Санкт-Петербургский горный университет

Кафедра машиностроения

Задания к расчетно-графической работе №1
по дисциплине
«ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА»

для студентов групп ТХ, ТХН

Преподаватель:
профессор кафедры механики и машиностроения,
д.т.н., доцент Жуков Иван Алексеевич

Общие указания

Расчетно-графическая работа состоит из трёх задач, исходные данные которых приведёны в приложении А. Каждая задача включает 10 вариантов расчетных схем и 10 вариантов исходных данных. Номер схемы и вариант задания назначается преподавателем.

Оформляют контрольную работу в виде записки на отдельных листах формата А4 (210х297) с одной стороны листа рукописным или машинописным (№14) шрифтом. Поля: сверху и снизу – 20мм, слева – 25мм, справа – 15мм

Текстовую часть работы выполняют чернилами, а рисунки и эскизы – карандашом.

Формулы и справочные материалы должны сопровождаться ссылками на литературу (в квадратных скобках указывают порядковый номер и страницу пособия, из которого взят справочный материал). Список литературы [1-4] приводится в конце записки. Каждый источник должен содержать фамилию, инициалы автора, полное название с указанием издательства, места и года издания.

Рисунки, помещённые в записке, должны быть пронумерованы и иметь подрисуночные подписи.

Все пронумерованные листы записки сшивают и сопровождают титульным листом.

Примеры решения задач

Задача 1

Стальной брус переменного сечения (рисунок 1, а) находится под действием продольной силы F = 50 кН и собственного веса.

Найти наибольшее напряжение в сечении круглого бруса и определить величину перемещения сечения I-I. Площади ступеней бруса $A_1 = 10\cdot10^{-4}$ м^2, $A_2 = 5\cdot10^{-4}$м^2. Линейные размеры ступеней (м) поставлены на расчётной схеме. Модуль упругости I-го рода $E = 2\cdot10^5$ МПа, плотность материала бруса $\rho = 7.7\cdot10^3$ кг/м^3.

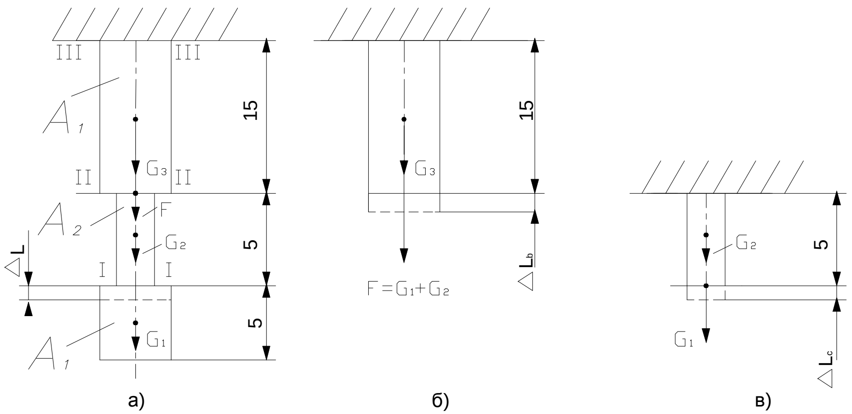

Рисунок 1–Расчётная схема бруса, растягиваемого силой F и собственным весом (а), схемы нагружения верхней (б) и средней (в) ступеней бруса

Решение

1. Определим напряжения, возникающие в сечениях II – II и III – III.

Нормальное напряжение (Па) в любом сечении растянутого стержня определяется по формуле [1, с.29, 2, с.21]

$$\sigma = \frac{N}{A} \quad , \qquad (1)$$

где N – продольная сила, действующая в данном сечении (Н); A – площадь этого сечения (м^2).

Используя метод сечений, определим продольную силу в сечении II – II:

$$N_2 = G_1 + G_2 \quad ,$$

где G_1 – сила тяжести нижней ступени бруса:

$G_1 = \rho\cdot A_1\cdot 5\cdot g = 7.7\cdot10^3\cdot 10\cdot 10^{-4}\cdot 5\cdot 9.8 = 378$ Н;

где G_2 – сила тяжести средней ступени бруса:

$G_2 = \rho\cdot A_2\cdot 5\cdot g = 7.7\cdot10^3\cdot 5\cdot 10^{-4}\cdot 5\cdot 9.8 = 189$ Н;

$N_2 = 378 + 189 = 567$ Н.

Определяем напряжение, возникающее в сечении II –II:

$$\sigma_2 = \frac{N_2}{A_2} = \frac{567}{5\cdot10^{-4}} = 1.13\cdot10^6\,\frac{Н}{м^2} = 1.13\,МПа\,,$$

Используя метод сечений, определим продольную силу в сечении III-III:

$$N_3 = F + G_1 + G_2 + G_3\,,$$

где G_3 – сила тяжести верхней ступени бруса,

$G_3 = \rho\cdot A_1\cdot 15\cdot g = 7.7\cdot10^3\cdot 10\cdot 10^{-4}\cdot 15\cdot 9.8 = 1132$ Н ;

$N_3 = 50\cdot10^3 + 378 +189 + 1132 = 51.7\cdot10^3$ Н.

Определим напряжение, возникающее в сечении III-III:

$$\sigma_3 = \frac{N_3}{A_3} = \frac{51.7\cdot10^3}{10\cdot10^{-4}} = 51.7\cdot10^6\,\frac{Н}{м^2} = 51.7\,МПа\,,$$

Таким образом, наибольшее напряжение действует в сечении заделки (III- III):

$$\sigma_{\max} = 51.7 МПа .$$

2. Определим перемещение сечения I-I.

Удлинение бруса (м) длиной ℓ (м) площадью A (м²), растягиваемого постоянной продольной силой F (Н), определяется по формуле Гука [1, с.35; 2, с.22]:

$$\Delta\ell = \frac{N \cdot \ell}{E \cdot A}, \qquad (2)$$

Удлинение этого бруса только от собственной силы тяжести определяется по формуле [1, с.43; 2, с.25]:

$$\Delta\ell_2 = \frac{G \cdot \ell}{2E \cdot A}, \qquad (3)$$

Перемещение сечение I-I (рисунок 1, а) равно удлинению $\Delta\ell$ верхней от данного сечения части ступенчатого бруса:

$$\Delta\ell = \Delta\ell_b + \Delta\ell_c ,$$

где $\Delta\ell_b$ - удлинение верхней ступени бруса (рисунок, 1,б);

где $\Delta\ell c$ - удлинение средней ступени бруса (рисунок, 1,в);

Для верхней ступени бруса сила F и силы тяжести нижележащих его ступеней G_1 и G_2 являются сосредоточенными нагрузками, а собственная сила тяжести G_3 – равномерно распределённой нагрузкой.

Определим удлинение этой ступени. Оно складывается из удлинения от сосредоточенной силы, равной F + G_1 + G_2 и равномерно распределённой нагрузки – силы тяжести G_3:

$$\Delta\ell_b = \frac{(F + G_1 + G_2)\cdot 15}{E \cdot A_1} + \frac{G_3 \cdot 15}{2E \cdot A_1} = \frac{(50 \cdot 10^3 + 378 + 189)\cdot 15}{2 \cdot 10^5 \cdot 10^6 \cdot 10 \cdot 10^{-4}} +$$

$$+ \frac{1132 \cdot 15}{2 \cdot 10^5 \cdot 10^6 \cdot 10 \cdot 10^{-4}} = 4.64 \cdot 10^{-3} = 4.64 \ мм$$

Для средней ступени бруса сила тяжести нижележащей его части G_1 является сосредоточенной

нагрузкой, а собственная сила тяжести G_2 – равномерно распределённой нагрузкой.

Определим удлинение этой ступени. Оно складывается из удлинения от сосредоточенной силы G_1 и равномерно распределённой нагрузки – силы тяжести G_2:

$$\Delta\ell_c = \frac{G_1 \cdot 5}{E \cdot A_2} + \frac{G_2 \cdot 5}{2E \cdot A_2} = \frac{378 \cdot 5}{2 \cdot 10^5 \cdot 10^6 \cdot 5 \cdot 10^{-4}} + \frac{189 \cdot 5}{2 \cdot 10^5 \cdot 10^6 \cdot 5 \cdot 10^{-4}} =$$

$$= 283 \cdot 10^{-7} \ м = 0{,}028 \ мм$$

Определим перемещение сечения I-I:

$$\Delta\ell = 4.64 + 0.028 = 4.67 мм$$

Задача 2

К стальному ступенчатому валу (рисунок 2, а), имеющему сплошное поперечное сечение, приложены скручивающие моменты T_1, T_2, T_3 (кН·м). Левый конец вала жестко закреплён в опоре, а правый конец – свободен, и его торец имеет угловые перемещения относительно левого конца. Линейные размеры вала (м) проставлены на расчётной схеме.

Требуется:

1) Построить эпюру крутящих моментов по длине вала;
2) При заданном значении допускаемого напряжения на кручение $[\tau]$ = 40 МПа определить диаметры d_1,d_2 вала из расчёта на прочность, полученные значения округлить;
3) Построить эпюру действительных касательных напряжений по длине вала;
4) Построить эпюру углов закручивания, приняв модуль сдвига G = 0.4E.

Решение

1. Построим эпюру крутящих моментов.

Для этого вал (рисунок 2, а) разбиваем на участки, границами которых служат сечения A, B, D, E, где приложены моменты T_R, T_1, T_2, T_3.

Применяя метод сечений, определим крутящие моменты, действующие в сечениях на каждом из трёх участков [1, с.115 – 117; 2, с. 95 – 97];

– на участке DE $T_{K1} = -T_3 = -1.5$ кН·м;

– на участке BD $T_{K2} = -T_3 + T_2 = -1.5 + 2.5 = 1.0$ кН·м;

– на участке AB $T_{K3} = -T_3 + T_2 + T_1 = -1.5 + 2.5 + 3 = 4$ кН·м.

По полученным значениям T_K строим эпюру крутящих моментов (рисунок 2, б) на которой проставляем численные значения T_{K1}, T_{K2}, T_{K3}.

2. Определим диаметры d_1 и d_2 вала из расчёта его на прочность [1, с.118-125; 2, с.97-101].

Условие прочности вала при кручении имеет вид:

$$\tau_{\max} = \frac{T_K}{W_\rho} \le [\tau_K], \qquad (4)$$

где T_K – крутящий момент, возникающий в сечениях вала (Н·м);

$[\tau_K]$ – допускаемое касательное напряжение (Па);

W_ρ – полярный момент сопротивления (м^3);

Имея в виду, что для круглого сплошного сечения $W_\rho = \frac{\pi \cdot d^3}{16}$, получим формулу для определения диаметра вала (м) из условия прочности:

$$d = \sqrt[3]{16 \cdot T_K / \pi \cdot [\tau_K]}. \qquad (5)$$

Определим диаметры ступеней вала d_1 и d_2.

При вычислении d_1 подставим максимальное для этой ступени вала значение момента $T_{K3} = 4$ кН·м, а при вычислении d_2 – $T_{K1} = 1.5$ кН·м (рисунок 2, а, б):

$$d_1 = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 4 \cdot 10^3}{3.14 \cdot 40 \cdot 10^6}} = 79.4 \cdot 10^{-3}\, м = 79{,}4\, мм;$$

$$d_2 = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 1.5 \cdot 10^3}{3.14 \cdot 40 \cdot 10^6}} = 57.6 \cdot 10^{-3}\, м = 57.6\, мм.$$

Полученные значения d_1 и d_2 округлим до ближайших размеров по СТ СЭВ 208-75, в котором предусмотрены следующие диаметры валов в мм: …20, 21, 22, 24, 25, 26, 28, 30, 32, 34, 35, 36, 38, 40, 42, 45, 48, 50, 55, 58, 60, 65, 70 и далее через 5 мм до 120 мм:

$d_1 = 80$ мм, $d_2 = 58$ мм.

3. Построим эпюру расчетных касательных напряжений по длине вала, пользуясь формулой:

$$\tau_{\max} = T_K \Big/ \frac{\pi \cdot d^3}{16}.$$

Для участка DE:

$$(\tau_{\max})_{DE} = \frac{T_{K1}}{\pi \cdot d_2^3 / 16} = \frac{-1.5 \cdot 10^3 \cdot 16}{3.14 \cdot (58 \cdot 10^{-3})^3} = -38.5 \cdot 10^6 \frac{Н}{м^2} = -38.5 МПа$$

Для участка CD:

$$(\tau_{\max})_{CD} = \frac{T_{K2}}{\pi \cdot d_2^3 / 16} = \frac{1.0 \cdot 10^3 \cdot 16}{3.14 \cdot (58 \cdot 10^{-3})^3} = 25.6 \cdot 10^6 \frac{Н}{м^2} = 25.6 МПа$$

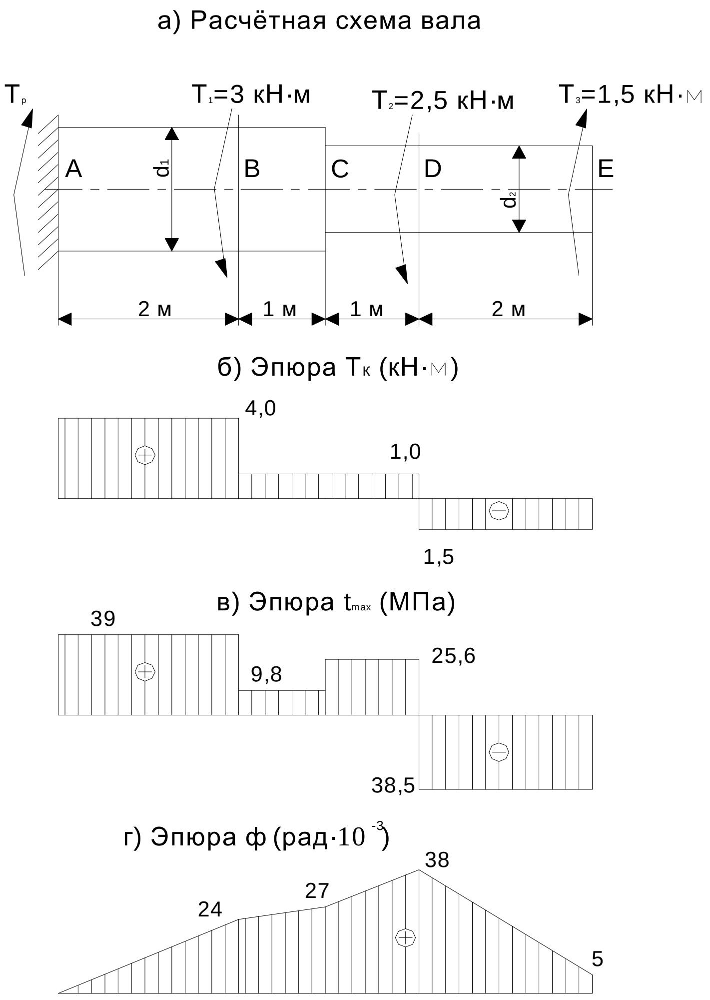

Рисунок 2–Расчётная схема балки (а), эпюры крутящих моментов (б), максимальных касательных напряжении (в) и углов закручивания (г)

Для участка ВС:

$$\left(\tau_{\max}\right)_{BC} = \frac{T_{K2}}{\pi d_1^3 / 16} = \frac{1.0 \cdot 10^3 \cdot 16}{3.14\left(80 \cdot 10^{-3}\right)^3} = 9.76 \cdot 10^6 \, \frac{H}{м^2} = 9.8 МПа;$$

Для участка АВ:

$$\left(\tau_{\max}\right)_{AB} = \frac{T_{K3}}{\pi d_1^3 / 16} = \frac{4.0 \cdot 10^3 \cdot 16}{3.14\left(80 \cdot 10^{-3}\right)} = 39 \cdot 10^6 \, \frac{H}{м^2} = 39 МПа;$$

По полученным значениям $\tau_{\max}$ строим эпюру действительных касательных напряжений по длине вала (рисунок 2, в), на которой проставляем численные значения этих напряжений.

Как видно из построенной эпюры $\tau_{\max}$ опасными оказались поперечные сечения участка АВ.

4. Построим эпюру углов закручивания.

Угол закручивания φ (рад) цилиндра длиной ℓ (м), нагруженного крутящим моментом T_K (Н·м), определяется по формуле [1, с.122 – 123; 2, с.102 –104]:

$$\varphi = \frac{T_K \cdot \ell}{G \cdot I_\rho}, \tag{6}$$

где G – модуль сдвига (Па);

I_ρ – полярный момент инерции (м^3). Для круглого сечения диаметром d

$$I_\rho = \frac{\pi d^4}{32}. \tag{7}$$

Эпюру углов поворота строим, начиная от защемлённого левого сечения А.

Ординаты этой эпюры в выбранном масштабе дают значения углов поворота соответствующих поперечных сечений вала.

Определим угол поворота сечения B, равный углу закручивания участка AB:

$$\varphi_{BA} = \frac{T_{K3}\cdot 2}{G\cdot \pi d_1^4/32} = \frac{4\cdot 10^3\cdot 2\cdot 32}{8\cdot 10^4\cdot 10^6\cdot 3.14\left(8\cdot 10^{-2}\right)^4} = 24\cdot 10^{-3}\ \text{рад.}$$

Определим угол поворота сечения C относительно B, равный углу закручивания участка BC:

$$\varphi_{CB} = \frac{T_{K2}\cdot 1}{G\cdot \pi d_1^4/32} = \frac{1\cdot 10^3\cdot 1\cdot 32}{8\cdot 10^4\cdot 10^6\cdot 3.14\left(8\cdot 10^{-2}\right)^4} = 3\cdot 10^{-3}\ \text{рад.}$$

Абсолютный угол поворота сечения C (относительно заделки) равен алгебраической сумме углов закручивания участков AB и BC. Таким образом, ордината эпюры φ в сечение C равна:

$$\varphi_{CA} = \varphi_{BA} + \varphi_{CB} = 24\cdot 10^{-3} + 3\cdot 10^{-3} = 27\cdot 10^{-3}\ \text{рад.}$$

Аналогично вычисляем углы поворота остальных граничных сечений:

$$\varphi_{DC} = \frac{T_{K2}\cdot 1}{G\cdot \pi d_2^4/32} = \frac{1\cdot 10^3\cdot 1\cdot 32}{8\cdot 10^4\cdot 10^6\cdot 3.14\left(5.8\cdot 10^{-2}\right)^4} = 11\cdot 10^{-3}\ \text{рад.}$$

$$\varphi_{DA} = \varphi_{CA} + \varphi_{DC} = 27\cdot 10^{-3} + 11\cdot 10^{-3} = 38\cdot 10^{-3}\ \text{рад.}$$

$$\varphi_{ED} = \frac{T_{K1}\cdot 2}{G\cdot \pi d_2^4/32} = \frac{-1.5\cdot 10^3\cdot 2\cdot 32}{8\cdot 10^4\cdot 10^6\cdot 3.14\left(5.8\cdot 10^{-2}\right)^4} = -33\cdot 10^{-3}\ \text{рад.}$$

$$\varphi_{EA} = \varphi_{DA} + \varphi_{ED} = 38\cdot 10^{-3} - 33\cdot 10^{-3} = 5\cdot 10^{-3}\ \text{рад.}$$

По полученным значениям φ строим эпюру углов закручивания (рисунок 2, г), на которой проставляем численные значения φ.

Задача 3

Для заданной расчётной схемы балки (рисунок 3,а) требуется написать выражение поперечной силы Q и изгибающего момента M для каждого участка в общем виде, построить эпюры Q и M. Найти M_{max} и подобрать стальную балку двутаврового поперечного сечения. Допускаемое напряжение $[\sigma] = 160\,МПа$; m = 10 кН·м; F = 15 кН; q = 20кН/м. Длина балки и размеры её участков (м) проставлены на расчётной схеме (рисунок 3,а).

Решение.

1. Определим опорные реакции R_A и R_B, составляя уравнения равновесия балки:

$$\sum M_A = 0; \quad F\cdot 2 - m - q\cdot 5\cdot 7.5 + R_B\cdot 10 = 0;$$

$$R_B = \frac{-15\cdot 2 + 10 + 10\cdot 5\cdot 7.5}{10} = 73\ кН;$$

$$\sum M_B = 0; \quad F\cdot 12 - R_A\cdot 10 - m + q\cdot 5\cdot 2.5 = 0;$$

$$R_A = \frac{15\cdot 12 - 10 + 20\cdot 5\cdot 2.5}{10} = 42\ \text{êÍ}\ .$$

2. Проводим проверку полученных значений R_A и R_B, составляя уравнение проекций всех сил на вертикальную ось:

$$\sum y = 0; \quad -F + R_A - q\cdot 5 + R_B = 0;$$

$$-15 + 42 - 20\cdot 5 + 73 = 0;$$

$$0 = 0.$$

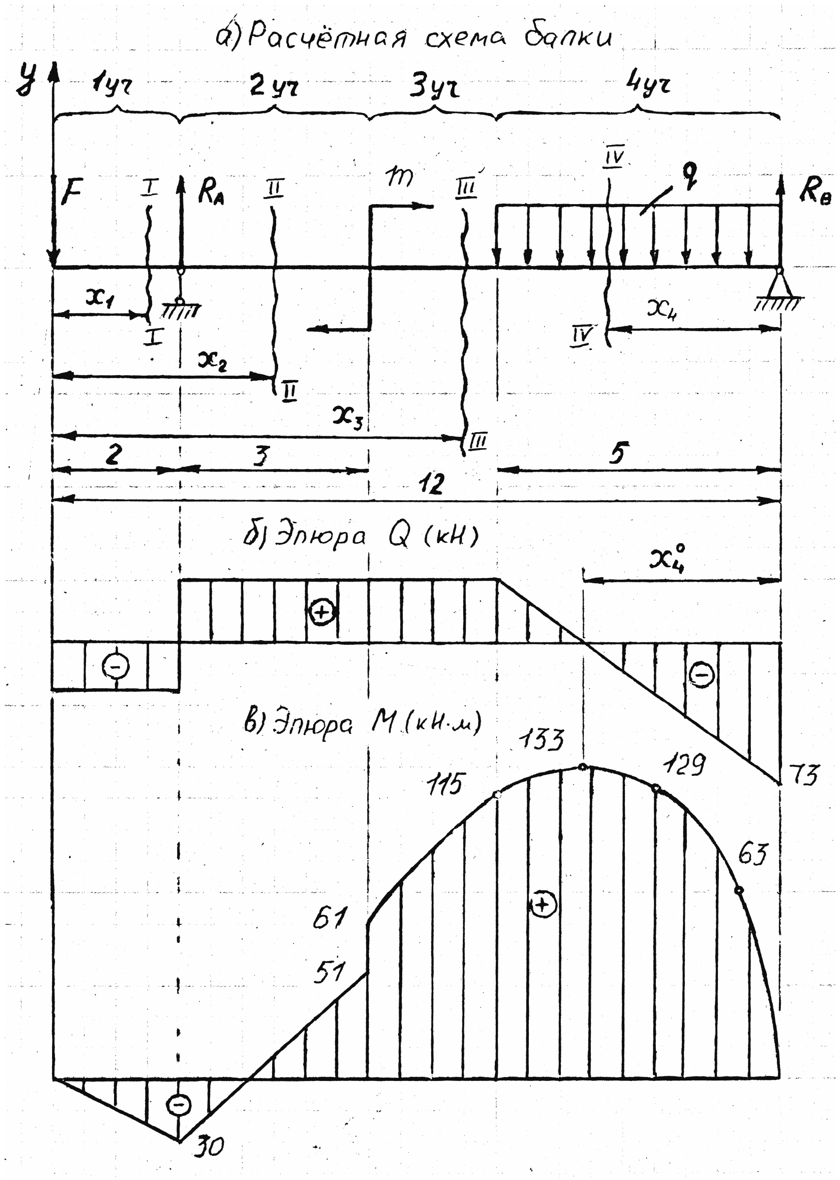

Рисунок 3–Расчётная схема балки (а), эпюры поперечных сил (б) и изгибающих моментов (в).

3. Разделим балку на участки, границы которых совпадают с точками приложения сил, пар сил и с точками начала и конца распределённой нагрузки. Заданная балка имеет четыре участка (рисунок 3, а).

4. На каждом участке проводим сечение, координата которого (м) изменяется в пределах этого участка:

– на первом участке $0 \le X_1 \le 2$;

– на втором участке $2 \le X_2 \le 5$;

– на третьем участке $5 \le X_3 \le 7$;

– на четвёртом участке $0 \le X_4 \le 5$;

5. С помощью метода сечений, рассматривая равновесие отсечённой части балки (левой – для первого, второго и третьего участков, правой – для четвёртого участка), напишем выражение поперечной силы в каждом из этих сечений [1, с.158-162; 2, с.118-119].

В сечении I – I $Q = -F = -15\hat{e}\acute{I}$.

Поперечная сила не зависит от координаты сечения x_1 и является постоянной величиной на протяжении всего первого участка.

В сечении II – II $Q_2 = -F + R_A = -15 + 42 = 27кН.$

В сечении III – III $Q_3 = -F + R_A = -15 + 42 = 27кН.$

В сечении IV – IV $Q_4 = -R_B + q \cdot x_4.$

В отличие от первых трёх участков Q_4 на этом участке линейно изменяется с координатой x_4. Поэтому для построения эпюры поперечных сил на этом участке определим значения Q_4 в двух сечениях, расположенных на границах этого участка:

при $x_4 = 0$ $Q_4 = -R_B = -73кН;$

при $x_4 = 5$ м $Q_4 = -R_B + q \cdot 5 = -73 + 20 \cdot 5 = 27кН.$

6. По полученным значениям Q строим эпюру поперечных сил (рисунок 3,б), на котором проставим их численные значения.

7. Применяя метод сечений, составим выражение изгибающего момента [1, с.158-162; 2, с.118-119] в сечениях, проведённых на каждом из четырёх участков.

В сечении I – I $M_1 = -F \cdot x_1.$

Изгибающий момент линейно зависит от координаты сечения x_1; поэтому для построения эпюры М на этом участке определим значения M_1 в двух сечениях, расположенных на его границах:

при $x_1 = 0$ $M_1 = 0;$

при $x_1 = 2$ м $M_1 = -15 \cdot 2 = -30\,кН \cdot м.$

В сечении II – II $M_2 = -F \cdot x_2 + R_A(x_2 - 2).$

Определим значения M_2 на границах этого участка:

при $x_2 = 0$ $M_2 = -15 \cdot 2 = -30\,кН \cdot м;$

при $x_2 = 5$ м $M_2 = -15 \cdot 5 + 42 \cdot 3 = 51\,кН \cdot м.$

В сечении III – III $M_3 = -F \cdot x_3 + R_A(x_3 - 2) + m.$

Определим значения M_3 на границах этого участка:

при $x_3 = 5$ м $M_3 = -15 \cdot 5 + 42 \cdot 3 + 10 = 61\,кН \cdot м.$

при $x_3 = 7$ м $M_3 = -15 \cdot 7 + 42 \cdot 5 + 10 = 115\,кН \cdot м.$

В сечении IV-IV изгибающий момент определим, рассматривая равновесие отсечённой правой части:

$$M_4 = R_B \cdot x_4 - q \cdot {x_4}^2/2 .$$

В отличие от первых трёх участков изгибающий момент на этом участке изменяется по закону квадратной параболы; поэтому для построения эпюры М на этом участке значения M_4 определим в нескольких сечениях:

при $x_4 = 0$ $M_4 = 0;$

при $x_4 = 1$ м $M_4 = 73 \cdot 1 - 20 \cdot \frac{1^2}{2} = 63\,кН \cdot м;$

при $x_4 = 3$ м $M_4 = 73 \cdot 3 - 20 \cdot \frac{3^2}{2} = 129\,кН \cdot м;$

при $x_4 = 5$ м $M_4 = 73 \cdot 5 - 20 \cdot \frac{5^2}{2} = 115\,кН \cdot м.$

8. По найденным значениям М строим эпюру изгибающих моментов (рисунок 3,в), на которой проставляем их численные значения.

9. Определим наибольшее значение изгибающего момента на 4-м участке. Он возникает, согласно правилу Журавского в сечении, в котором поперечная сила Q_4 равна нулю:

$$Q_4 = -R_B + q \cdot x_4^0 = 0;$$

Отсюда определим значение x_4^0:

$$x_4^0 = \frac{R_B}{q} = \frac{73}{20} = 3.65\,м.$$

Наибольший изгибающий момент $M_4^{\max}$, возникающий в сечении с координатой x_4^0:

$$M_4^{\max} = R_B \cdot x_4^0 - q \cdot \left(x_4^0\right)^2/2 = 73 \cdot 3.65 - 20 \cdot \frac{3.65^2}{2} = 133\ кН \cdot м.$$

10. Определим наибольший изгибающий момент в балке. Как видно из эпюры М (рисунок 3,в):

$$M_{\max} = M_4^{\max} = 133\,кН \cdot м.$$

11.Определим требуемый осевой момент сопротивления:

$$W_Z' = \frac{M_{\max}}{[\sigma]} = \frac{133 \cdot 10^3}{160 \cdot 10^6} = 831 \cdot 10^{-6}\,м^3 = 831\,см^3.$$

12. По найденному значению W_Z' из сортамента прокатной стали в соответствии с ГОСТ 8239-72 выберем номер двутавра, у которого $W_Z \geq W_Z'$ [2, с.300; 3, с.89].

Это двутавр № 40 с $W_Z = 953\ см^3$ с размерами: h = 400 мм, S = 8.3 мм.

Библиографический список

1. Ицкович Г.М. Сопротивление материалов: учебник для машиностроительных техникумов / Г.М. Ицкович. – М.: Высшая школа, 2002. – 329 с.
2. Стёпин П.А. Сопротивление материалов / П.А. Степин. – М.: Высшая школа, 1999. – 312с.
3. Прикладная механика: учебное пособие для вузов / А.Т. Скойбеда, А.А. Миклашевич; Под ред. А.Т. Скойбеды. – Минск.: Высшая школа, 2000. – 522 с.
4. Копнов В.А. Сопротивление материалов: руководство для решения задач и выполнение лабораторных и расчетно-графических работ: учебное пособие для вузов / В.А. Копнов, С.Н. Кривошенко. – М.: Высшая школа, 2003. – 351с.

Приложение А
Контрольные задания

Задача 1.

Стальной стержень переменного сечения находится под действием продольной силы F и собственного веса.

Найти наибольшее напряжение в сечении круглого бруса и определить величину перемещения сечения I – I.

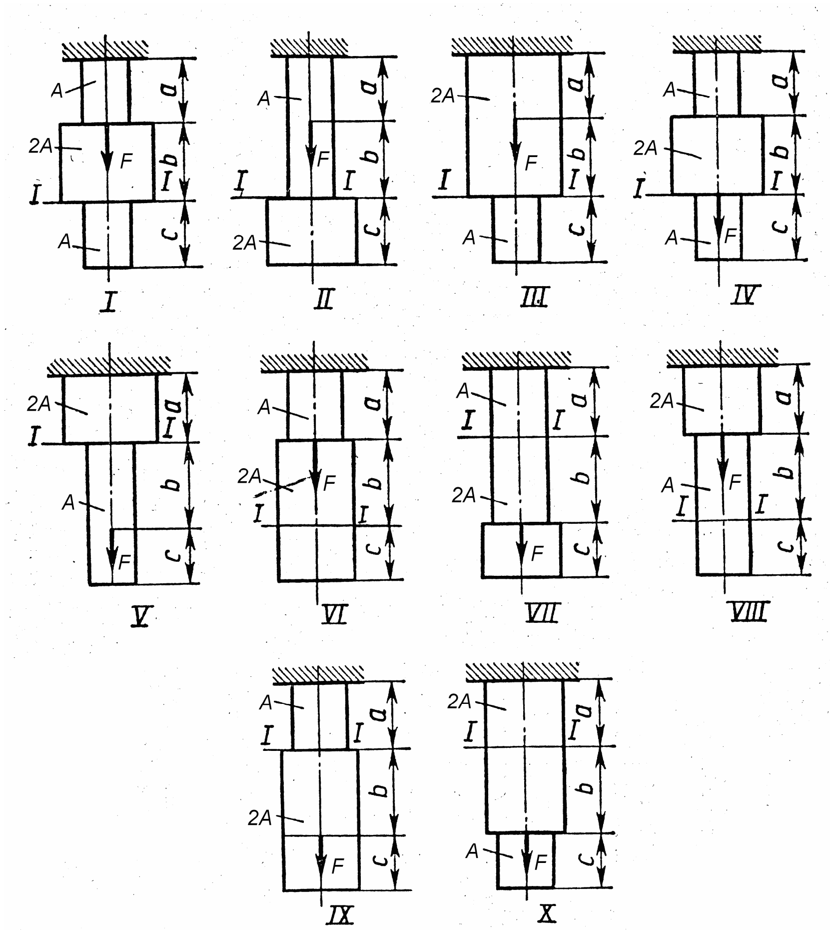

Рисунок 1–Расчетные схемы.

Таблица 1

Величина	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$A \cdot 10^4$, $м^2$	4	4	5	5	6	6	7	7	8	8
a, м	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
b, м	7	7	7	6	5	5	5	4	4	3
c, м	8	7	6	6	6	5	4	4	3	3
F, кН	40	40	50	50	60	60	70	70	80	80

Расчётные схемы указаны на рисунке 1, I-X, а числовые данные приведены в таблице 1.

При расчёте можно принимать модуль упругости при растяжении для стали $E = 2 \cdot 10^5$ МН/м^2 и плотность $\rho = 7.7$ Мг/м^3.

Задача 2.

К стальному ступенчатому валу, имеющему сплошное поперечное сечение, приложены моменты (рисунок 2, I-X). Левый конец вала жестко закреплён в опоре, а правый конец – свободен и его торец имеет угловые перемещения относительно левого конца.

Требуется:

1) Построить эпюру крутящих моментов по длине вала;
2) При заданном значении допускаемого напряжения на кручение определить диаметры d_1 и d_2 вала из расчёта на прочность, полученные значения округлить;
3) Построить эпюру действительных напряжений касательных напряжений по длине вала;
4) Построить эпюру углов закручивания, приняв $G = 0.4E$. Данные взять из табл. 2.

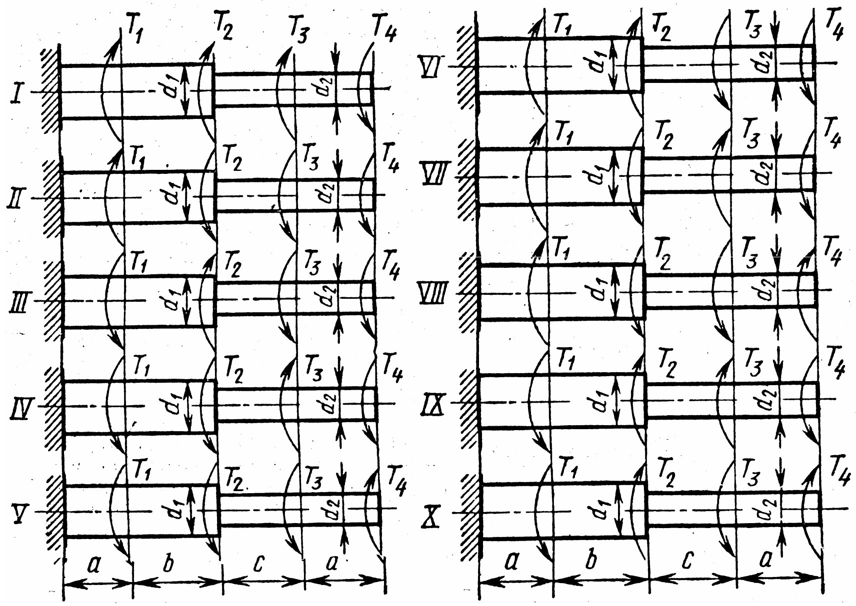

Рисунок 2–Расчетные схемы

Таблица 2

№	Расстояния, м			Моменты, кН·м.				$[\tau]$, *МПа*
	a	b	c	T_1	T_2	T_3	T_4	
1	1.0	1.0	1.0	5.1	2.1	1.1	0.1	30
2	1.1	1.1	1.1	5.2	2.2	1.2	0.2	30
3	1.2	1.2	1.2	5.3	2.3	1.3	0.3	35
4	1.3	1.3	1.3	5.4	2.4	1.4	0.4	35
5	1.4	1.4	1.4	5.5	2.5	1.5	0.5	40
6	1.5	1.5	1.5	5.6	2.6	1.6	0.6	40
7	1.6	1.6	1.6	5.7	2.7	1.7	0.7	45
8	1.7	1.7	1.7	5.8	2.8	1.8	0.8	45
9	1.8	1.8	1.8	5.9	2.9	1.9	0.9	50
10	1.9	1.9	1.9	6.0	3.0	2.0	1.0	50

<u>Задача 3.</u>

Для заданной схемы балки (рисунок 3, I-X) требуется написать выражения Q и M для каждого участка в общем виде, построить эпюры Q и M, найти $M_{макс}$ и подобрать стальную балку двутаврового поперечного сечения при $[\sigma]=160 МПа$. Данные взять из таблицы 3.

Таблица 3

Вари- ант	Данные величины						
	a, м	b, м	c, м	ℓ, м	Изгибающий момент M, кН·м	Сосредоточенная сила F, кН	Равномерно-распределенная нагрузка q, кН/м
1	2,0	3,2	1,8	10	7	20	22
2	2,2	3,4	1,9	10	7	19	21
3	2,4	3,6	2,0	11	8	18	20
4	2,6	3,8	2,1	11	8	16	19
5	2,8	4,0	2,2	12	9	15	18
6	3,0	4,2	2,3	12	9	14	17
7	3,2	4,4	2,4	13	10	13	16
8	3,4	4,6	2,5	13	10	12	15
9	3,6	4,8	2,6	14	11	11	14
10	3,8	5,0	2,7	14	11	10	13

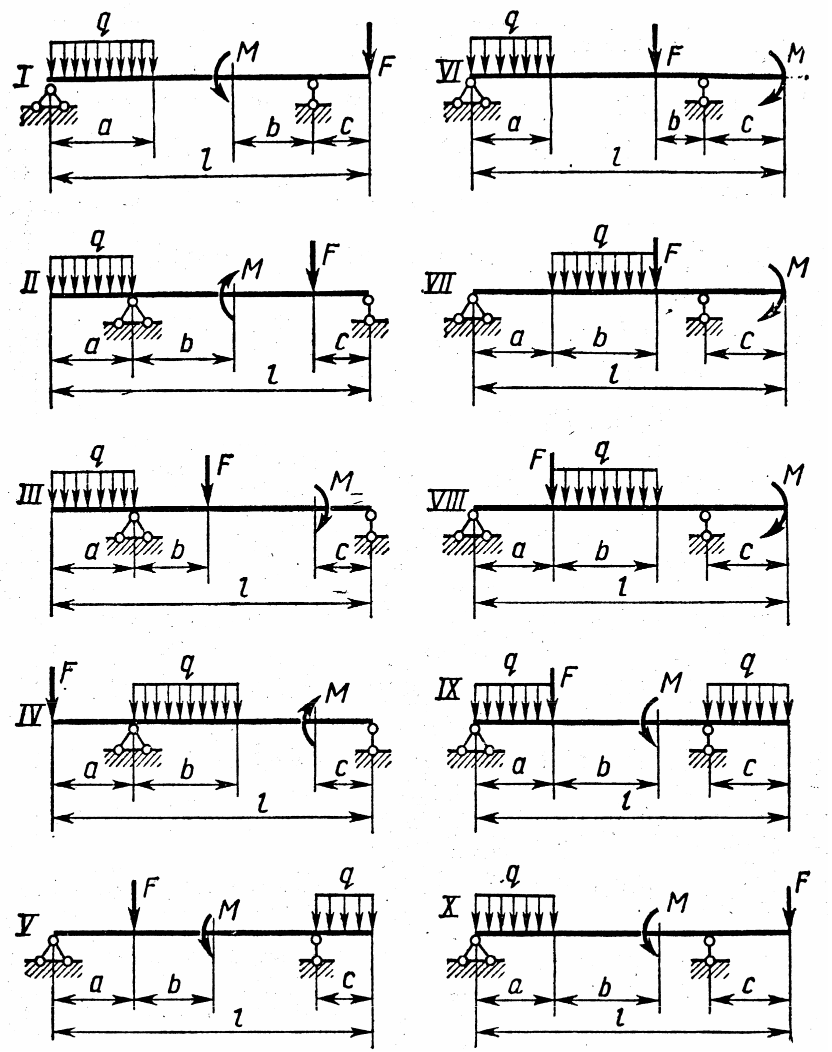

Рисунок 3–Расчетные схемы балок