d+e) + Q_1 \cdot 0,5(d+e) = 0; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 174,603 + 30 - 4,321 \cdot (2+3+1+1,5+2,5) + 10 \cdot \sin 30^\circ \cdot (3+1+1,5+2,5) - \\ - 28 \cdot (0,5(3+1) + 1,5+2,5) + 20 \cdot \sin 60^\circ \cdot (1+1,5+2,5) - \\ - 40 \cdot (1,5+2,5) + 20 \cdot 0,5(1,5+2,5) = -0,004 \approx 0. \end{aligned}$$

Ответ: $X_A = -1,340 \text{ кН}$, $Y_A = 4,321 \text{ кН}$, $m_A = 174,603 \text{ кН}\cdot\text{м}$

Знак «минус» указывает, что направление X_A противоположно направлению, показанному на рисунке 1.2.

Равновесие плоской системы параллельных сил

Для плоской системы параллельных сил можно составить два уравнения равновесия. Если силы параллельны оси y , то уравнения равновесия имеют вид:

–первая форма уравнения равновесия

$$\begin{cases} \sum F_{iy} = 0; \\ \sum M_{iA} = 0. \end{cases} \quad (6)$$

–вторая форма уравнения равновесия

$$\begin{cases} \sum M_{iA} = 0; \\ \sum M_{iB} = 0. \end{cases} \quad (7)$$

Пример 3. Определить реакции опор, если $F = 6$ кН, $q = 1$ кН/м, $M = 4$ кН·м, $a = 3$ м, $b = 6$ м, $c = 2$ м, $d = 4$ м (рисунок 1.3).

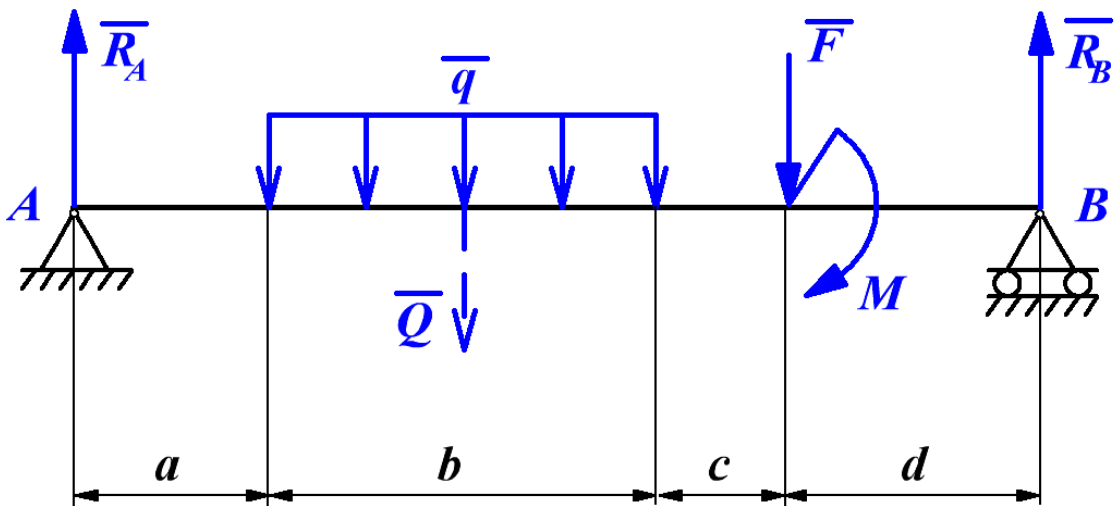


Рисунок 1.3 – Схема загрузки балки

Решение. Рассмотрим равновесие балки АВ под действием силы F , момента M , равномерно распределенной нагрузки интенсивности q и реакции связей Y_A , Y_B . Составим два уравнения равновесия по первой форме. Равномерно распределенную нагрузку заменим равнодействующей $Q = b \cdot q = 6 \cdot 1 = 6$ кН, которая приложена к середине нагруженного участка:

$$\begin{cases} \sum F_{iy} = 0; & R_A - Q - F + R_B = 0; \end{cases} \quad (8.1)$$

$$\begin{cases} \sum M_{iA} = 0; & -M - \left(a + \frac{b}{2}\right) \cdot Q - (a + b + c) \cdot F + (a + b + c + d) \cdot R_B = 0. \end{cases} \quad (8.2)$$

Из (8.2) определим R_B :

$$R_B = \frac{M + \left(a + \frac{b}{2}\right) \cdot Q + (a + b + c) \cdot F}{a + b + c + d} = \frac{4 + \left(3 + \frac{6}{2}\right) \cdot 6 + (3 + 6 + 2) \cdot 6}{3 + 6 + 2 + 4} = 7,067 \text{ кН}.$$

Из (8.1) определим R_A :

$$R_A = Q + F - R_B = 6 + 6 - 7,067 = 4,933 \text{ кН}.$$

Выполним проверку:

$$\begin{aligned} \sum M_{iB} = 0; \quad & -M - (a + b + c + d) \cdot R_A + \left(\frac{b}{2} + c + d\right) \cdot Q + d \cdot F = 0; \\ & -4 - (3 + 6 + 2 + 4) \cdot 4,933 + \left(\frac{6}{2} + 2 + 4\right) \cdot 6 + 4 \cdot 6 = 0,005 \approx 0. \end{aligned}$$

Ответ: $R_A = 4,933 \text{ кН}$, $R_B = 7,067 \text{ кН}$.

Пример 4. Определить реакции опор, если $F = 20 \text{ кН}$, $q = 30 \text{ кН/м}$, $M = 20 \text{ кН}\cdot\text{м}$, $a = 3 \text{ м}$, $b = 6 \text{ м}$, $c = 2 \text{ м}$ (рисунок 1.4).

Решение. Рассмотрим равновесие рамы под действием сил F , моментов M , равномерно распределенной нагрузки интенсивности q и реакции связей X_A , X_B , Y_B . Составим два уравнения равновесия по первой форме. Равномерно распределенную нагрузку заменим равнодействующей $Q = b \cdot q = 6 \cdot 30 = 180 \text{ кН}$, которая приложена к середине нагруженного участка:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum F_{ix} = 0; \quad X_A + F + F + X_B = 0; \quad (9.1) \\ \sum F_{iy} = 0; \quad F - Q + Y_B = 0; \quad (9.2) \\ \sum M_{iB} = 0; \quad M - M + (b + c) \cdot F - \frac{b}{2} \cdot Q - (b + a) \cdot F - a \cdot F - (b + c) \cdot X_A = 0. \quad (9.3) \end{array} \right.$$

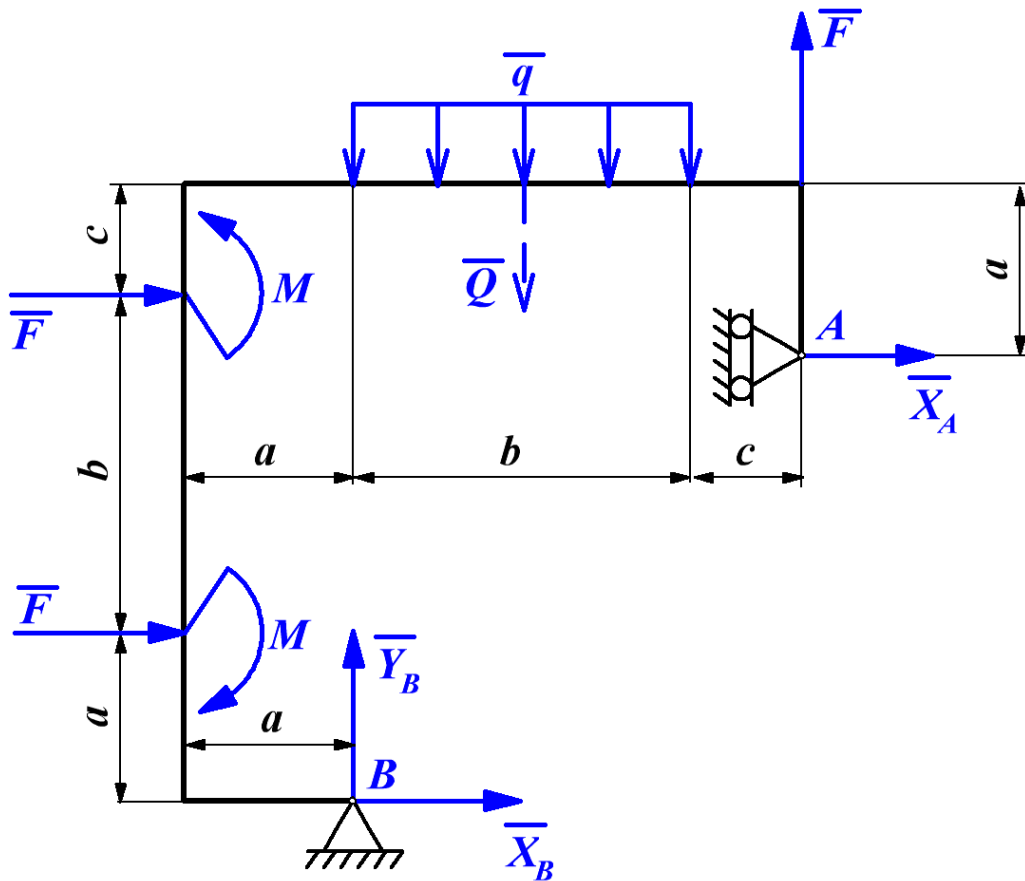


Рисунок 1.4 – Схема нагружения рамы

Из (9.3) определим X_A :

$$X_A = \frac{M - M + (b+c) \cdot F - \frac{b}{2} \cdot Q - (b+a) \cdot F - a \cdot F}{b+c} =$$

$$= \frac{20 - 20 + 8 \cdot 20 - 3 \cdot 180 - 9 \cdot 20 - 3 \cdot 20}{6+2} = -77,5 \text{ кН}$$

Из (9.1) определим X_B :

$$X_B = -X_A - c \cdot F = -(-77,5) - 2 \cdot 20 = 37,5 \text{ кН}.$$

Из (9.2) определим Y_B :

$$Y_B = -F + Q = -20 + 180 = 160 \text{ кН}.$$

Выполним проверку:

$$\sum M_{iA} = 0; \quad M - M + (b+c) \cdot F - \frac{b}{2} \cdot Q - (b+a) \cdot F - a \cdot F - (b+c) \cdot X_A = 0.$$

Ответ: $X_A = -77,5 \text{ кН}$, $X_B = 37,5 \text{ кН}$, $Y_B = 160 \text{ кН}$.

Знак «минус» указывает, что направление X_A противоположно направлению, показанному на рисунке 1.4.

Порядок выполнения работы

Работа выполняется по индивидуальному заданию (Приложение А).

Содержание отчета

1. Тема и цель практической работы, вариант.
2. Исходные данные.
3. Схема нагружения (в масштабе), с указанными размерами и нагрузками.
4. Решение задачи по нахождению опорных реакций (с точностью до третьего знака после запятой).
5. Проверка полученного значения.
6. Ответ.
7. Ответы на контрольные вопросы.
8. Вывод.

Контрольные вопросы

1. Объясните, чем отличается несвободное тело от свободного тела.
2. Укажите, можно ли, не изменяя состояние, всякое несвободное тело рассматривать как свободное.
3. Проанализируйте, какие уравнения равновесия и сколько их можно составить для плоской системы сходящихся сил.
4. Сформулируйте необходимые и достаточные условия равновесия плоской системы произвольно расположенных сил.
5. Приведите различные формы уравнений равновесия для плоской системы произвольно расположенных сил.
6. Приведите различные формы уравнений равновесия для плоской системы параллельных сил.
7. Объясните, как рационально выбрать оси координат и центр моментов при решении задач на равновесие тел под действием плоской системы сил.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2

Определение диаметра вала редуктора по третьей теории прочности

Цель: определить диаметр вала редуктора по третьей теории прочности.

Теоретические сведения

На практике часто встречаются стержни круглого сечения, подверженные одновременному действию крутящих и изгибающих моментов.

Такому нагружению подвержены валы машин и механизмов (давление зубчатых колес или натяжение ремней, собственный вес вала и шкивов), элементы авиационных конструкций (аэродинамические нагрузки, действующие на крыло и оперение самолета) и многих других конструкций и сооружений.

Для расчета бруса в первую очередь необходимо установить опасные сечения. С этой целью должны быть построены эпюры крутящего момента и изгибающих моментов.

Рассмотрим брус круглого поперечного сечения, нагруженный внешними изгибающими моментами и крутящим моментом, как показано на рисунке 2.1. Произвольное поперечное сечение бруса представлено на рисунке 2.2 со стороны внешней нормали к сечению.

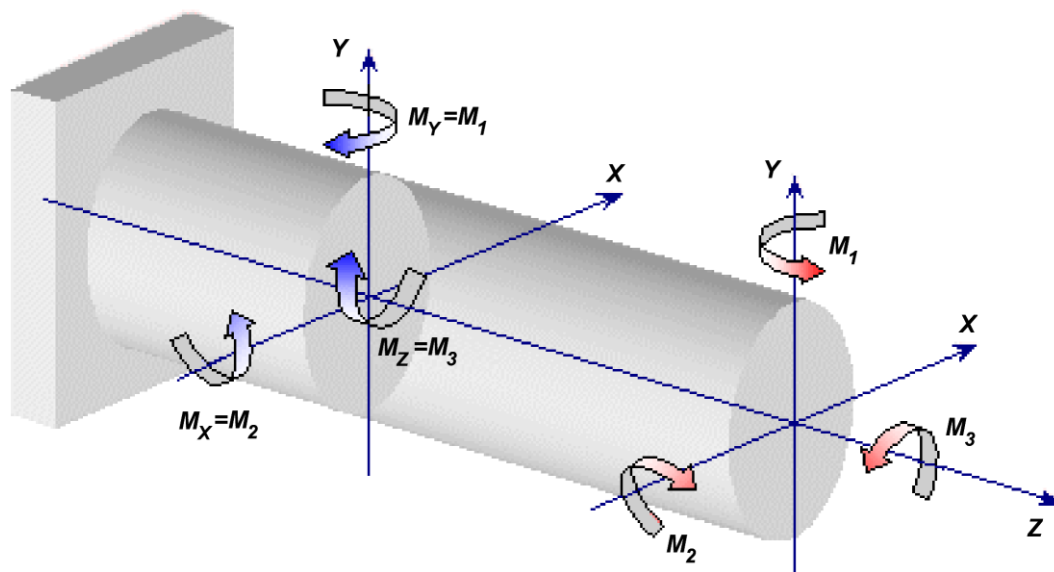


Рисунок 2.1 – Изгиб бруса с кручением

Применяя векторное изображение изгибающих моментов M_X и M_Y , найдем вектор результирующего момента $M_{у3z} = \sqrt{M_X^2 + M_Y^2}$. Положение силовой линии определяется перпендикуляром к указанному направлению вектора. Опасными являются точки пересечения контура сечения бруса с силовой линией (точки А и В – рисунок 2.2), в которых одновременно и нормальные напряжения от изгиба и касательные напряжения от кручения имеют наибольшие значения.

С учетом положения силовой линии на рисунке 2.2 построены эпюры нормальных напряжений и касательных напряжений.

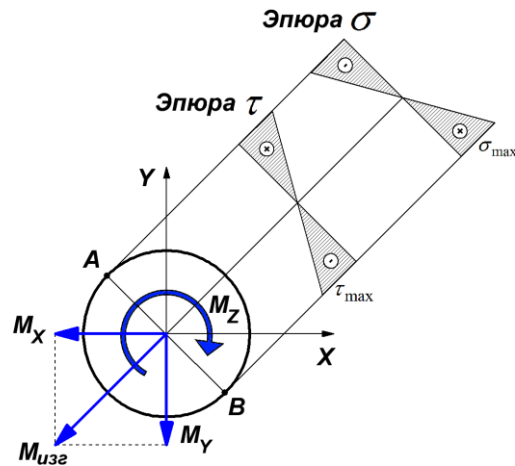


Рисунок 2.2 – Поперечное сечение бруса

Эквивалентный расчётный момент (по третьей теории прочности):

$$M_{\text{экв}}^{\text{III}} = \sqrt{M_{\text{изг}}^2 + M_Z^2}.$$

Условия прочности бруса может быть записано как: $\sigma_{\text{экв}}^{\text{III}} = \frac{M_{\text{экв}}^{\text{III}}}{W_x} \leq [\sigma]$.

Откуда, учитывая, что для круглого бруса $W_x = \frac{\pi \cdot d^3}{32}$, диаметр вала можно

определить как: $d \geq 3 \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{\text{экв}}^{\text{III}}}{\pi [\sigma]}}$.

Пример. Шкив диаметром $D_1 = 1,5$ м и углом наклона ветвей ремня к горизонту $\alpha_1 = 60^\circ$, делает $n = 400$ об/мин и передает мощность $N = 40$ лошадиных сил. Два других шкива имеют одинаковый диаметр $D_2 = 0,8$ м и одинаковые углы $\alpha_2 = 50^\circ$ наклона ветвей ремня к горизонту, и каждый из них передает мощность $N/2$ (рисунок 2.3).

Требуется:

- 1) определить моменты, приложенные к шкивам, по заданным величинам N и n ;
- 2) построить эпюру крутящих моментов $T (M_Z)$;
- 3) определить окружные усилия t_1 и t_2 , действующие на шкивы по найденным моментам и заданным диаметрам D_1 и D_2 ;
- 4) определить силы давления на вал, принимая их равными трём окружным усилиям (рисунок 2.3);
- 5) определить силы, изгибающие вал в горизонтальной и вертикальной плоскостях (вес шкивов и вала не учитывается);
- 6) построить эпюры изгибающих моментов от горизонтальных сил $M_{\text{гор}}$ и от вертикальных сил $M_{\text{вер}}$;

7) построить эпюру суммарных изгибающих моментов, пользуясь формулой $M_{изг} = \sqrt{M_{гор}^2 + M_{вер}^2}$ (для каждого поперечного сечения вала имеется своя плоскость действия суммарного изгибающего момента, но для круглого сечения можно совместить плоскости $M_{изг}$ для всех поперечных сечений и построить суммарную эпюру в плоскости чертежа; при построении эпюры надо учесть, что для некоторых участков вала она будет прямолинейной);

8) при помощи эпюр T (п. 2) и $M_{изг}$ (п.7) найти опасное сечение и определить величину максимального расчётного момента (по третьей теории прочности);

9) подобрать диаметр вала d при $[\sigma] = 70$ МПа и округлить его величину до ближайшей большей величины, соответственно равной: 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 125, 140, 160, 180 и 200 мм.

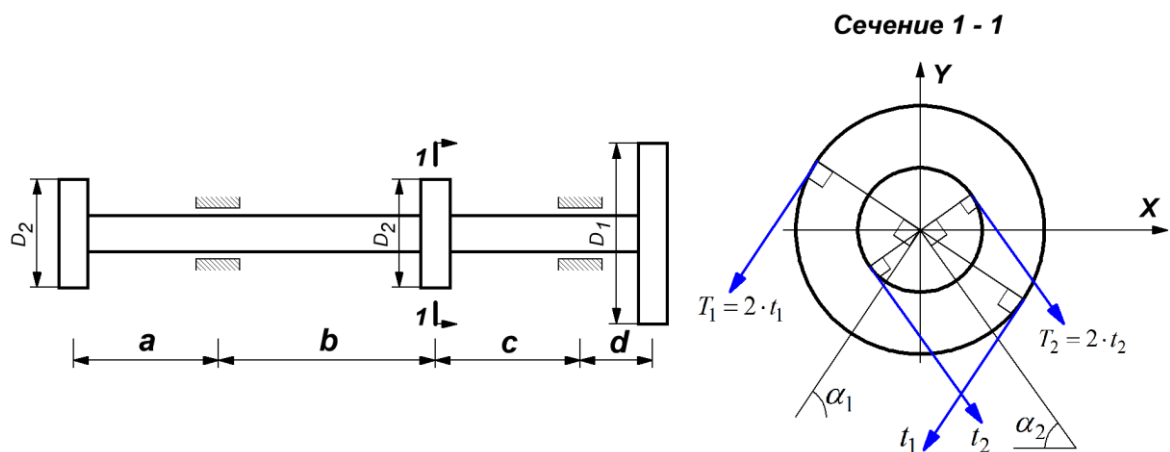


Рисунок 2.3 – Схема нагружения вала

Решение. 1) Изобразим вал в масштабе (рисунок 2.4). Определим крутящие моменты, приложенные к шкивам:

$$m_1 = 7162 \cdot \frac{N}{n} = 7162 \cdot \frac{40}{400} = 716,200 \text{ Н} \cdot \text{м} = 0,716 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$m_2 = \frac{m_1}{2} = \frac{0,716}{2} = 0,358 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

2) Построим эпюру крутящих моментов T (рисунок 2.4).

$$T_{AB} = -m_2 = -0,358 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$T_{BC} = T_{AB} = -0,358 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$T_{CE} = T_{BC} - m_2 = -0,358 - 0,358 = -0,716 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$T_{EK} = T_{CE} = -0,716 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

3) Вычислим окружные усилия t_1 и t_2 :

$$t_1 = \frac{2 \cdot m_1}{D_1} = \frac{2 \cdot 0,716 \cdot 10^3}{1,5} = 954,667 \text{ Н} \cdot \text{м} = 0,955 \text{ кН};$$

$$t_2 = \frac{2 \cdot m_2}{D_2} = \frac{2 \cdot 0,358 \cdot 10^3}{0,8} = 895 \text{ Н} \cdot \text{м} = 0,895 \text{ кН}.$$

4) Определим силы давления на вал, принимая их равными трём окружным усилиям:

$$P_1 = 3 \cdot t_1 = 3 \cdot 0,955 = 2,865 \text{ кН};$$

$$P_2 = 3 \cdot t_2 = 3 \cdot 0,895 = 2,685 \text{ кН}.$$

5) Определим силы, изгибающие вал в горизонтальной и вертикальной плоскостях:

$$P_{1X} = P_1 \cdot \cos \alpha_1 = 2,865 \cdot \cos 60^\circ = 1,433 \text{ кН};$$

$$P_{1Y} = P_1 \cdot \sin \alpha_1 = 2,865 \cdot \sin 60^\circ = 2,481 \text{ кН};$$

$$P_{2X} = P_2 \cdot \cos \alpha_2 = 2,685 \cdot \cos 50^\circ = 1,723 \text{ кН};$$

$$P_{2Y} = P_2 \cdot \sin \alpha_2 = 2,685 \cdot \sin 50^\circ = 2,057 \text{ кН}.$$

6) Построим эпюры изгибающих моментов от горизонтальных сил $M_{гор}$ и от вертикальных сил $M_{вер}$. Направление действия сил ($P_{1X}, P_{1Y}, P_{2X}, P_{2Y}$) определим по сечению 1–1 (рисунок 2.4).

а) Горизонтальная плоскость (рисунок 2.4). Изобразим вал, укажем действующие нагрузки, определим опорные реакции:

$$\sum M_B = 0; -P_{2X} \cdot a + P_{2X} \cdot b + R_E \cdot (b+c) - P_{1X} \cdot (b+c+d) = 0;$$

$$R_E = \frac{P_{2X} \cdot a - P_{2X} \cdot b + P_{1X} \cdot (b+c+d)}{b+c} = \frac{1,723 \cdot 2 - 1,723 \cdot 3 + 1,433 \cdot (3+2+1)}{3+2} = 1,375 \text{ кН}.$$

$$\sum M_E = 0; -P_{2X} \cdot (a+b+c) + R_B \cdot (b+c) - P_{2X} \cdot c - P_{1X} \cdot d = 0;$$

$$R_B = \frac{P_{2X} \cdot (a+b+c) + P_{2X} \cdot c + P_{1X} \cdot d}{b+c} = \frac{1,723 \cdot (2+3+2) + 1,723 \cdot 2 + 1,433 \cdot 1}{3+2} = 3,388 \text{ кН}.$$

Выполним проверку:

$$\sum F_{iy} = 0; P_{2X} - R_B + P_{2X} + R_E - P_{1X} = 1,723 - 3,388 + 1,723 + 1,375 - 1,433 = 0.$$

Реакции опор определены верно.

Определим величины изгибающих моментов в характерных точках вала:

$$\sum M_A = 0;$$

$$\sum M_B = P_{2X} \cdot a = 1,723 \cdot 2 = 3,446 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$\sum M_C = P_{2X} \cdot (a+b) - R_B \cdot b = 1,723 \cdot (2+3) - 3,388 \cdot 3 = -1,549 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$\sum M_K^{справа} = 0;$$

$$\sum M_E^{справа} = -P_{1X} \cdot d = -1,433 \cdot 1 = -1,433 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$\sum M_C^{справа} = -P_{1X} \cdot (d+c) + R_E \cdot c = -1,433 \cdot (1+2) + 1,375 \cdot 2 = -1,549 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

По рассчитанным данным построим эпюру изгибающих моментов от сил, действующих в горизонтальной плоскости $M_{гор}$ (рисунок 2.4).

б) Вертикальная плоскость (рисунок 2.4). Изобразим вал, укажем действующие нагрузки, определим опорные реакции:

$$\sum M_B = 0; P_{2Y} \cdot a - P_{2Y} \cdot b + R_E \cdot (b + c) - P_{1Y} \cdot (b + c + d) = 0;$$

$$R_E = \frac{-P_{2Y} \cdot a + P_{2Y} \cdot b + P_{1Y} \cdot (b + c + d)}{b + c} = \frac{-2,057 \cdot 2 + 2,057 \cdot 3 + 2,481 \cdot (3 + 2 + 1)}{3 + 2} = 3,389 \text{ кН}$$

$$\sum M_E = 0; P_{2Y} \cdot (a + b + c) - R_B \cdot (b + c) + P_{2Y} \cdot c - P_{1Y} \cdot d = 0;$$

$$R_B = \frac{P_{2Y} \cdot (a + b + c) + P_{2Y} \cdot c - P_{1Y} \cdot d}{b + c} = \frac{2,057 \cdot (2 + 3 + 2) - 2,057 \cdot 2 + 2,481 \cdot 1}{3 + 2} = 3,206 \text{ кН}.$$

Выполним проверку:

$$\sum F_{iy} = 0; -P_{2Y} + R_B - P_{2Y} + R_E - P_{1Y} = -2,057 + 3,206 - 2,057 + 3,389 - 2,481 = 0.$$

Реакции опор определены верно.

Определим величины изгибающих моментов в характерных точках вала:

$$\sum M_A = 0;$$

$$\sum M_B = -P_{2Y} \cdot a = -2,057 \cdot 2 = -4,114 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$\sum M_C = -P_{2Y} \cdot (a + b) + R_B \cdot b = -2,057 \cdot (2 + 3) + 3,206 \cdot 3 = -0,666 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$\sum M_K^{справа} = 0;$$

$$\sum M_E^{справа} = -P_{1Y} \cdot d = -2,481 \cdot 1 = -2,481 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$\sum M_C^{справа} = -P_{1Y} \cdot (d + c) + R_E \cdot c = -2,481 \cdot (1 + 2) + 3,389 \cdot 2 = -0,666 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

По рассчитанным данным построим эпюру изгибающих моментов от сил, действующих в вертикальной плоскости $M_{вер}$ (рисунок 2.4).

7) Вычислим величины суммарных изгибающих моментов:

$$M_A = 0;$$

$$M_B = \sqrt{M_{горB}^2 + M_{верB}^2} = \sqrt{3,446^2 + (-4,114)^2} = 5,367 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_C = \sqrt{M_{горC}^2 + M_{верC}^2} = \sqrt{(-1,549)^2 + (-0,666)^2} = 1,686 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_E = \sqrt{M_{горE}^2 + M_{верE}^2} = \sqrt{(-1,433)^2 + (-2,481)^2} = 2,865 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_K = 0.$$

По рассчитанным данным построим эпюру суммарных изгибающих моментов $M_{изг}$ (рисунок 2.4)

8) По третьей теории прочности определим величину эквивалентного момента $M_{экв}^{III}$:

$$M_{\text{экв } A}^{\text{III}} = \sqrt{M_{\text{узл } A}^2 + T_A^2} = \sqrt{0 + 0,358^2} = 0,358 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{экв } B}^{\text{III}} = \sqrt{M_{\text{узл } B}^2 + T_B^2} = \sqrt{5,367^2 + 0,358^2} = 5,378 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{экв } C}^{\text{III}} = \sqrt{M_{\text{узл } C}^2 + T_C^2} = \sqrt{1,686^2 + 0,716^2} = 1,832 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{экв } E}^{\text{III}} = \sqrt{M_{\text{узл } E}^2 + T_E^2} = \sqrt{2,865^2 + 0,716^2} = 2,953 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{экв } K}^{\text{III}} = \sqrt{M_{\text{узл } K}^2 + T_K^2} = \sqrt{0 + 0,716^2} = 0,716 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Принимаем, по максимальному значению, $M_{\text{экв}}^{\text{III}} = M_{\text{экв } B}^{\text{III}} = 5,378 \text{ кН} \cdot \text{м}.$

9) Из условия прочности $\sigma_{\text{экв}}^{\text{III}} = \frac{M_{\text{экв}}^{\text{III}}}{W} \leq [\sigma] = 70 \text{ МПа}$ вычислим требуемый диаметр

круглого вала: $W = \frac{\pi \cdot d^3}{32};$

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{\text{экв}}^{\text{III}}}{\pi \cdot [\sigma]}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 5,378 \cdot 10^3}{\pi \cdot 70 \cdot 10^6}} = 92,155 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 92,155 \text{ мм}.$$

Принимаем диаметр вала $d = 100 \text{ мм}.$

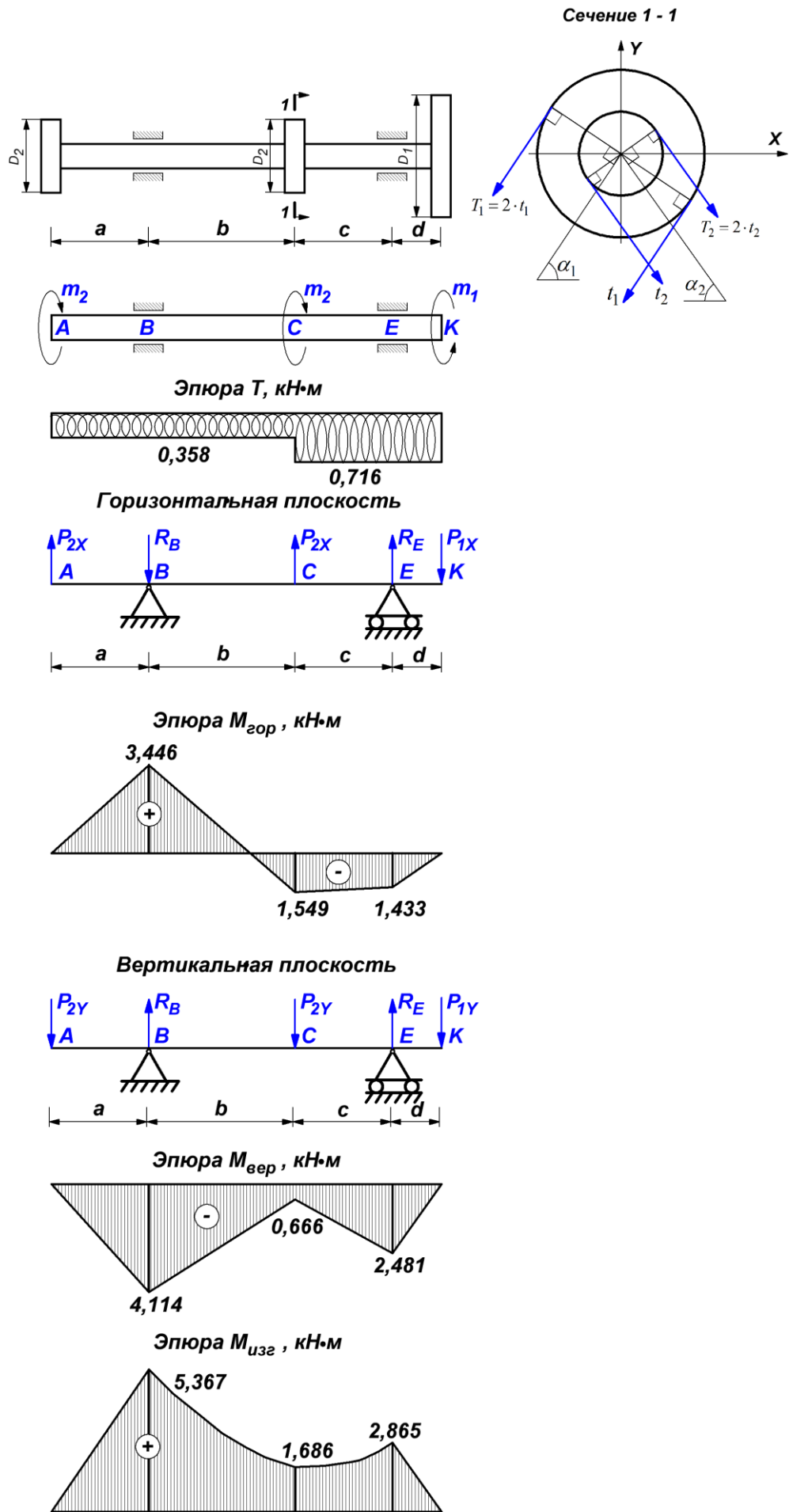


Рисунок 2.4 – Пример решения

Порядок выполнения работы

Работа выполняется по индивидуальному заданию (Приложение Б).

Задача. Шкив диаметром D_1 и углом наклона ветвей ремня к горизонту α_1 , делает n об/мин и передает мощность N лошадиных сил. Два других шкива имеют одинаковый диаметр D_2 , m и одинаковые углы α_2 наклона ветвей ремня к горизонту, и каждый из них передает мощность $N/2$. Требуется:

- 1) определить моменты, приложенные к шкивам, по заданным величинам N и n ;
- 2) построить эпюру крутящих моментов $T (M_Z)$;
- 3) определить окружные усилия t_1 и t_2 , действующие на шкивы по найденным моментам и заданным диаметрам D_1 и D_2 ;
- 4) определить силы давления на вал, принимая их равными трём окружным усилиям (рисунок 2.3);
- 5) определить силы, изгибающие вал в горизонтальной и вертикальной плоскостях (вес шкивов и вала не учитывается);
- 6) построить эпюры изгибающих моментов от горизонтальных сил $M_{гор}$ и от вертикальных сил $M_{вер}$;
- 7) построить эпюру суммарных изгибающих моментов, пользуясь формулой $M_{изг} = \sqrt{M_{гор}^2 + M_{вер}^2}$ (при построении эпюры надо учесть, что для некоторых участков вала она будет прямолинейной);
- 8) при помощи эпюр T (п. 2) и $M_{изг}$ (п.7) найти опасное сечение и определить величину максимального расчётного момента (по третьей теории прочности);
- 9) подобрать диаметр вала d при $[\sigma] = 70$ МПа и округлить его величину до ближайшей большей величины, соответственно равной: 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 125, 140, 160, 180 и 200 мм.

Содержание отчета

1. Тема и цель практической работы, вариант.
2. Исходные данные.
3. Схема нагружения (в масштабе), с указанными размерами и нагрузками.
4. Эпюра крутящих моментов T .
5. Эпюры изгибающих моментов от горизонтальных сил $M_{гор}$ и от вертикальных сил $M_{вер}$.
6. Эпюра суммарных изгибающих моментов $M_{изг}$.
7. Полученная величина эквивалентного момента $M_{экв}^{III}$, вычисленный диаметр вала.
8. Ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

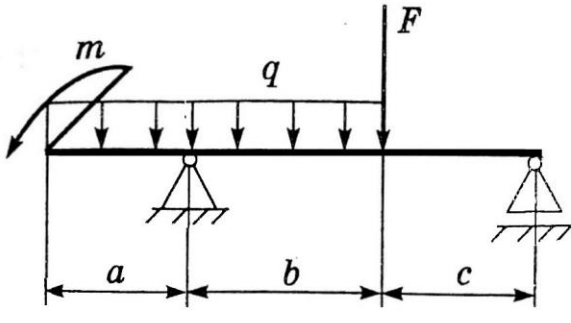
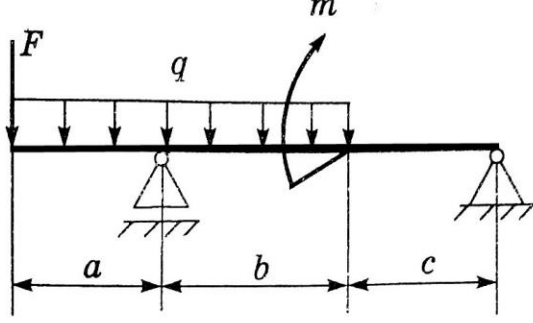
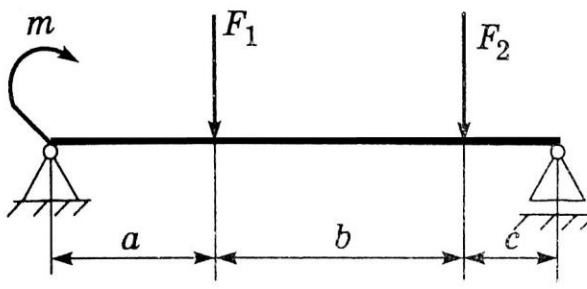
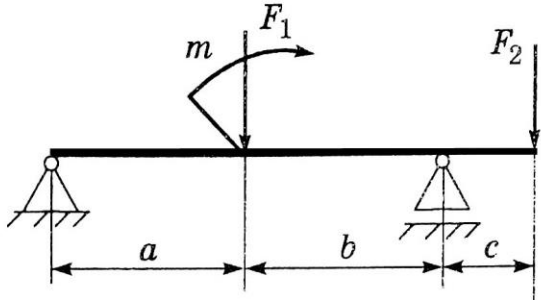
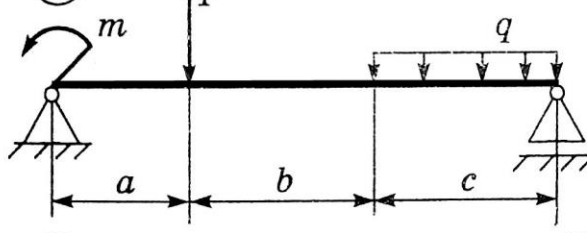
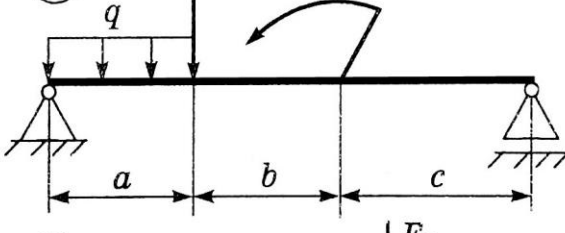
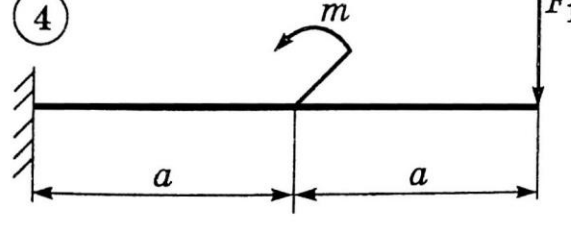
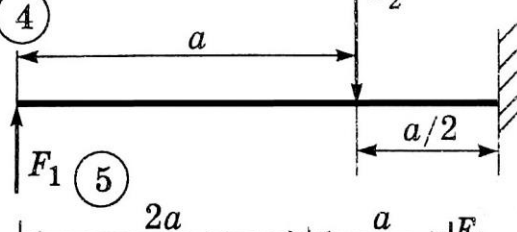
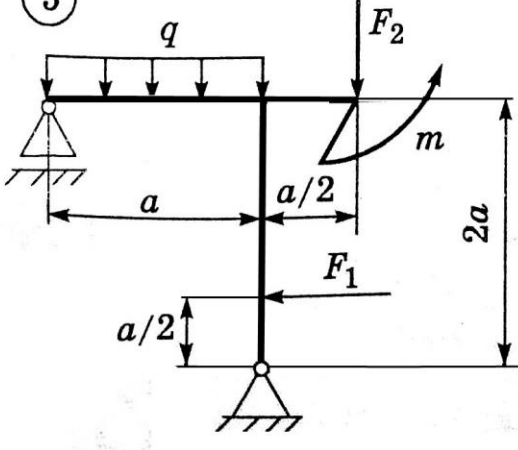
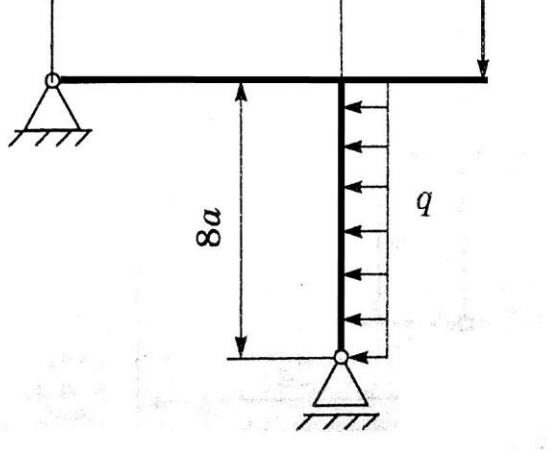
1. Запишите условие прочности вала при кручении.
2. Покажите, как определить диаметр вала из условия прочности при кручении.
3. Запишите, как определить величину касательных напряжений и угла закручивания при кручении стержня с круглым поперечным сечением.
4. Объясните, как определяются нормальные напряжения в произвольной точке сечения при изгибе.
5. Укажите, как определить величину эквивалентного момента.
6. Приведите порядок построения эпюры суммарных изгибающих моментов.
7. Запишите, как вычисляются геометрические характеристики простейших сечений при изгибе и кручении.

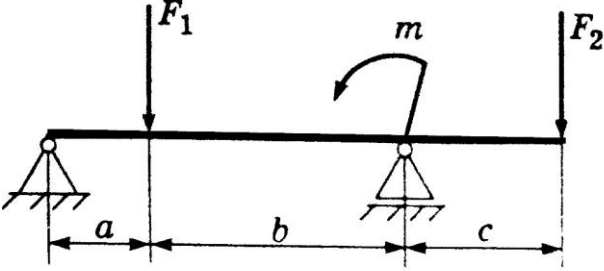
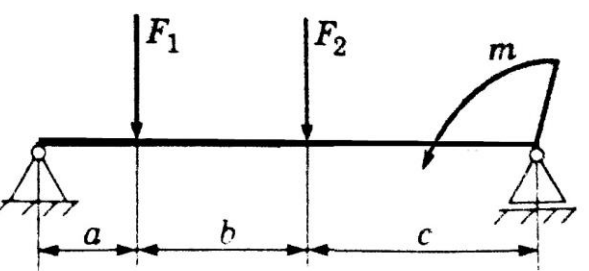
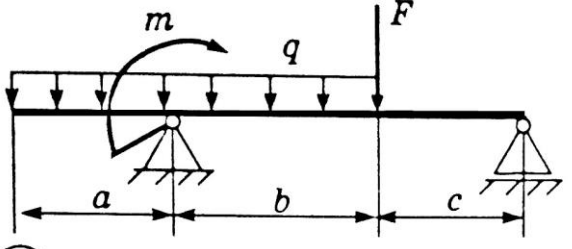
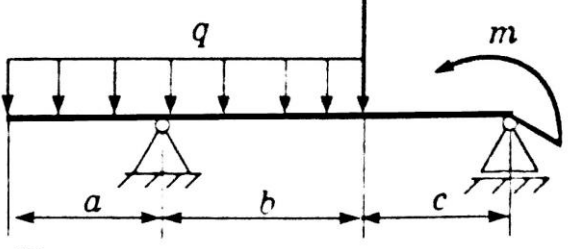
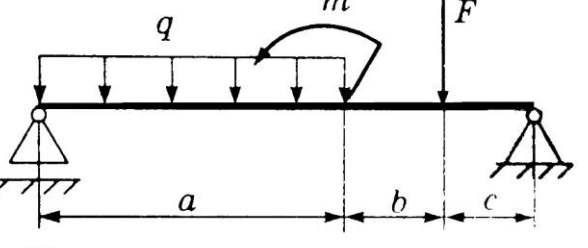
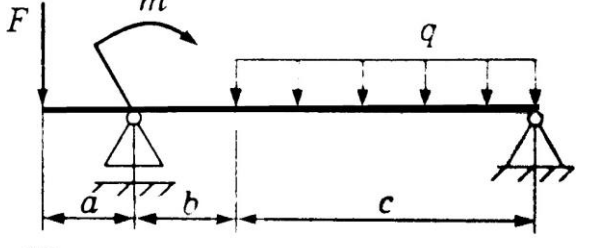
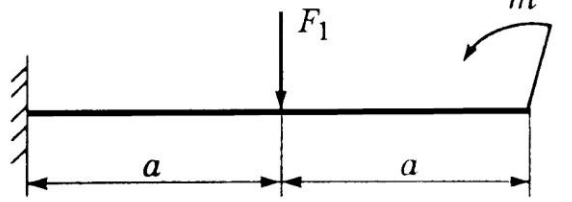
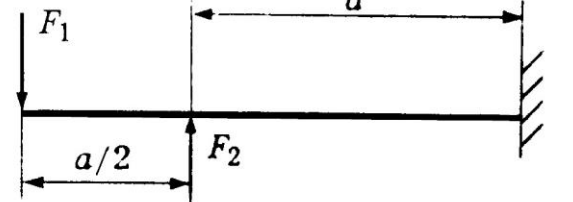
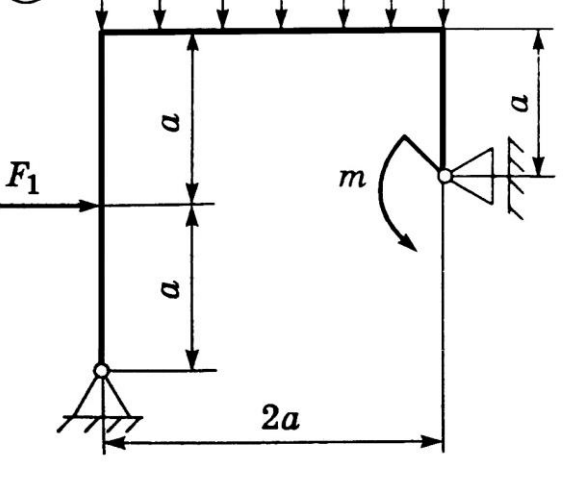
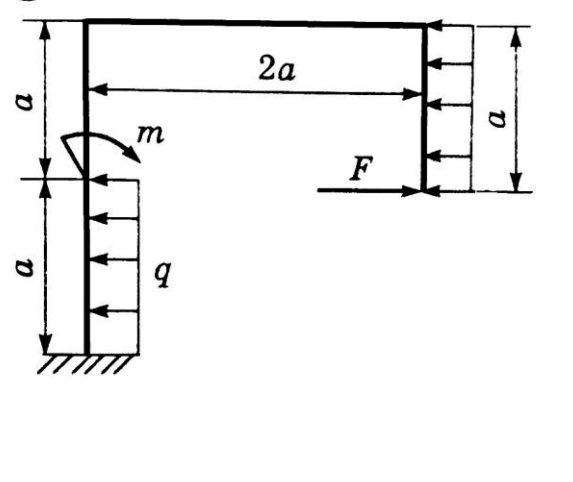
Приложение А

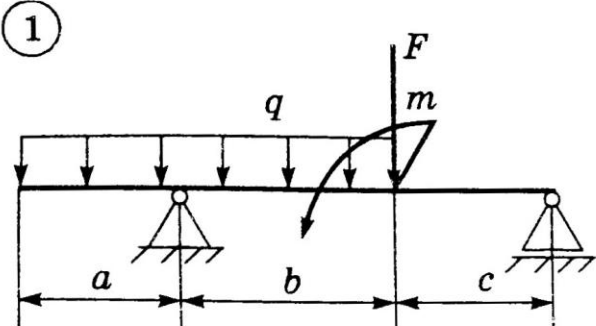
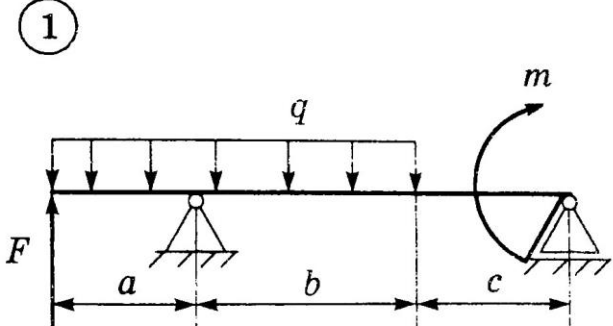
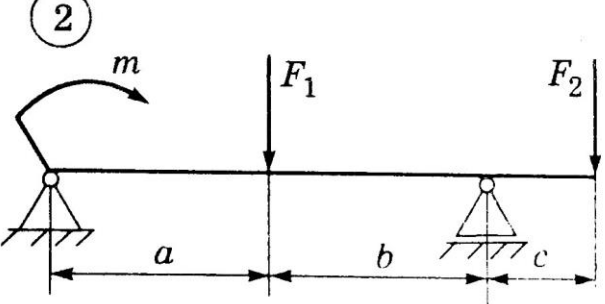
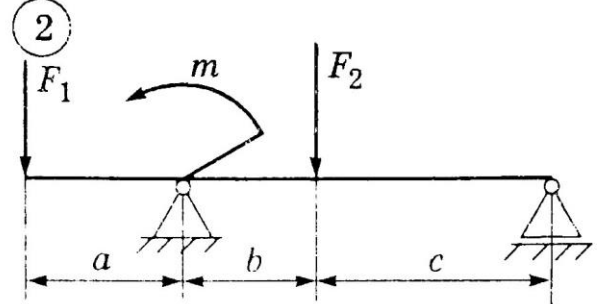
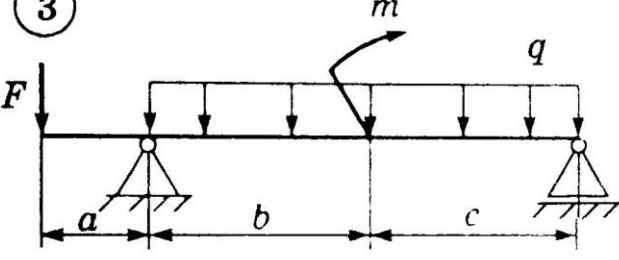
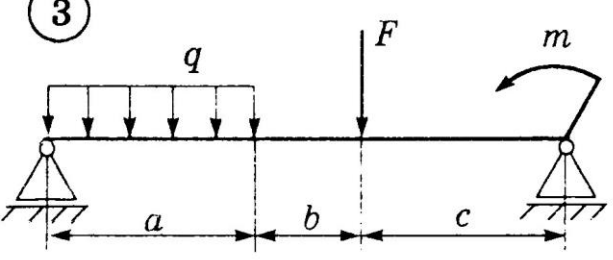
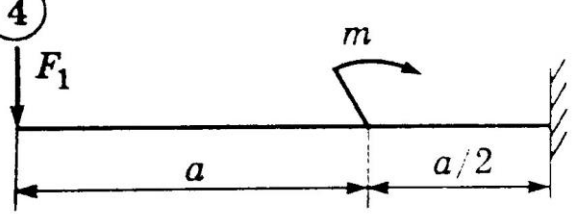
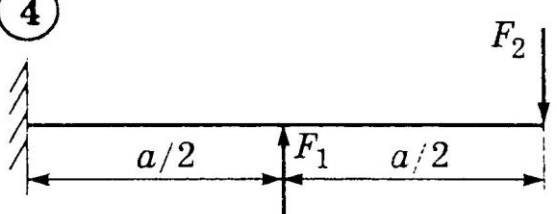
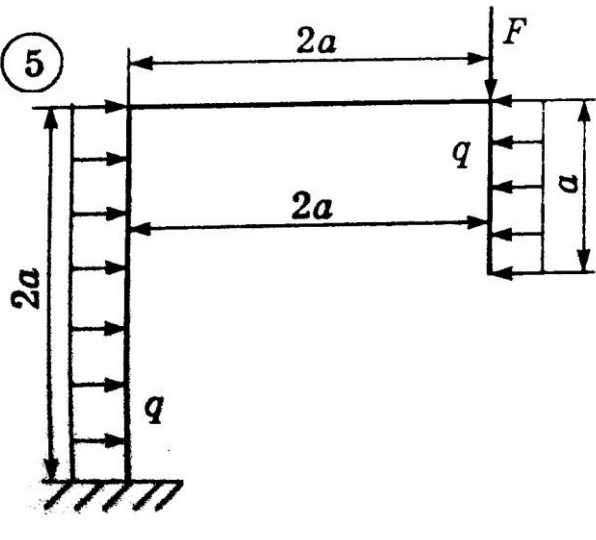
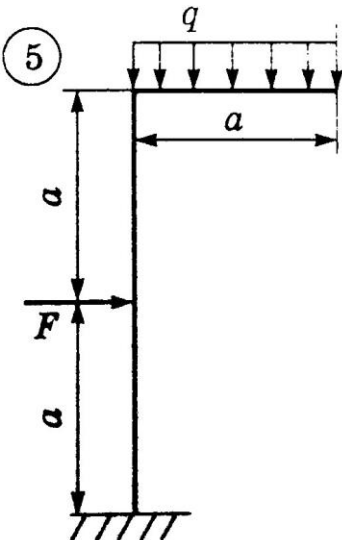
Таблица А.1 – Исходные данные

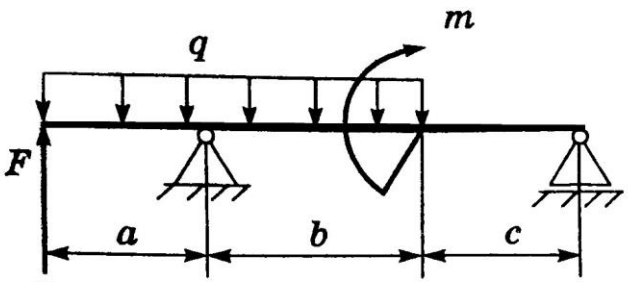
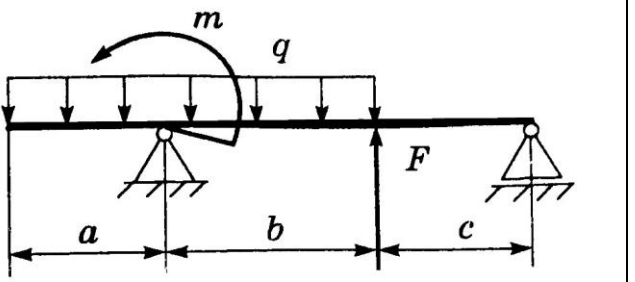
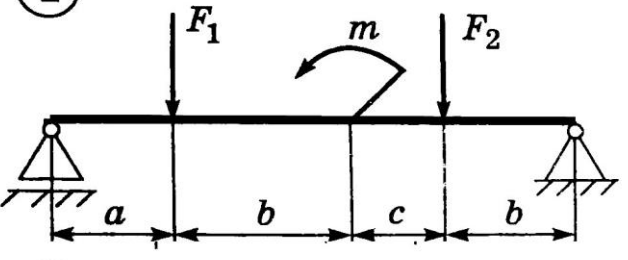
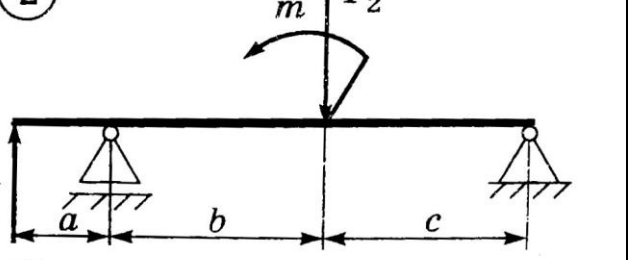
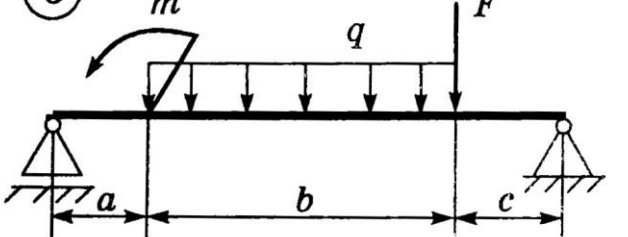
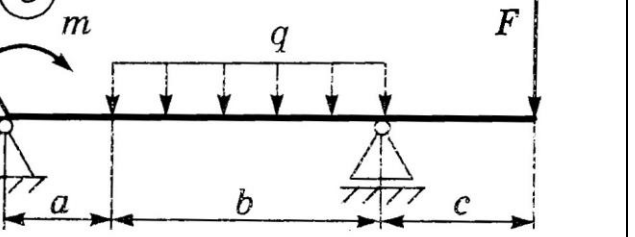
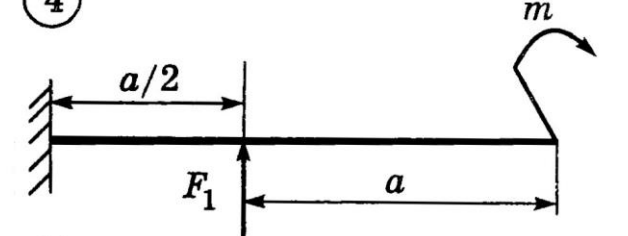
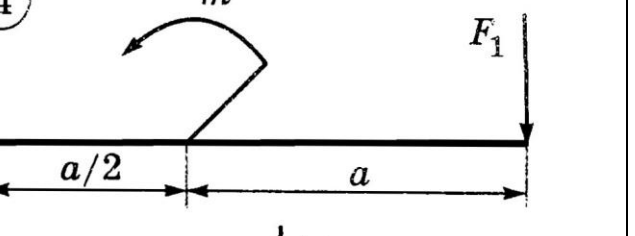
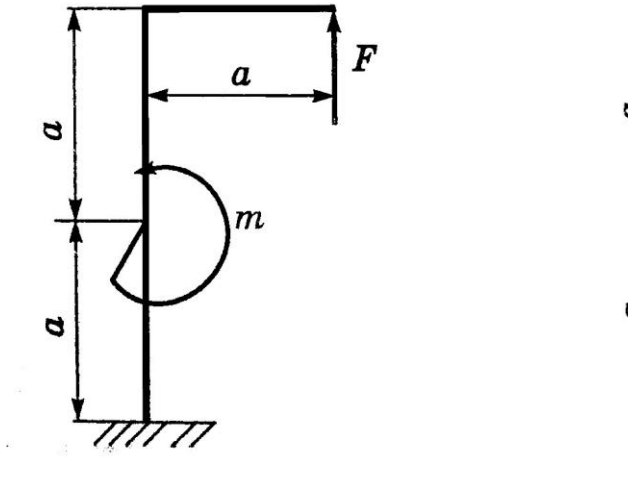
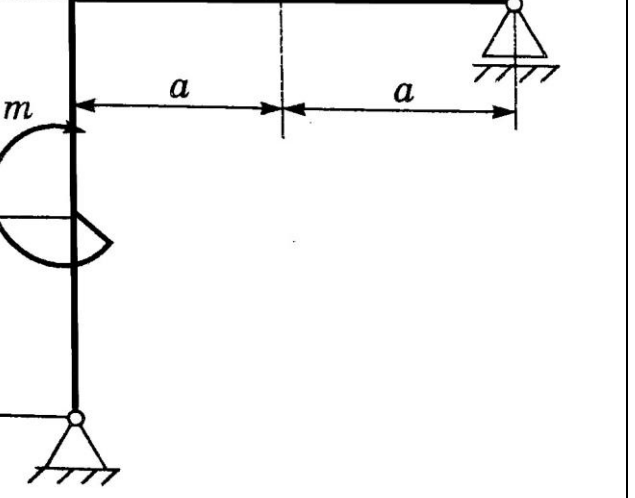
Вариант	Длина участка, м			Момент силы, кН·м	Сила, кН		Распределенная нагрузка, кН/м
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>		<i>m</i>	<i>F, F₁</i>	
1	2	1	1	30	50	20	16
2	2	2	1	20	20	40	10
3	1,5	2,5	1	10	40	20	10
4	2	1	2	25	30	20	12
5	1	4	1	30	40	15	10
6	1	4	1,5	50	35	20	15
7	2,5	3	1	40	10	50	20
8	3	1	1	30	40	20	16
9	2	1,5	1	25	30	10	12
10	1	2	1	10	25	40	8
11	2	1	1,5	20	40	20	10
12	4	1	2	12	50	15	20
13	3	2	1	16	35	25	14
14	1	3	1	20	40	10	15
15	2	1	2	15	10	25	20
16	1	4	1	10	20	40	10
17	2	3	2	50	10	35	26
18	3	4	2	40	25	10	20
19	2	3	1	10	30	25	10
20	1	4	3	20	40	20	15
21	2	2,5	1	35	20	10	24
22	3	2,5	2	40	20	25	20
23	2	3	1,5	25	35	15	10
24	1	3	2	10	40	30	12
25	2	4	2	24	30	25	14
26	1,5	3,5	1	16	20	35	16
27	2	4	2	20	40	25	10
28	3	3	1	10	30	20	14
29	2	4	1	25	40	10	25
30	1	5	1,5	30	50	20	22

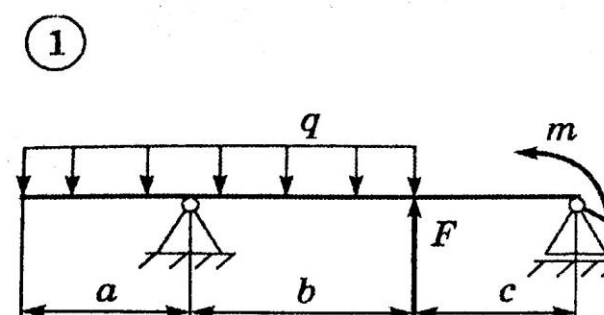
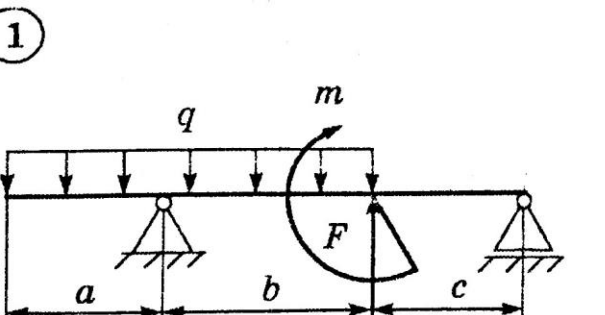
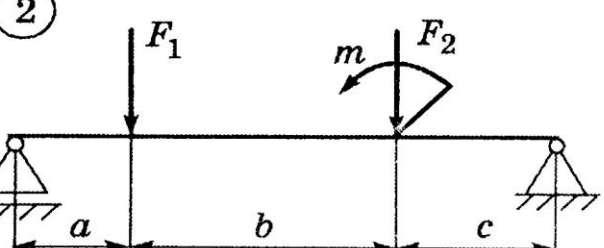
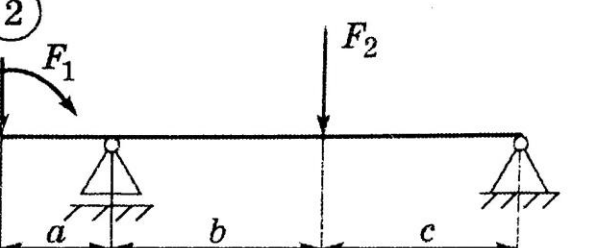
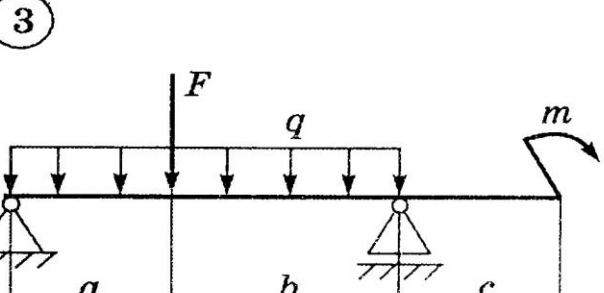
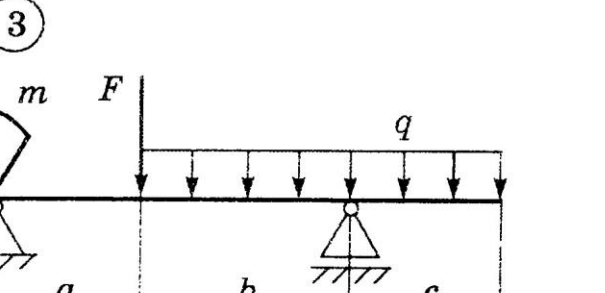
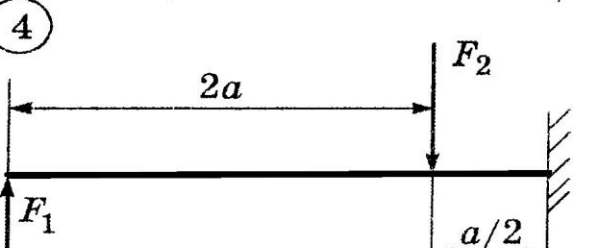
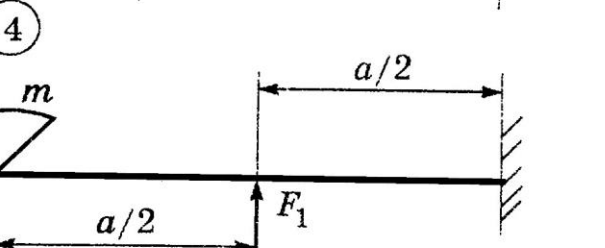
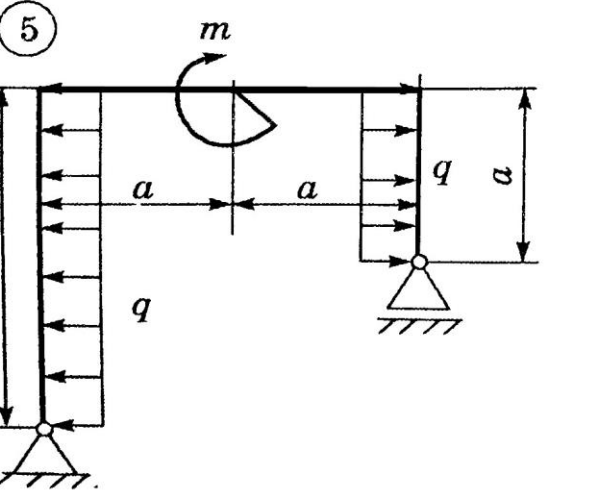
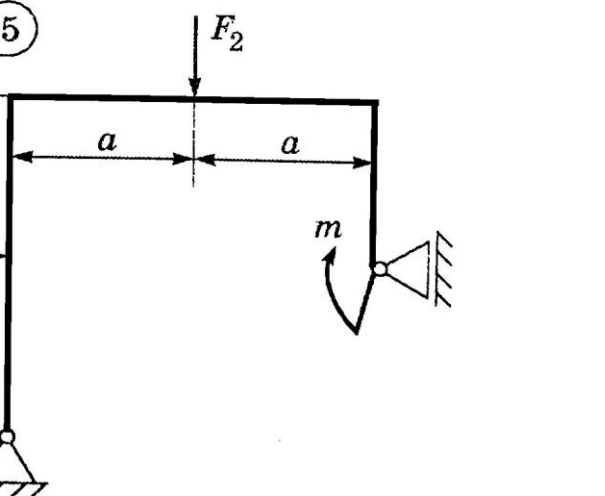
Таблица А.2 – Расчетные схемы

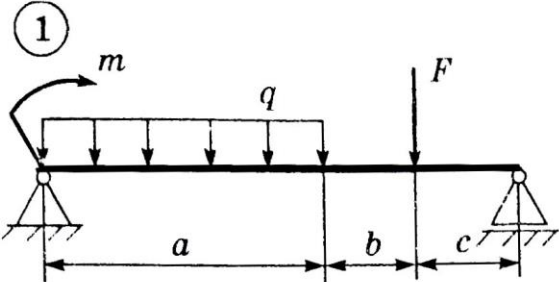
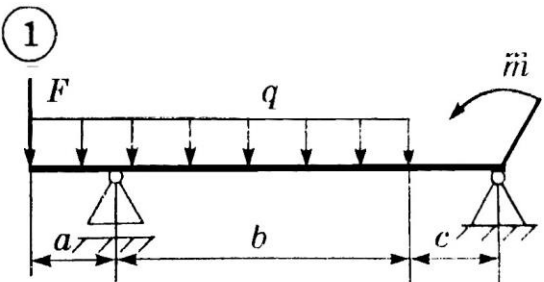
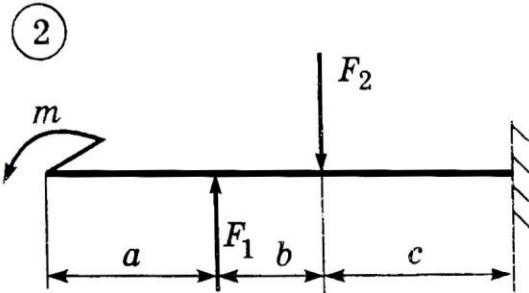
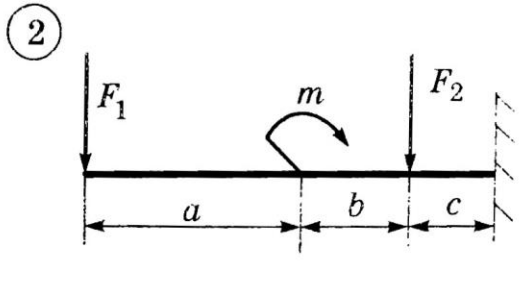
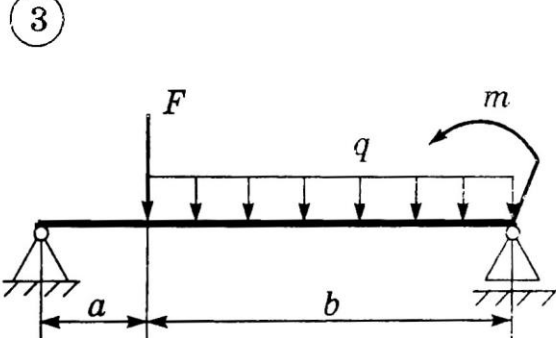
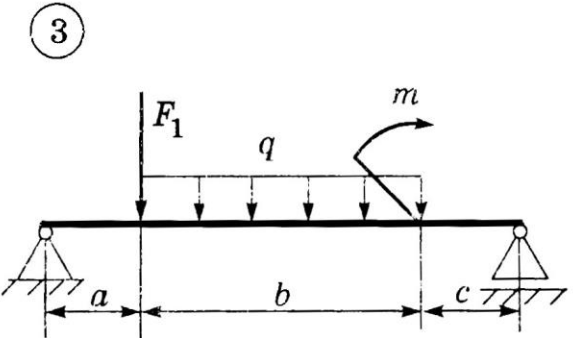
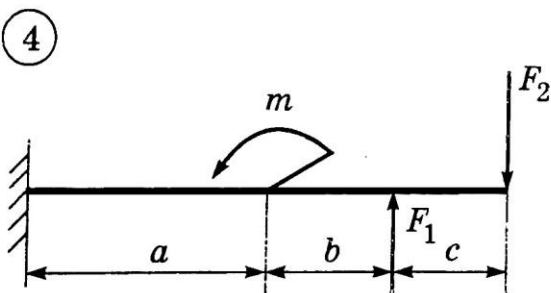
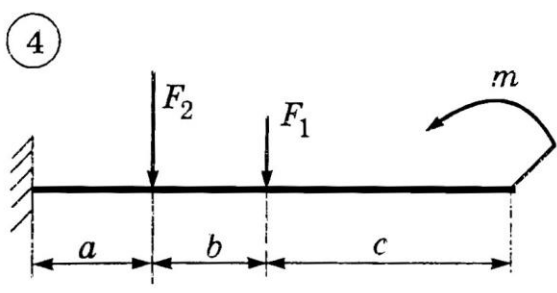
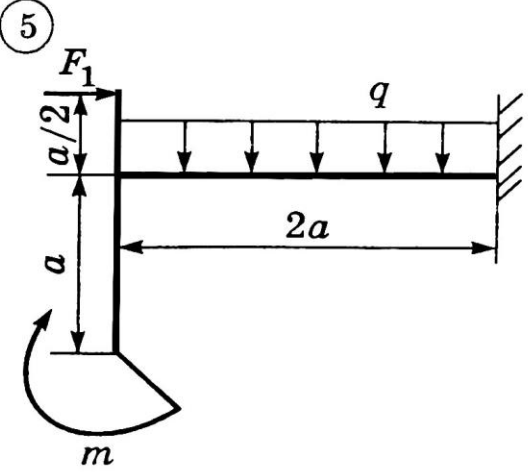
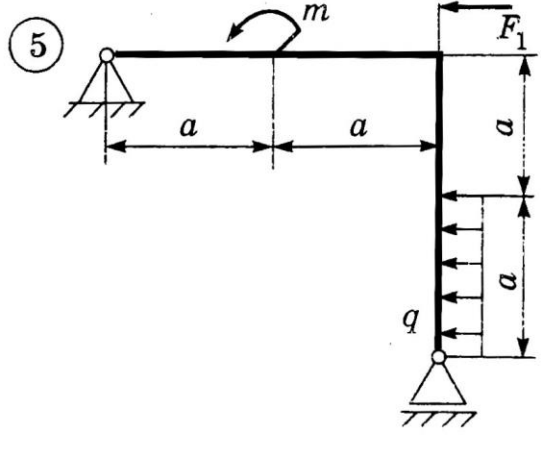
Вариант 1	Вариант 2
<p>①</p> 	<p>①</p> 
<p>②</p> 	<p>②</p> 
<p>③</p> 	<p>③</p> 
<p>④</p> 	<p>④</p> 
<p>⑤</p> 	<p>⑤</p> 

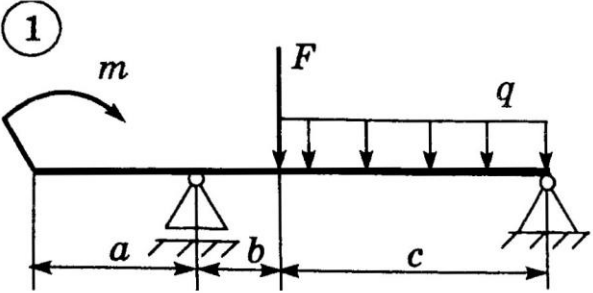
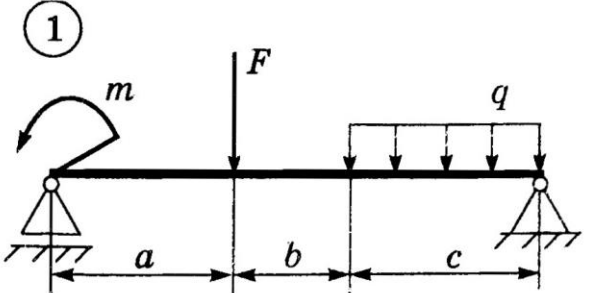
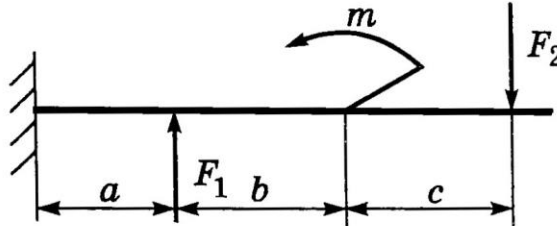
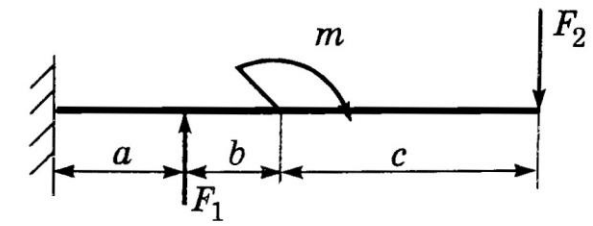
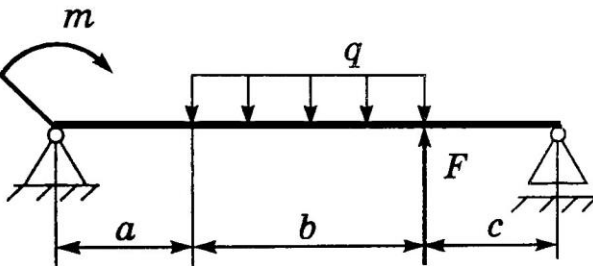
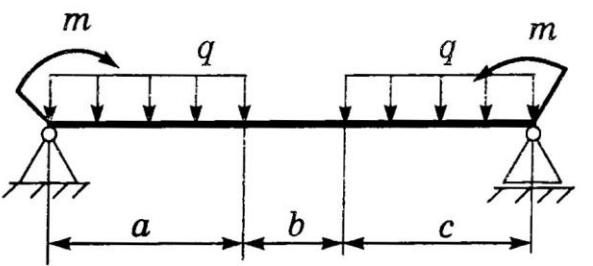
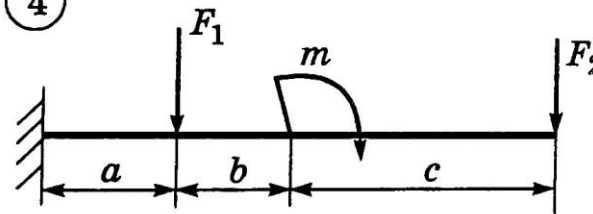
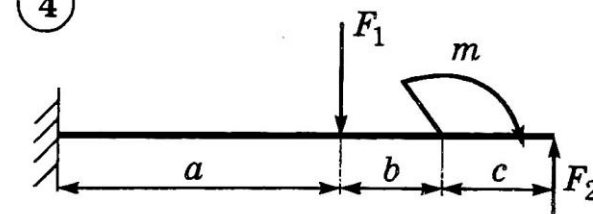
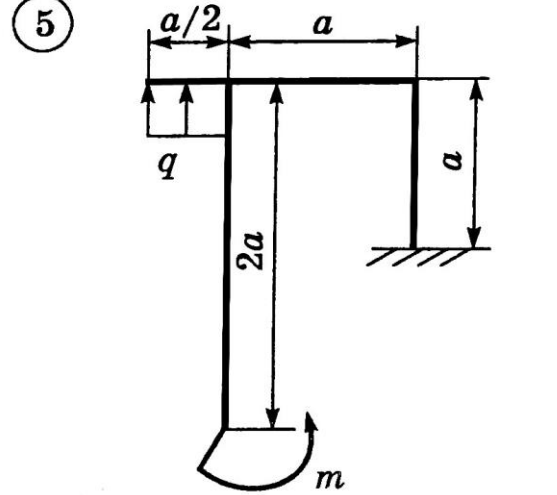
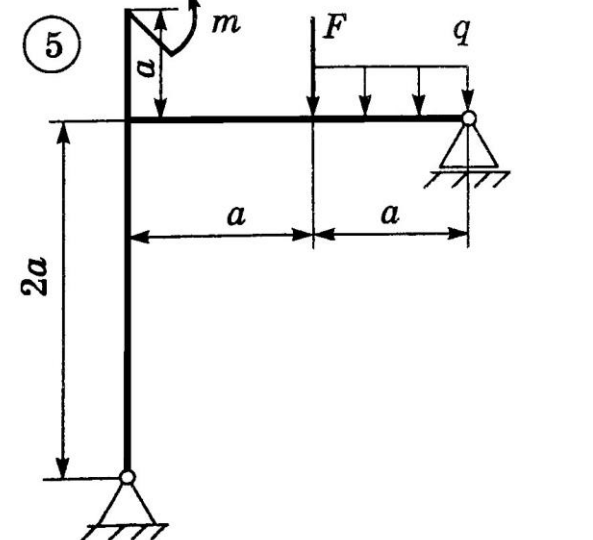
Вариант 3	Вариант 4
<p>①</p> 	<p>①</p> 
<p>②</p> 	<p>②</p> 
<p>③</p> 	<p>③</p> 
<p>④</p> 	<p>④</p> 
<p>⑤</p> 	<p>⑤</p> 

Вариант 5	Вариант 6
<p>①</p> 	<p>①</p> 
<p>②</p> 	<p>②</p> 
<p>③</p> 	<p>③</p> 
<p>④</p> 	<p>④</p> 
<p>⑤</p> 	<p>⑤</p> 

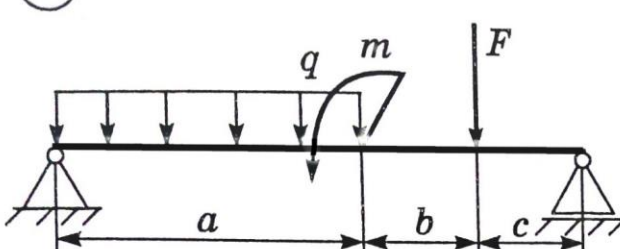
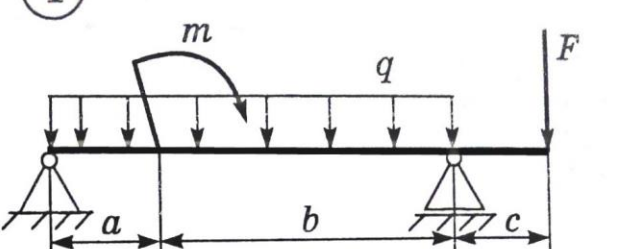
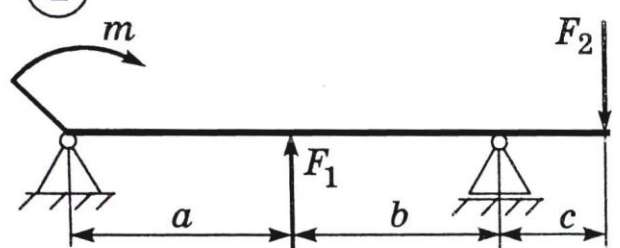
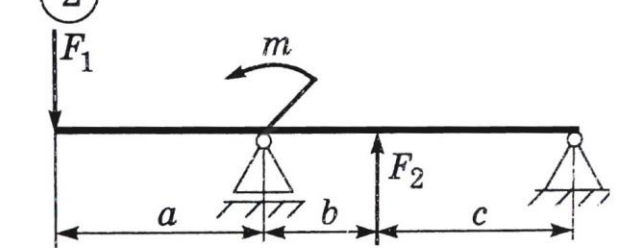
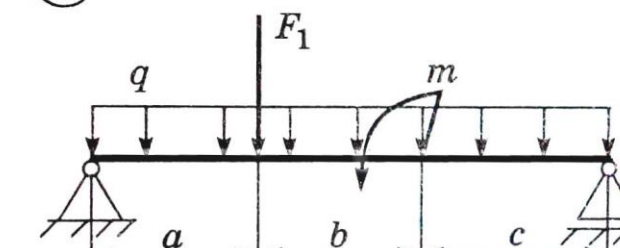
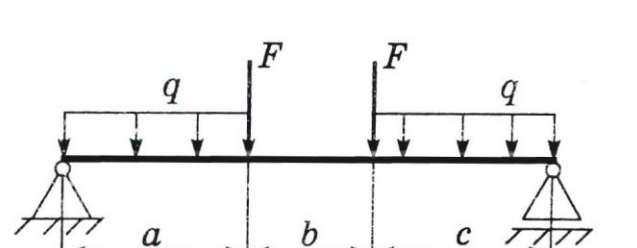
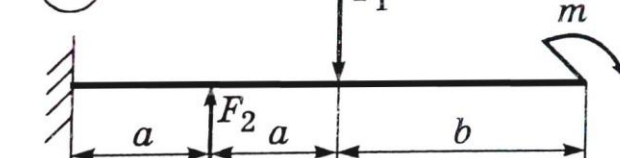
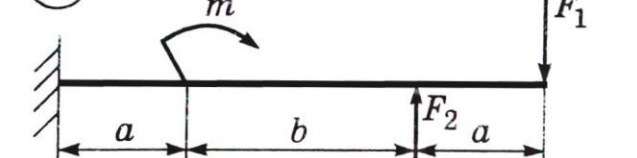
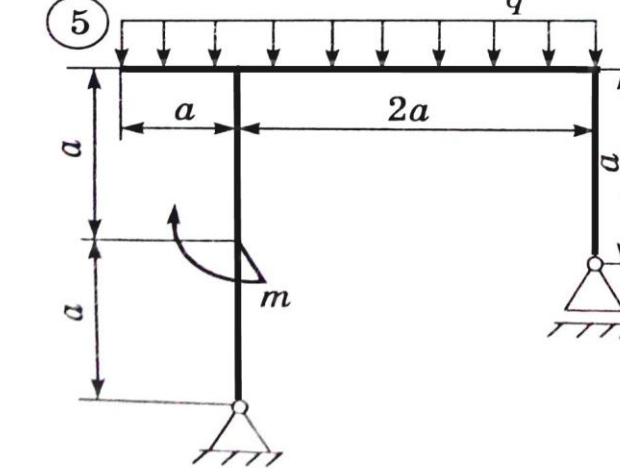
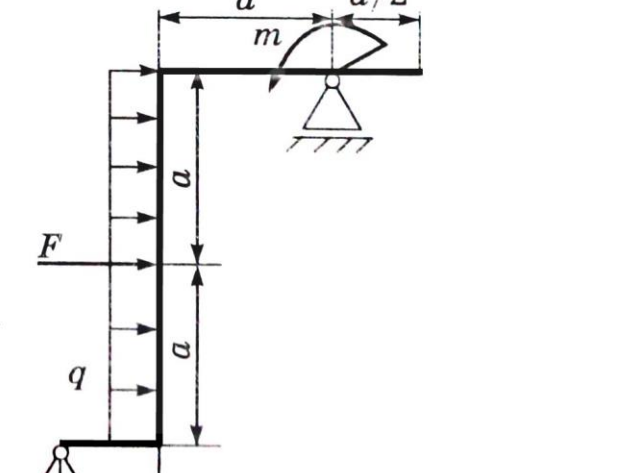
Вариант 7	Вариант 8
<p>①</p> 	<p>①</p> 
<p>②</p> 	<p>②</p> 
<p>③</p> 	<p>③</p> 
<p>④</p> 	<p>④</p> 
<p>⑤</p> 	<p>⑤</p> 

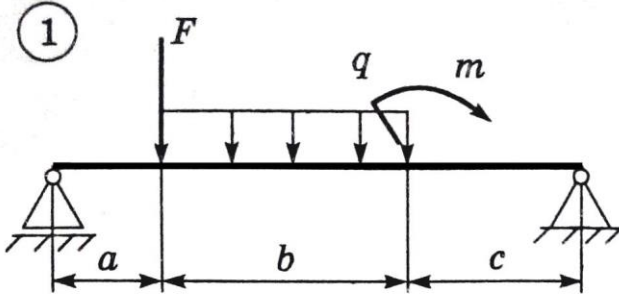
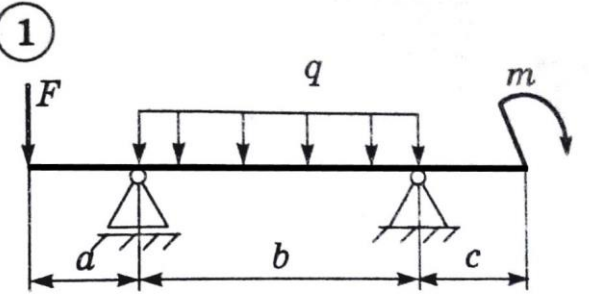
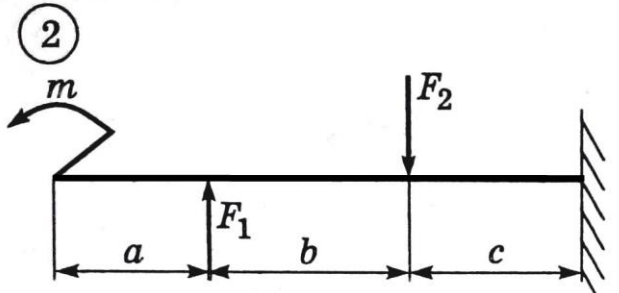
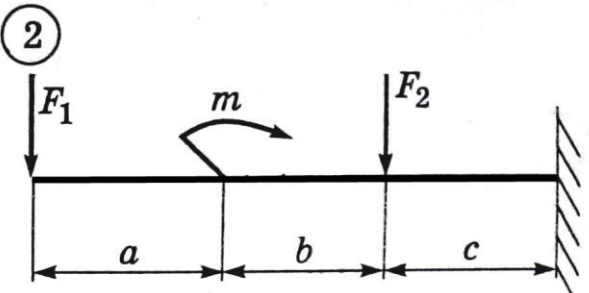
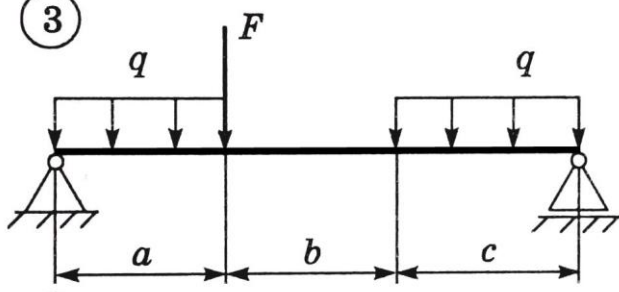
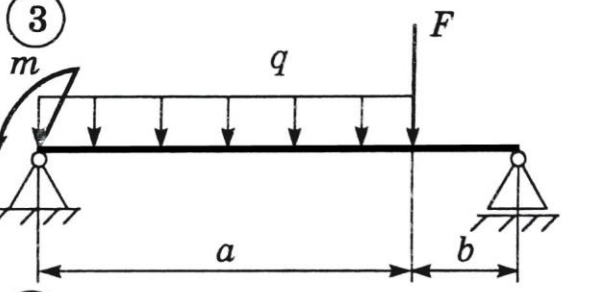
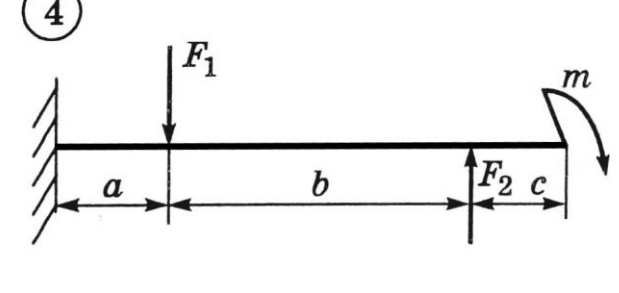
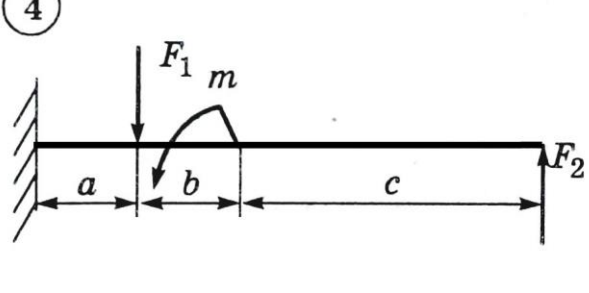
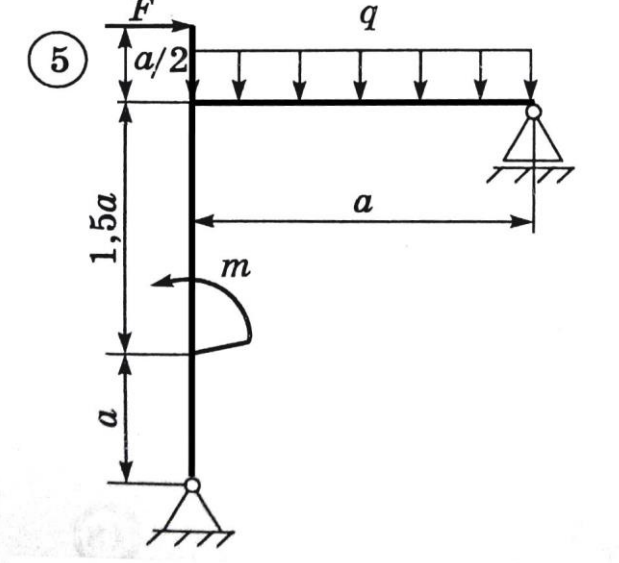
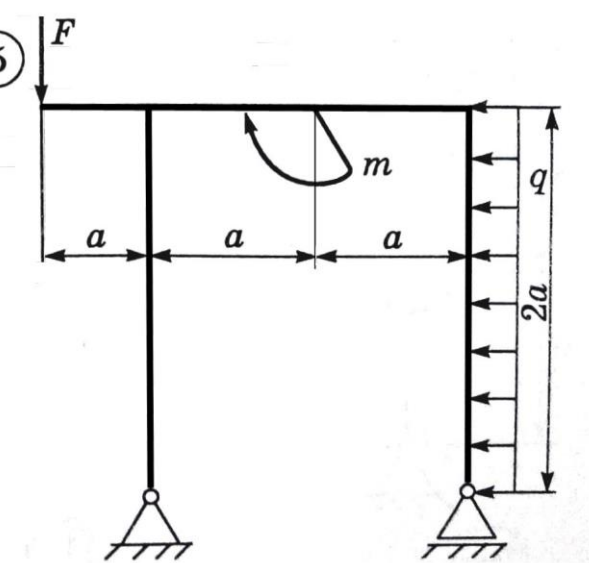
Вариант 9	Вариант 10
<p>①</p> 	<p>①</p> 
<p>②</p> 	<p>②</p> 
<p>③</p> 	<p>③</p> 
<p>④</p> 	<p>④</p> 
<p>⑤</p> 	<p>⑤</p> 

Вариант 11	Вариант 12
<p>①</p> 	<p>①</p> 
<p>②</p> 	<p>②</p> 
<p>③</p> 	<p>③</p> 
<p>④</p> 	<p>④</p> 
<p>⑤</p> 	<p>⑤</p> 

Вариант 13	Вариант 14
<p>①</p> 	<p>①</p> 
<p>②</p> 	<p>②</p> 
<p>③</p> 	<p>③</p> 
<p>④</p> 	<p>④</p> 
<p>⑤</p> 	<p>⑤</p> 

Вариант 15	Вариант 16
<p>①</p>	<p>①</p>
<p>②</p>	<p>②</p>
<p>③</p>	<p>③</p>
<p>④</p>	<p>④</p>
<p>⑤</p>	<p>⑤</p>

Вариант 17	Вариант 18
<p>①</p> 	<p>①</p> 
<p>②</p> 	<p>②</p> 
<p>③</p> 	<p>③</p> 
<p>④</p> 	<p>④</p> 
<p>⑤</p> 	<p>⑤</p> 

Вариант 19	Вариант 20
<p>①</p> 	<p>①</p> 
<p>②</p> 	<p>②</p> 
<p>③</p> 	<p>③</p> 
<p>④</p> 	<p>④</p> 
<p>⑤</p> 	<p>⑤</p> 

Приложение Б

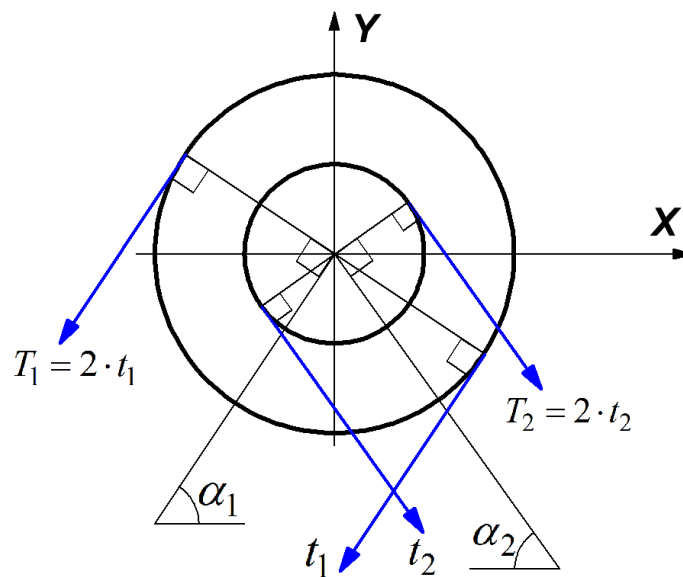
Таблица Б.1 – Исходные данные

Вариант	Длина участка, м				Диаметры шкивов, м		N, л.с.	n, об/мин	Угол наклона ветвей ремня к горизонту, °	
	a	b	c	d	D ₁	D ₂			α_1	α_2
1	5	3	1	5	1,2	1,0	20	100	10	90
2	6	2	5	6	0,8	0,8	30	200	30	70
3	5	6	2	1	0,9	1,4	40	300	70	40
4	1	2	6	1	1,3	0,6	50	400	40	30
5	4	2	6	3	1,4	1,3	60	500	60	40
6	5	3	5	3	0,6	1,3	70	600	60	80
7	2	2	6	3	0,9	1,3	80	700	60	90
8	5	2	1	4	1,0	0,6	90	800	40	20
9	4	5	3	5	1,1	0,7	80	900	80	30
10	5	1	5	4	1,0	0,7	70	400	50	60
11	1	2	6	6	0,7	1,1	60	100	10	40
12	5	1	2	4	1,3	1,4	50	200	40	30
13	6	4	3	5	1,2	0,7	40	300	10	20
14	6	3	4	5	0,7	0,8	30	400	50	40
15	5	3	6	2	1,0	0,6	20	500	20	60
16	1	2	4	2	1,1	1,4	20	600	60	80
17	1	6	5	1	0,7	1,1	30	700	40	50
18	2	2	2	2	0,9	1,2	40	800	70	10
19	5	3	4	6	1,2	0,6	50	900	50	40
20	5	2	2	4	0,9	0,6	60	500	20	10
21	1	2	1	3	0,7	1,4	70	100	20	80
22	2	3	6	4	1,0	0,6	80	200	10	60
23	4	3	4	2	1,2	1,2	90	300	50	40
24	6	1	1	5	1,4	1,2	80	400	40	30
25	3	4	4	2	1,3	1,2	70	500	70	80
26	2	4	1	3	0,6	0,7	60	600	60	50
27	2	3	1	5	1,1	1,0	50	700	80	70
28	6	6	5	5	0,8	1,0	40	800	30	20
29	5	5	5	1	1,0	1,3	30	900	20	60
30	2	1	6	3	1,3	0,7	20	300	20	40

Таблица Б.2 – Расчетные схемы

Варианты	Схема	Варианты	Схема
1, 11, 21		2, 12, 22	
3, 13, 23		4, 14, 24	
5, 15, 25		6, 16, 26	
7, 17, 27		8, 18, 28	
9, 19, 29		10, 20, 30	

Сечение 1 - 1



Критерии оценки результатов учебной деятельности учащихся при выполнении практических работ

Отметка в баллах	Показатели оценки
1	2
1 (один)	Неполное выполнение работы, наличие многочисленных существенных ошибок: не может правильно планировать выполнение работы, не усвоены основные термины, понятия и определения в области технической механики, отсутствие умения оперировать ими и применять к решению практических задач и оценке полученного результата
2 (два)	Неполное выполнение работы, значительные затруднения в применении знаний и умений для определения опорных реакций, проекций сил, моментов сил относительно точки и т.д. Существенные ошибки, вызванные несоблюдением масштаба при составлении исходной схемы, отсутствием на ней всех величин, необходимых для расчета, неумением пользоваться справочной литературой. Объем выполненной части работы не позволяет получить достоверный результат и сделать правильные выводы
3 (три)	Неполное выполнение работы со значительными затруднениями в применении знаний и умений для расчета опорных реакций, проекций сил, моментов сил относительно точки, крутящих и изгибающих моментов и т.д. Расчеты не выполнены в общем виде, не указаны размерности, полученных величин, эпюры построены не на одном листе с расчетной схемой, на эпюрах не указаны числовые значения характерных ординат и единицы расчетных величин
4 (четыре)	Неполное выполнение работы, допускаются ошибки при составлении плана выполнения работы, незначительные затруднения в применении знаний и умений для расчетов по определению реакций связей, крутящих и изгибающих моментов и т.д. Наличие единичных существенных ошибок
5 (пять)	Неполное выполнение работы, но объем выполненной работы таков, что позволяет получить правильный результат. Незначительные затруднения в применении знаний и умений для выполнения расчетов по определению реакций связей, крутящих и изгибающих моментов, построению эпюр и т.д. Наличие несущественных ошибок, связанных с нерациональными способами расчета и математическими преобразованиями, с вычислениями, небрежным выполнением записей, рисунков, графиков, схем, допущением грамматических ошибок в терминах технической механики
6 (шесть)	Полное выполнение работы с несколькими погрешностями, грубо не искажающими реальность полученного результата. Самостоятельное применение знаний и умений при выполнении заданий по образцу по определению и расчету реакций связей, крутящих и изгибающих моментов, построению эпюр и т.д. Наличие единичных несущественных ошибок

1	2
7 (семь)	Полное выполнение работы. Самостоятельное применение знаний и умений при выполнении заданий. В основном расчеты выполнены в общем виде, указаны размерности, полученных величин, эпюры построены на одном листе с расчетной схемой, на эпюрах указаны числовые значения характерных ординат и единицы расчетных величин по расчету т.д.
8 (восемь)	Безошибочное, полное выполнение работы с соблюдением необходимой последовательности проведения расчетов; правильно и аккуратно выполнены все записи, расчетные схемы, вычисления, построены эпюры; правильно выполнена проверка полученного результата. Самостоятельное применение знаний и умений в штатной ситуации
9 (девять)	Безошибочное, полное выполнение работы. Свободное применение знаний и умений при выполнении заданий в частично измененной ситуации (применение учебного материала, как на основе известных правил, предписаний, так и поиск новых способов решения учебных задач, выдвижение предположений и гипотез, наличие действий и операций творческого характера для выполнения заданий по определению крутящих и изгибающих моментов и т. д.)
10 (десять)	Творчески планируется выполнение работы, самостоятельно и полностью используется знание программного учебного материала. Решение записано последовательно, аккуратно и синтаксически верно. Свободное применение знаний и умений при выполнении задания в незнакомой ситуации, проявление элементов творчества (самостоятельное описание и выбор алгоритмов для выполнения заданий, демонстрация рациональных способов решения задач, умения анализировать полученные результаты)

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] **Аркуша, А.И.** Техническая механика: теоретическая механика и сопротивление материалов /А.И. Аркуша. М.: Изд. Группа URSS, 2021. 352 с.
- [2] **Олофинская, В.П.** Техническая механика: курс лекций с вариантами практических и тестовых заданий / В.П. Олофинская. М.: Неолит, 2017. 352 с.
- [3] **Сетков, В.И.** Сборник задач по технической механике / В.И. Сетков. М.: Изд. Центр «Академия», 2003. 224 с.
- [4] **Соколовская, В.П.** Техническая механика. Лабораторный практикум / В.П. Соколовская. Минск: Выш. шк., 2010. 272 с.