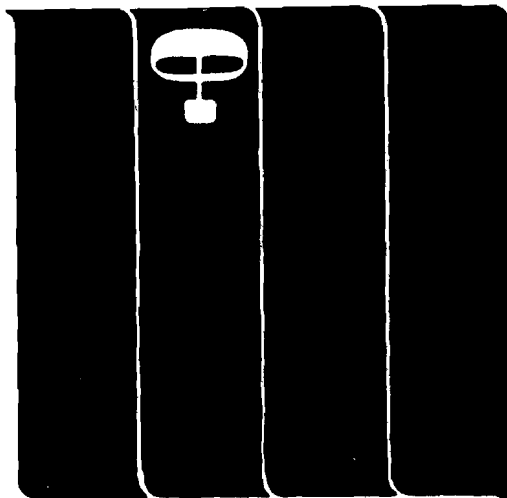


53

M54

ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ИНЖЕНЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ



**Методические указания
по выполнению
расчетно-графических работ
по курсу
«СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ
И ФИЗИКА ПРОЧНОСТИ»**

Москва 1984

53
1454

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ СССР
МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ИНЖЕНЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Кафедра физики прочности

МЕТОДИЧЕСКИЕ
УКАЗАНИЯ
ПО ВЫПОЛНЕНИЮ
РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКИХ РАБОТ
ПО КУРСУ

"СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ И ФИЗИКА ПРОЧНОСТИ"

Утверждено
советом факультета "Ф"

Москва 1984

Методические указания по выполнению расчетно-графических работ по курсу "Сопротивление материалов и физика прочности". - М.: Изд. МИФИ. - 32 с.

Указания предназначены для студентов вечернего факультета, изучающих курс "Сопротивление материалов и физика прочности". Содержат варианты расчетных схем и исходных данных задач по разделам "Растяжение-сжатие статически неопределимого бруса" и "Изгиб статически определимых балок". Даются методические указания и примеры выполнения и оформления расчетно-графической работы.

Составители:

К.П.Богданович, В.Ю.Гольцев, А.А.Калин

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ по оформлению расчетно-графических работ

1. Расчетно-графическая работа выполняется на листах формата № 11 (297x210 мм) с обложкой из плотной бумаги, на которой указываются наименование работы, номера схемы и варианта задания, факультет, номер группы, фамилия студента, дата выполнения работы.

Все листы нумеруются и сшиваются.

2. Записи ведутся разборчиво на одной стороне листа; поля обязательны.

3. На первом листе помещаются расчетная схема и все данные, относящиеся к заданию. На схеме, кроме буквенных обозначений, указываются числовые данные, соответствующие принятому варианту.

4. Каждый пункт расчета должен иметь подзаголовок. Расчет сопровождается необходимыми пояснениями и производится в общем виде. После подстановки численных значений приводится окончательный результат, который выделяется подчеркиванием.

5. Графическая часть задания (схемы, рисунки, эпюры) выполняется на листах миллиметровой бумаги того же формата в выбранном масштабе.

РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1

"Растяжение-сжатие статически неопределимого бруса"

Задача. Брус, заделанный с обоих концов (один из вариантов на рис. 1), находится под действием осевых сил и равномерно распределенной по сечению температуры Δt . Для заданных условий нагружения и исходных данных *, указанных в табл. 1, при $P = kq$, где $q = 100$ кН/м, требуется:

* Для всех схем форма сечения бруса - квадратная.

1. Определить опорные реакции.

2. Построить эпюры: а) нормальных сил; б) нормальных напряжений; в) относительных линейных деформаций; г) перемещений поперечных сечений u .

3. На участке с наибольшим по модулю напряжением определить относительную поперечную деформацию, относительное изменение объема и величину напряжений σ_n и τ_{nt} в площадках, ориентированных под углами (α, n) и $(\alpha, n + 90^\circ)$. Определить относительные деформации в направлении n и t . Значения величин E , μ и α приведены в табл. 2.

Указание. Массой стержня пренебречь.

Таблица 1

| Номер варианта | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----------------------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|
| $k, м$ | 1,3 | 1,2 | 1,1 | 1,0 | 0,9 | 0,8 | 0,7 | 0,6 | 0,5 | 0,4 |
| $\Delta t, ^\circ C$ | 20 | 20 | 20 | 15 | 15 | 15 | 15 | 10 | 10 | 10 |
| $l, м$ | 1,5 | 1,4 | 1,3 | 1,2 | 1,1 | 1,0 | 0,9 | 0,8 | 0,7 | 0,6 |
| $d, м$ | 0,15 | 0,14 | 0,13 | 0,12 | 0,11 | 0,1 | 0,09 | 0,08 | 0,07 | 0,06 |
| $\alpha, град.$ | 30 | 40 | 60 | -30 | -45 | -60 | 20 | 50 | -50 | 45 |

Таблица 2

| Материал | $E, МПа$ | μ | $\alpha, 1/град.$ |
|----------|------------------|-------|----------------------|
| Алюминий | $0,7 \cdot 10^5$ | 0,26 | $2,50 \cdot 10^{-5}$ |
| Медь | $1,0 \cdot 10^5$ | 0,34 | $1,65 \cdot 10^{-5}$ |
| Сталь | $2,0 \cdot 10^5$ | 0,3 | $1,25 \cdot 10^{-5}$ |
| Чугун | $1,2 \cdot 10^5$ | 0,23 | $1,10 \cdot 10^{-5}$ |

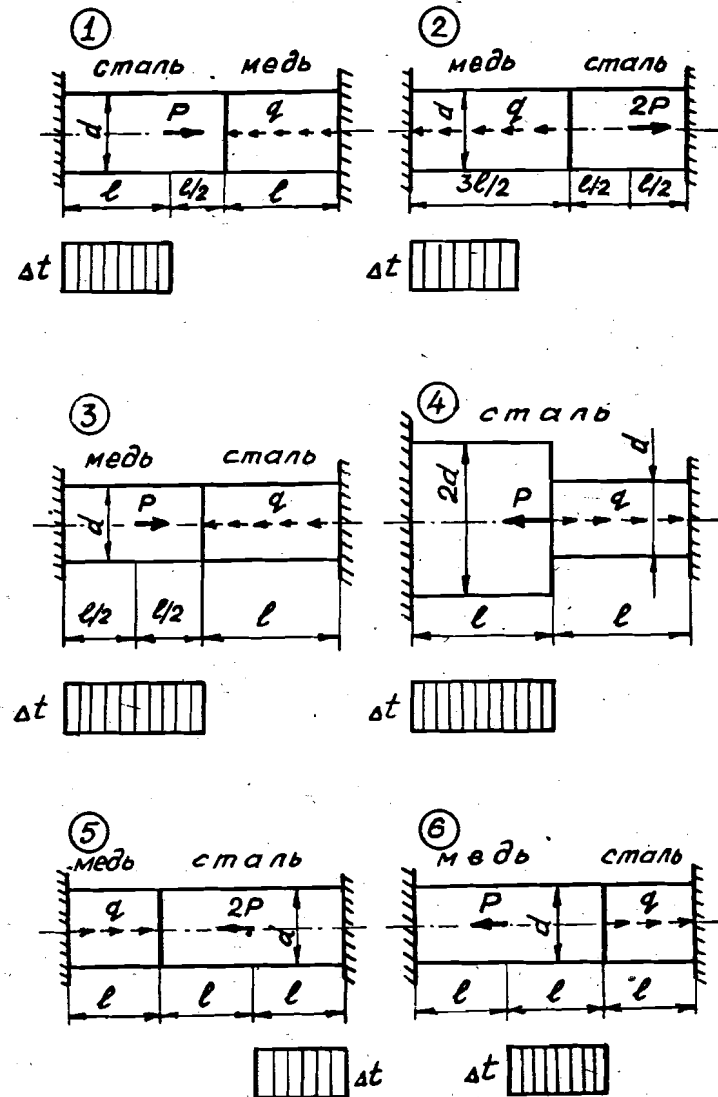


Рис. 1. Варианты расчетных схем к расчетно-графической работе № 1

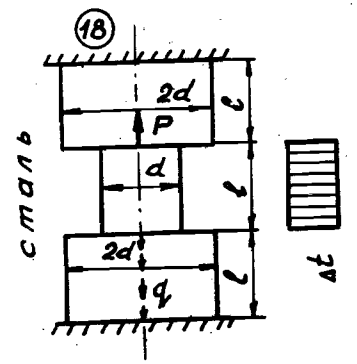
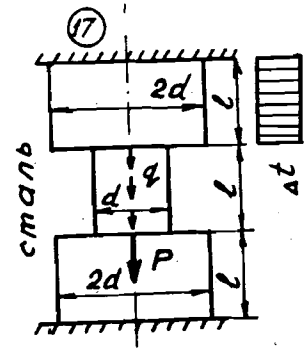
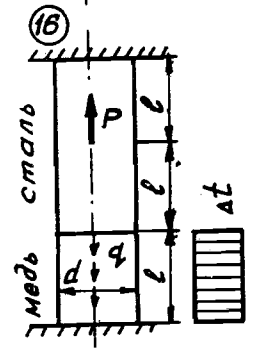
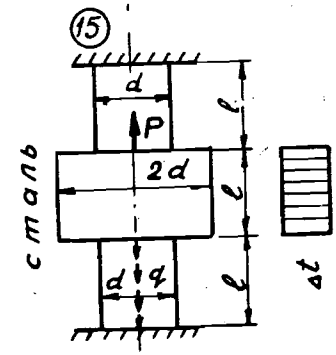
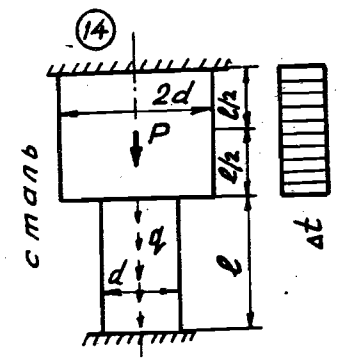
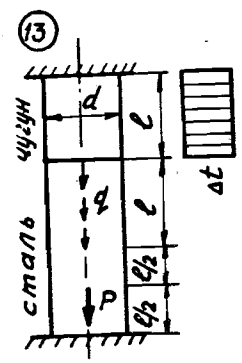
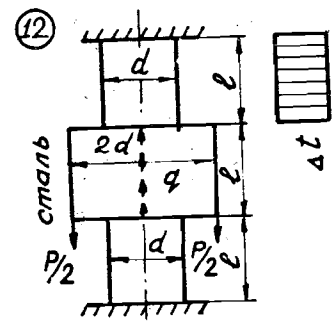
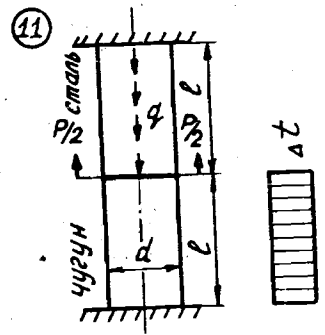
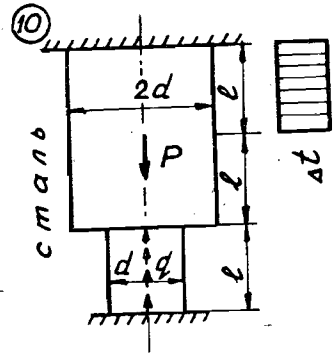
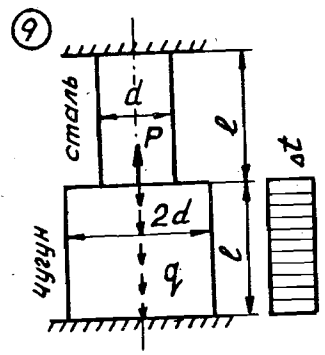
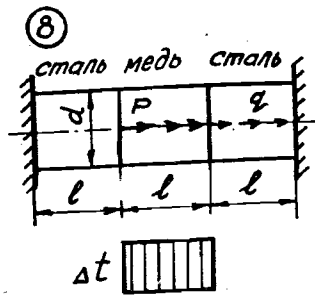
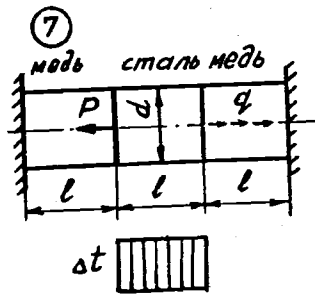
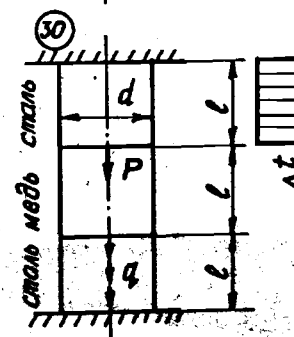
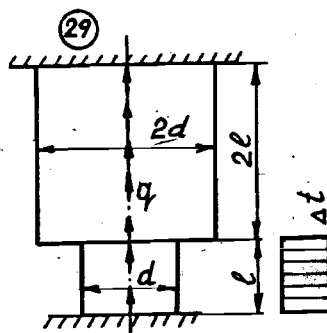
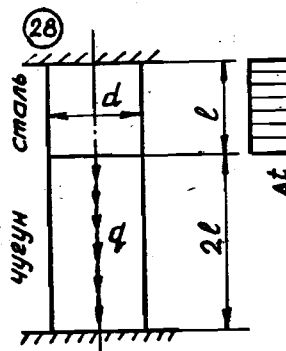
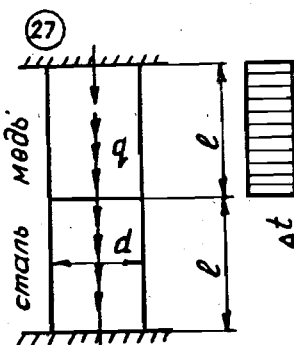
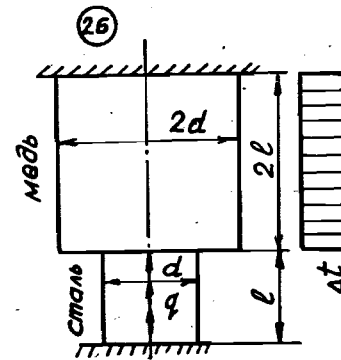
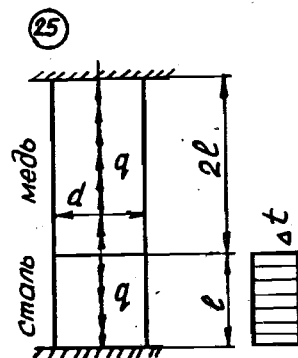
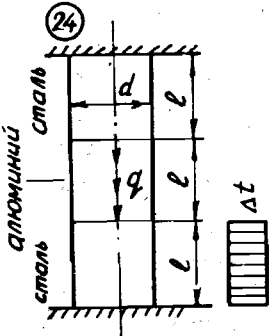
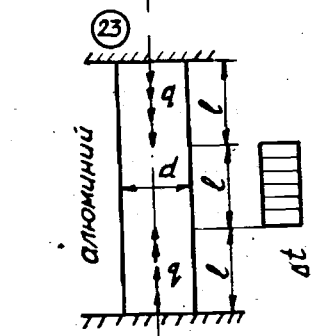
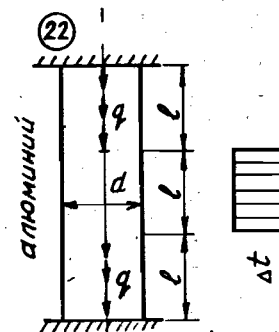
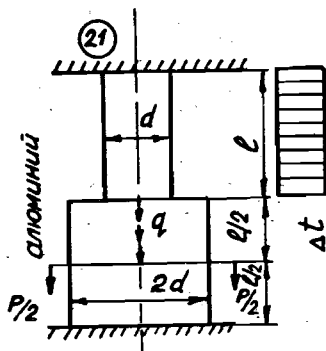
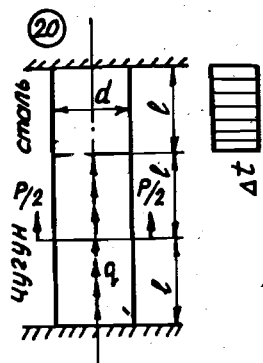
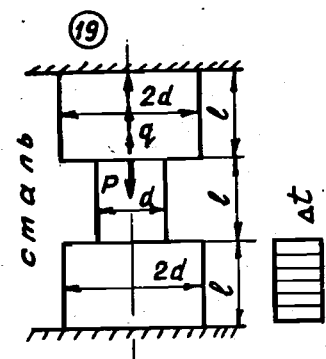


Рис. 1. Продолжение

Рис. 1. Продолжение



РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2

"Расчет на прочность статически определимых балок"

Задача. Для расчетной схемы (один из вариантов на рис. 2) при заданных значениях q и a , приведенных в табл. 3, требуется:

1. Найти опорные реакции.
2. Построить эпюры поперечных сил Q_y и изгибающих моментов M_x .
3. Подобрать три варианта поперечного сечения балки:
 - а) круглое;
 - б) прямоугольное для соотношения сторон $\frac{h}{b} = 2$;
 - в) два швеллера (для четных номеров схем); два двутавра (для нечетных номеров схем).
 Допускаемое напряжение для материала балки $[\sigma] = 160$ МПа.
4. Построить распределение нормальных напряжений σ_x в опасном сечении балки прокатного профиля.

Таблица 3

| Номер варианта | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $q, \text{ кН/м}$ | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 50 | 60 | 60 | 40 |
| $a, \text{ м}$ | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 0,9 | 0,8 | 0,7 | 0,6 | 0,5 | 0,6 | 0,7 |

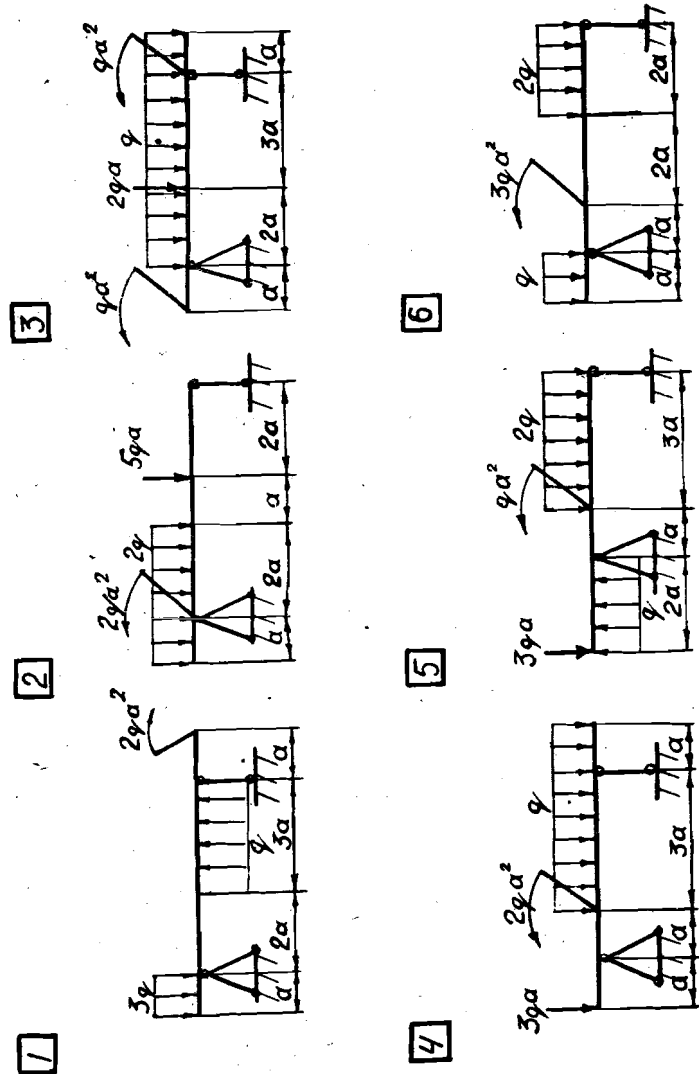
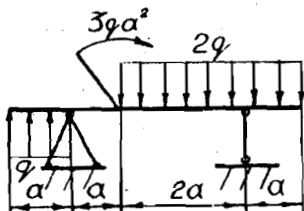
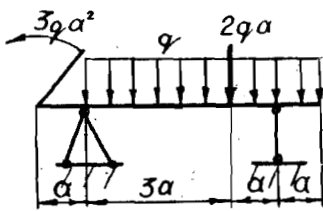


Рис. 2. Варианты расчетных схем к расчетно-графической работе № 2

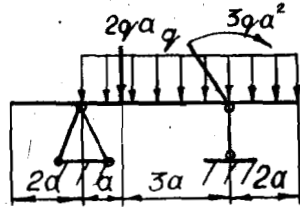
7



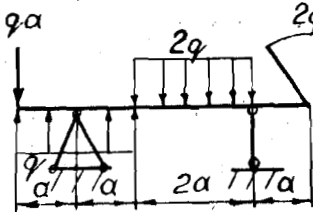
8



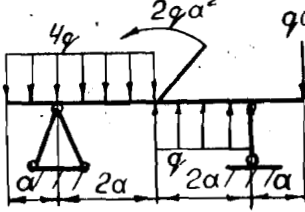
9



10



11



12

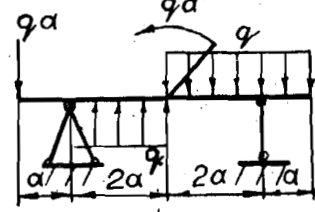
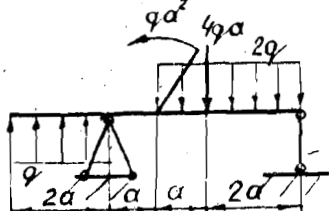
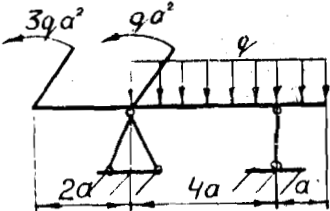


Рис. 2. Продолжение

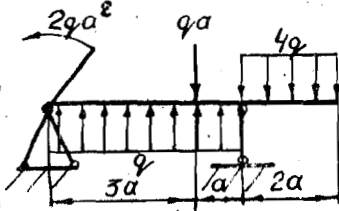
13



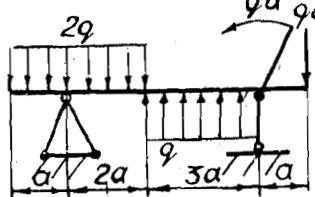
14



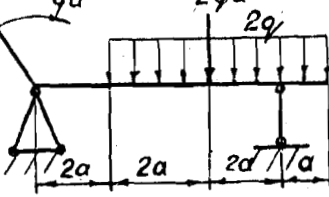
15



16



17



18

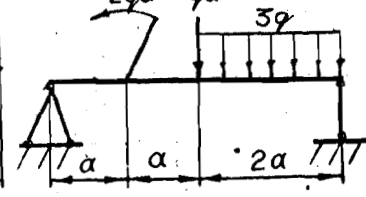


Рис. 2., Продолжение

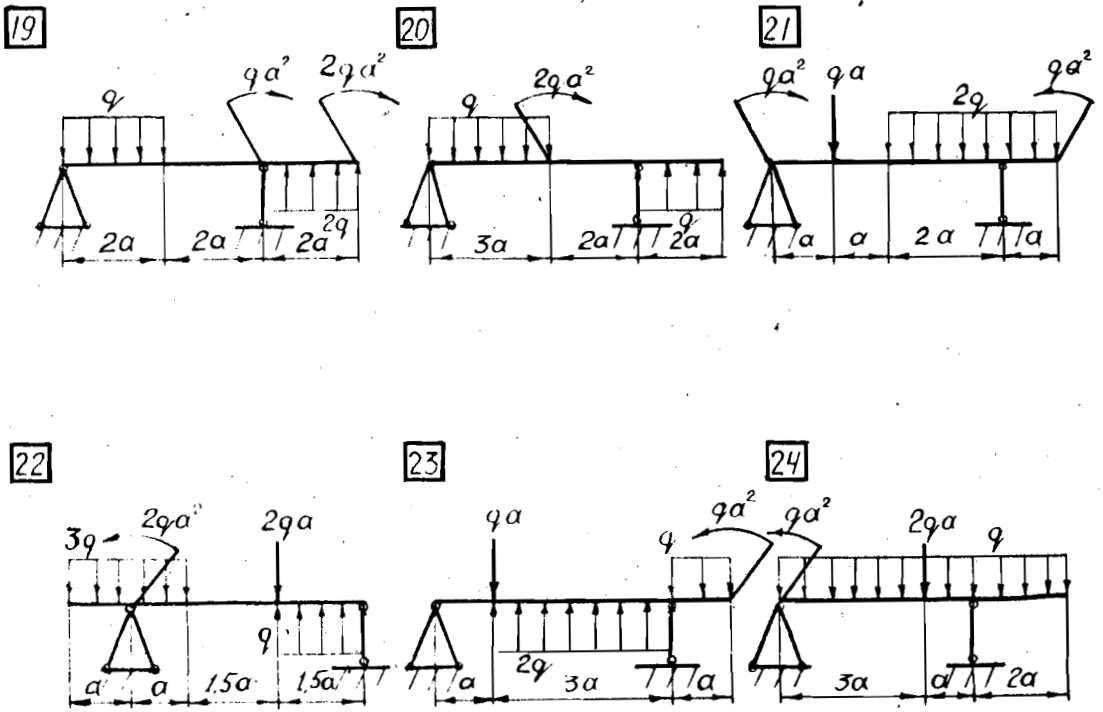


Рис. 2. Продолжение

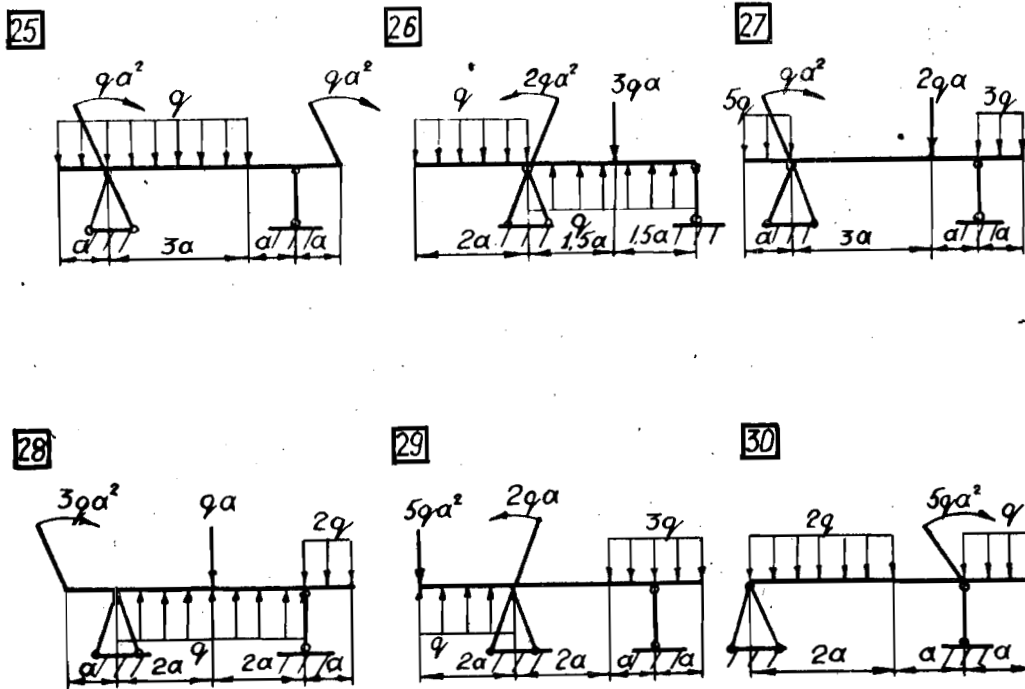


Рис. 2. Окончание

Образец оформления титульного листа

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ СССР
МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ИНЖЕНЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Кафедра физики прочности

РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА №
(название)
по курсу

"Сопротивление материалов и физика прочности"

Вариант №
Схема №

Студент гр. _____

Преподаватель _____

Москва 1984

ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ И РЕШЕНИЯ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ № 1

Задача. Брус с жестко заземленными концами находится под действием осевых сил и испытывает перепад температур (рис. 1.1). Для заданных материалов, размеров стержня и условий нагружения требуется:

1. Определить опорные реакции.
2. Построить эпюры: а) нормальных сил N_x ; б) нормальных напряжений σ_x ; в) относительных линейных деформаций ϵ_x ; г) осевых перемещений поперечных сечений u .

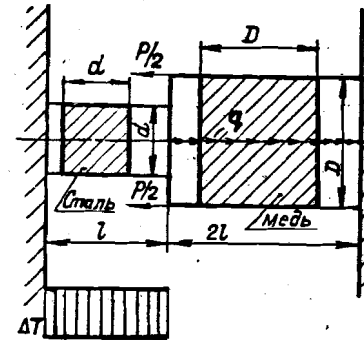


Рис. 1.1. Схема бруса

3. На участке с наибольшим по модулю напряжением определить: а) относительную поперечную деформацию ϵ_y ; б) относительное изменение объема ϵ_v ; в) величину напряжений σ_n и τ_{nt} в площадках, ориентированных под углом (x, n) и $(x, n + 90^\circ)$. Определить относительные деформации в направлении n и t . Указание. Массой бруса пренебречь.

При решении использованы следующие характеристики материалов:

| Материал | E , МПа | μ | α , 1/град. |
|----------|----------------|-------|----------------------|
| Медь | 10^5 | 0,34 | $1,65 \cdot 10^{-5}$ |
| Сталь | $2 \cdot 10^5$ | 0,3 | $1,25 \cdot 10^{-5}$ |

Исходные данные для заданного варианта задачи:

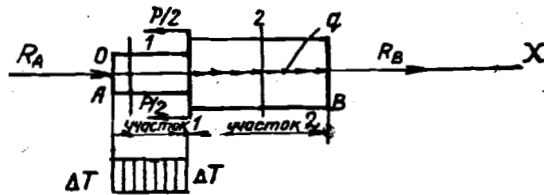
$$q = 1000 \frac{\text{Н}}{\text{м}}, \quad P = qk = 1000 \text{ Н}, \quad k = l = 1 \text{ м}, \\ d = 0,01 \text{ м}, \quad D = 0,02 \text{ м}, \quad \Delta T = 12 \text{ К}; \quad (\hat{x}, \hat{n}) = 30^\circ$$

Решение

1. Определение опорных реакций

Заменяя действие опор A и B их реакциями R_A и R_B , получим расчетную схему (рис. 1.2) и составим уравнение равновесия бруса:

$$\Sigma X = 0, \quad -P + 2ql + R_A + R_B = 0.$$



Фиг. 1.2. Расчетная схема

Так как число неизвестных при одном уравнении равновесия равно двум, то задача является один раз статически неопределимой.

Для раскрытия статической неопределимости необходимо составить дополнительное уравнение.

Выбираем эквивалентную статически определимую систему, показанную на рис. 1.3. Перемещение сечения B $U_B = 0$, поэтому для выбранной эквивалентной системы можно записать:

$$U_B = (U_B)_{R_B} + (U_B)_q + (U_B)_P + (U_B)_{\Delta T(x)} = 0; \\ (U_B)_{R_B} = \frac{R_B l}{d^2 E_C} + \frac{R_B 2l}{D^2 E_M}, \quad D = 2d \quad \text{и} \quad E_C = 2E_M, \quad \text{тогда}$$

$$(U_B)_{R_B} = \frac{R_B l}{d^2 E_C};$$

$$(U_B)_q = \frac{2ql^2}{d^2 E_C} + \frac{2ql}{D^2 E_M} = \frac{3ql^2}{2d^2 E_M};$$

$$(U_B)_P = -\frac{Pl}{d^2 E_C} = -\frac{ql^2}{2d^2 E_M};$$

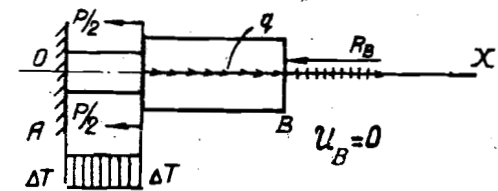
$$(U_B)_{\Delta T} = \alpha_c \Delta T l;$$

$$\frac{R_B l}{d^2 E_C} + \frac{3ql^2}{2d^2 E_M} - \frac{ql^2}{2d^2 E_M} + \alpha_c l \Delta T = 0;$$

$$R_B = -ql - \alpha_c l E_M d^2 (\Delta T) =$$

$$= -1000 - 1 \cdot 10^{11} \cdot 10^{-4} \cdot 12 \cdot 1,25 \cdot 10^{-5} = \underline{\underline{-2500 \text{ Н}}}.$$

В эквивалентной системе изменяем направление R_B на противоположное.



Фиг. 1.3. Эквивалентная схема

Из уравнения равновесия бруса получим:

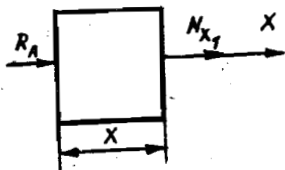
$$R_A = P - 2ql + R_B = 1000 - 2000 + 2500 = \underline{\underline{1500 \text{ Н}}}.$$

2. Определение нормальных сил N_x

Стержень имеет 2 силовых участка: участок 1 и участок 2 (см. рис. 1.2).

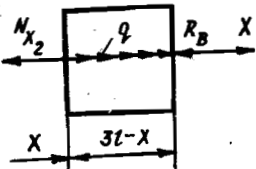
Используя метод сечений, определяем нормальные силы.

Участок 1 ($0 \leq X \leq l$)



$$\Sigma X = 0; R_A + N_{x_1} = 0, N_{x_1} = -R_A = -1500H.$$

Участок 2 ($l \leq X \leq 3l$)



$$\Sigma X = 0; -N_{x_2} - R_B + q(3l - X) = 0,$$

$$N_{x_2} = q(3l - X) - R_B = 500 - 1000X,$$

$$X = l, N_{x_2} = 500 - 1000 = -500H;$$

$$X = 3l, N_{x_2} = 500 - 3000 = -2500H.$$

Строим эпюру N_x (рис. 1.4)

3. Определение нормальных напряжений σ_x

Участок 1

$$\sigma_{x_1} = \frac{N_{x_1}}{F_1} = -\frac{1500}{d^2} = -\frac{1500}{10^{-4}} = -15 \text{ МПа}.$$

Участок 2

$$\sigma_{x_2} = \frac{N_{x_2}}{F_2} = \frac{500 - 1000X}{d^2} = + (1,25 - 2,5X),$$

$$X = l, \sigma_{x_2} = 1,25 - 2,5 = -1,25 \text{ МПа};$$

$$X = 3l, \sigma_{x_2} = 1,25 - 7,5 = -6,25 \text{ МПа}.$$

Строим эпюру σ_x (см. рис. 1.4)

4. Определение линейных относительных деформаций ϵ_x

Участок 1

$$\epsilon_{x_1} = \frac{\sigma_{x_1}}{E_c} + \alpha_c \Delta T = -\frac{15 \cdot 10^6}{2 \cdot 10^{11}} + 12 \cdot 1,25 \cdot 10^{-5} = -7,5 \cdot 10^{-5} + 15,0 \cdot 10^{-5} = 7,5 \cdot 10^{-5} \text{ м}.$$

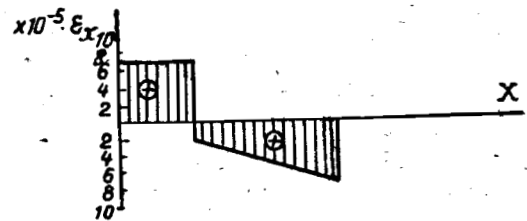
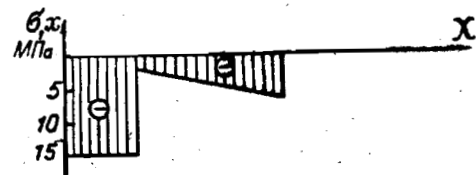


Рис. 1.4. Эпюры $N_x, \sigma_x, \epsilon_x, u$

Участок 2

$$\epsilon_{x_2} = \frac{\sigma_{x_2}}{E_n} = \frac{(1,25 - 2,5X) \cdot 10^6}{10^{11}} = 10^{-5} (1,25 - 2,5X),$$

$$X = l, \epsilon_{x_2} = 10^{-5} (1,25 - 2,5) = -1,25 \cdot 10^{-5};$$

$$X = 3l, \epsilon_{x_2} = 10^{-5} (1,25 - 7,5) = -6,25 \cdot 10^{-5}.$$

Строим эпюру ϵ_x (см. рис. 1.4)

5. Определение перемещений поперечных сечений u

Участок 1

$$u_1 = \int_0^X \epsilon_{x_1} dx = \int_0^X 7,5 \cdot 10^{-5} dx = 7,5 \cdot 10^{-5} X,$$

$$X=0, \quad u_1 = 7,5 \cdot 10^{-5} \cdot 0 = \underline{0},$$

$$X=1, \quad u_1 = 7,5 \cdot 1 \cdot 10^{-5} = \underline{7,5 \cdot 10^{-5} \text{ м.}}$$

Участок 2

$$u_2 = u_1(1) + \int_1^X \epsilon_{x_2} dx = u_1(1) + 10^{-5} \int_1^X (1,25 - 2,5X) dx =$$

$$= 10^{-5} [7,5 + 1,25(X - X^2)],$$

$$X=1, \quad u_2 = 10^{-5} [7,5 + 1,25(1-1)] = \underline{7,5 \cdot 10^{-5} \text{ м}} = u_1(1);$$

$$X=31, \quad u_2 = 10^{-5} [7,5 + 1,25(3-9)] = 10^{-5} (7,5 - 7,5) = \underline{0}.$$

Строим эпюру u (см. рис. 1.4)

6. Определение относительной поперечной деформации ϵ_y

и относительного изменения объема ϵ_v на участке с наибольшим по модулю напряжением σ_x

$\sigma_x|_{\max} = 15 \text{ МПа}$ (участок 1). На участке 1 определяем $\epsilon_y = \epsilon_x \mu$ и ϵ_v в сечении $X=0$, где $|\epsilon_x| = |\epsilon_x|_{\max}$:

$$\epsilon_y = \epsilon_x \mu = -\mu_c \frac{\sigma_x}{E_c} + \alpha_c \Delta T = -0,3(-7,5) \cdot 10^{-5} + 1,25 \cdot 12 \cdot 10^{-5} = \underline{17,25 \cdot 10^{-5}};$$

$$\epsilon_v = (1 - 2\mu_c) \frac{\sigma_x}{E_c} + 3\alpha_c \Delta T = (1 - 0,6) \frac{15 \cdot 10^6}{2 \cdot 10^{11}} + 3 \cdot 1,25 \cdot 10^{-6} \cdot 12 = \underline{42,0 \cdot 10^{-5}}.$$

7. Определение напряжений σ_n и σ_{nt}

$$(\hat{x}, \hat{n}) = 30^\circ$$

Так как $\sigma_x = -15 \text{ МПа}$, то $\sigma_{\max} = 0$, $\sigma_{\min} = -15 \text{ МПа}$ и при $(\hat{x}, \hat{n}) = 30^\circ$ ($\hat{\sigma}_{\max}, \hat{n}$) = 60° , тогда

$$\sigma_n = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} + \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} \cos 2(\hat{\sigma}_{\max}, \hat{n}) =$$

$$= \frac{0 - 15}{2} + \frac{0 + 15}{2} \cdot \cos -120^\circ = -7,5 + 7,5 \cdot \cos 120^\circ =$$

$$= -7,5 - 7,5 \cdot \sin 30^\circ = \underline{-11,25 \text{ МПа}};$$

$$\tau_{nt} = -\frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} \sin 2(\hat{\sigma}_{\max}, \hat{n}) = -\frac{0 + 15}{2} \sin -120^\circ =$$

$$= 7,5 \sin 120^\circ = 7,5 \cos 30^\circ \approx \underline{6,5 \text{ МПа}};$$

($\hat{x}, \hat{n} + 90^\circ$) = 120° , $\sigma_{\max} = 0$; $\sigma_{\min} = -15 \text{ МПа}$ и при ($\hat{x}, \hat{n} + 90^\circ$) = 120° ($\hat{\sigma}_{\max}, \hat{n}$) = 30° , тогда

$$\sigma_{n+90^\circ} = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} + \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} \cos 2(\hat{\sigma}_{\max}, \hat{n} + 90^\circ) =$$

$$= -7,5 + 7,5 \cdot \cos 60^\circ = \underline{-3,75 \text{ МПа}};$$

$$\tau_{(n+90^\circ)n} = -\frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} \sin 2(\hat{\sigma}_{\max}, \hat{n} + 90^\circ) = -\frac{15}{2} \cdot \sin 60^\circ =$$

$$= -7,5 \cdot 0,866 \approx \underline{-6,5 \text{ МПа}}.$$

8. Определение относительных деформаций в направлении n и t

$$\epsilon_n = \frac{1}{E_c} [\sigma_n - \mu_c \sigma_{n+90^\circ}] + \alpha_c \Delta T = \frac{1}{2 \cdot 10^{11}} [-11,25 \cdot 10^6 - 0,3(-3,75) \cdot 10^6] +$$

$$+ 1,25 \cdot 12 \cdot 10^{-5} = -62 \cdot 10^{-6} + 150 \cdot 10^{-6} = \underline{88 \cdot 10^{-6}}.$$

$$\epsilon_t = \frac{1}{E_c} [\sigma_{n+90^\circ} - \mu_c \sigma_n] + \alpha_c \Delta T = \frac{1}{2 \cdot 10^{11}} [-3,75 \cdot 10^6 - 0,3(-11,25) \cdot 10^6] +$$

$$+ 12 \cdot 1,25 \cdot 10^{-5} = -2 \cdot 10^{-6} + 150 \cdot 10^{-6} = \underline{148 \cdot 10^{-6}}.$$

ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ И РЕШЕНИЯ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ № 2

Задача. Балка постоянного сечения закреплена и нагружена, как это показано на рис. 2.1.

Требуется:

1. Определить опорные реакции.

2. Построить эпюры поперечных сил Q_y и изгибающих моментов M_z .

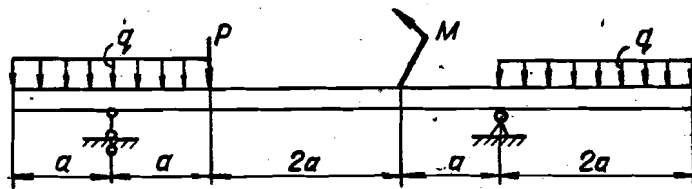


Рис. 2.1. Схема балки

3. Подобрать три варианта поперечного сечения балки:
- круглое;
 - прямоугольное для соотношения сторон $\frac{h}{b} = 2$;
 - два швеллера (для четного варианта).

Допускаемое напряжение для материала балки $[\sigma] = 160 \text{ МПа}$.

4. Построить распределение нормальных напряжений σ_x для опасного сечения балки прокатного профиля.

Указание. Массой балки пренебречь.

Исходные данные для заданного варианта задачи:

$$P = 2qa, \quad M = 2qa^2, \quad q = 10^5 \frac{\text{Н}}{\text{м}}, \quad a = 1 \text{ м}.$$

Решение

1. Определение опорных реакций

Заменяя действие опор А и В их реакциями R_A и R_B (рис. 2.2), запишем уравнение равновесия балки:

$$\sum V = 0; \quad R_A - 2qa - P + R_B - 2qa = 0; \quad R_A + R_B = 6qa;$$

$$\sum \text{мом}_B = 0; \quad R_A \cdot 4a - 2qa \cdot 4a - P \cdot 3a - M + 2qa \cdot a = 0;$$

$$R_A \cdot 4a - 8qa^2 - 6qa^2 - 2qa^2 + 2qa^2 = 0;$$

$$R_A = \frac{7}{2} qa.$$

Находим, что $R_A = \frac{7}{2} qa$; $R_B = \frac{5}{2} qa$.

Проверим правильность определения реакций R_A и R_B , используя для этого $\sum \text{мом}_A = 0$,

$$-qa \frac{a}{2} + qa \frac{a}{2} - Pa + M + R_B \cdot 4a - 2qa \cdot 5a = 0,$$

$$-\frac{qa^2}{2} + \frac{qa^2}{2} - 2qa^2 + 2qa^2 + \frac{5}{2} qa \cdot 4a - 10qa^2 = 0,$$

$$\frac{25}{2} qa^2 = \frac{25qa^2}{2}.$$

Таким образом, R_A и R_B определены верно.

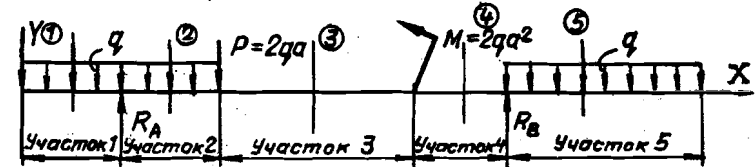
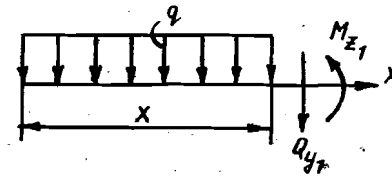


Рис. 2.2. Расчетная схема

2. Определение Q_y и M_z

Выделим 5 силовых участков (см. рис. 2.2) и, пользуясь методом сечений, для каждого участка найдем Q_y и M_z :

Участок 1 ($0 \leq X \leq a$)



$$\sum Y = -qX - Q_{y1} = 0, \quad Q_{y1} = -qX;$$

$$X = 0, \quad \underline{Q_{y1} = 0};$$

$$X = a, \quad \underline{Q_{y1} = -qa}.$$

$$\sum \text{мом}_z = -qX \frac{X}{2} - M_{z1} = 0, \quad M_{z1} = -\frac{qX^2}{2};$$

$$X = 0, \quad \underline{M_{z1} = 0};$$

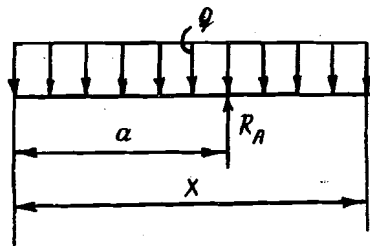
$$X = a, \quad \underline{M_{z1} = -\frac{qa^2}{2}}.$$

Участок 2 ($a \leq X \leq 2a$)

$$\sum Y = -qX + R_A - Q_{y2} = 0; \quad Q_{y2} = \frac{7}{2} qa - qX,$$

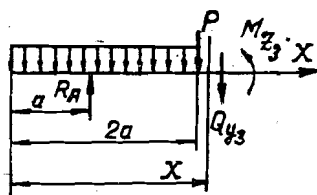
$$X = a, \quad \underline{Q_{y2} = \frac{5}{2} qa};$$

$$X = 2a, \quad \underline{Q_{y2} = \frac{3}{2} qa}.$$



$$\begin{aligned} \Sigma \text{mom}_z &= -qX \frac{X}{2} + R_A(X-a) \\ -M_{z_2} &= 0, \\ M_{z_2} &= \frac{7}{2} qa(X-a) - \frac{qX^2}{2}; \\ X=a, M_{z_2} &= -\frac{qa^2}{2}; \\ X=2a, M_{z_2} &= \frac{3qa^2}{2}. \end{aligned}$$

Участок 3 ($2a \leq X \leq 4a$)



$$\Sigma Y = -2aq + R_A - P - Q_{y_3} = 0,$$

$$\underline{Q_{y_3} = -\frac{qa}{2}};$$

$$\Sigma \text{mom}_z = -q \cdot 2a(X-a) + R_A(X-a) - P(X-2a) - M_{z_3} = 0,$$

$$M_{z_3} = \frac{5}{2} qa^2 - \frac{qaX}{2};$$

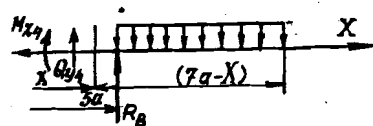
$$X=2a,$$

$$\underline{M_{z_3} = \frac{3}{2} qa^2},$$

$$X=4a,$$

$$\underline{M_{z_3} = \frac{qa^2}{2}}.$$

Участок 4 ($4a \leq X \leq 5a$)



$$\Sigma Y = Q_{y_4} + R_B - q \cdot 2a = 0,$$

$$\underline{Q_{y_4} = -\frac{qa}{2}};$$

$$\Sigma \text{mom}_z = M_{z_4} - R_B(5a-X) + 2qa(6a-X) = 0,$$

$$M_{z_4} = \frac{qa^2}{2} - \frac{qaX}{2},$$

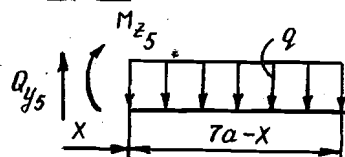
$$X=4a,$$

$$\underline{M_{z_4} = -\frac{3}{2} qa^2};$$

$$X=5a,$$

$$\underline{M_{z_4} = -2qa^2}.$$

Участок 5 ($5a \leq X \leq 7a$)



$$\Sigma Y = Q_{y_5} - (7a-X)q = 0, Q_{y_5} = q(7a-X);$$

$$X=5a, Q_{y_5} = 2qa,$$

$$X=7a, Q_{y_5} = 0;$$

$$\Sigma \text{mom}_z = M_{z_5} + q \frac{(7a-X)^2}{2} = 0, M_{z_5} = -\frac{q(7a-X)^2}{2};$$

$$X=5a,$$

$$\underline{M_{z_5} = -2qa^2};$$

$$X=7a,$$

$$\underline{M_{z_5} = 0}.$$

Эпюры Q_y и M_z приведены на рис. 2.3.

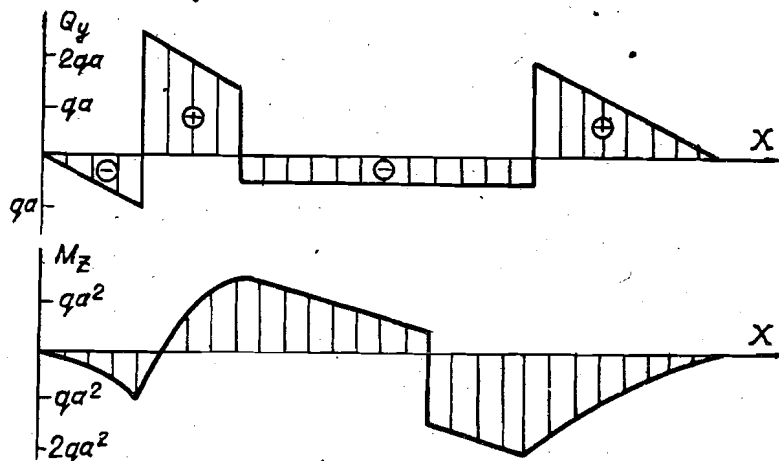


Рис. 2.3. Эпюры Q_y и M_z

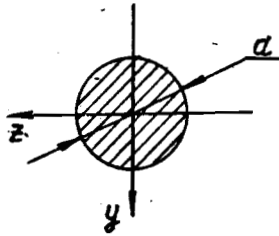
3. Подбор поперечных сечений балки

Расчет на прочность проводится по $|M_z|_{max}$:

$$(\sigma_x)_{max} = \frac{|M_z|_{max}}{W_z} = [\sigma], \quad W_z = \frac{|M_z|_{max}}{[\sigma]}$$

$$|M_z|_{max} = 2q a^2 = 2 \cdot 10^5 \text{ Н}\cdot\text{м}, \quad W_z = \frac{2 \cdot 10^5}{160 \cdot 10^6} = 1,25 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 = \underline{\underline{1250 \text{ см}^3}}$$

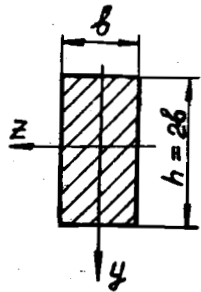
а) круглое сечение:



$$W_z = 1250 \text{ см}^3 = \frac{\pi d^3}{32}$$

$$\underline{\underline{d \approx 0,24 \text{ м} = 24 \text{ см.}}}$$

б) прямоугольное сечение:



$$W_z = 1250 \text{ см}^3 = \frac{bh^2}{6} = \frac{h^3}{12}$$

$$h = 2b = 26 \text{ см} = \underline{\underline{0,26 \text{ м}}}$$

$$\underline{\underline{b = 13 \text{ см.}}}$$

в) два швеллера:

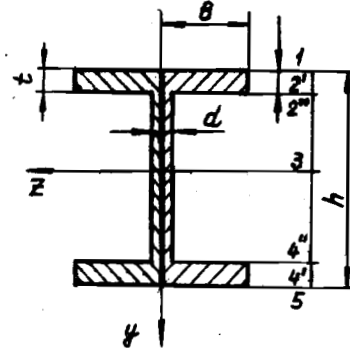
Для одного швеллера $W_z^I = 625 \text{ см}^3$.

Из сортамента прокатной стали (ГОСТ 8240-72) выпишем два номера швеллеров, W_z^I которых наиболее близки к 625 см^3 :

№ 36 - $W_z^I = 601 \text{ см}^3$ и № 40 - $W_z^I = 761 \text{ см}^3$;
выбираем швеллер № 40, размеры и геометрические характеристики которого приведены ниже.

Для швеллера № 40:

$$h = 40 \text{ см}, \quad b = 11,5 \text{ см},$$



$$d = 0,80 \text{ см}, \quad t = 1,35 \text{ см},$$

$$J_z^I = 15220 \text{ см}^4, \quad W_z^I = 761 \text{ см}^3,$$

$$S_z^I \left(y = \frac{h}{2} \right) = 444 \text{ см}^3,$$

$$F_z = 61,5 \text{ см}^2$$

4. Определение σ_x в опасном сечении балки прокатного профиля

В опасном сечении $M_z = -2q a^2 = -2 \cdot 10^5 \text{ Н}\cdot\text{м}$. На каждый швеллер действует $\frac{M_z}{2}$, тогда $\sigma_x = \frac{M_z}{2J_z^I} y$; $\sigma_x = (\sigma_x)_{max/min}$

$$\text{при } y = \pm \frac{h}{2}, \quad (\sigma_x)_{max/min} = \frac{\pm 10^5}{761 \cdot 10^{-6}} \approx \underline{\underline{\pm 132 \text{ МПа.}}}$$

Эпюра σ_x приведена на рис. 2.4.

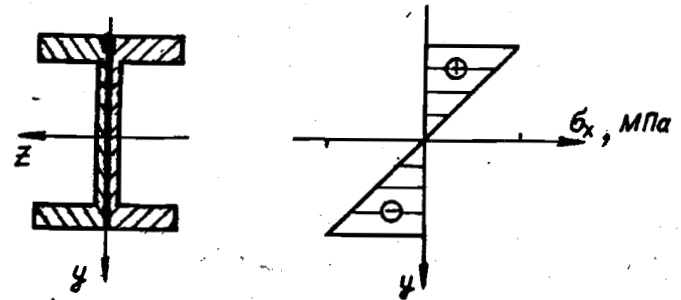


Рис. 2.4. Эпюра σ_x

Методические указания
по выполнению
расчетно-графических работ по курсу
"Сопротивление материалов и физика прочности"

Редактор Н.Н. Антонова
Техн. редактор Н.М. Воронцова
Корректор И.Н. Сергеева

Подписано в печать 20/III-84г. Формат 60x84 1/16
Объем 2 п.л. Уч.изд.л. 1,75 Тираж 1000 экз. Бесплатно
Изд. № 063-2 Заказ 888

Типография МИФИ, Каширское шоссе, 31