

Владимирский государственный университет



ИННОВАЦИОННАЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ПРОГРАММА



Проект 4: развитие инфраструктуры и систем жизнеобеспечения

Цель: обеспечение профессиональных компетенций выпускников университета в области строительства, реставрации и экспертизы памятников архитектуры, жилищно-коммунального хозяйства и ресурсо-энергосберегающих технологий функционирования безопасной и комфортной среды жизнедеятельности.

Федеральное агентство по образованию

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

Владимирский государственный университет

Кафедра сопротивления материалов

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ И ЗАДАНИЯ ПО СОПРОТИВЛЕНИЮ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СТУДЕНТОВ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ «ТЕПЛОГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ВЕНТИЛЯЦИЯ», «ВОДОСНАБЖЕНИЕ И ВОДООТВЕДЕНИЕ»

Статически определяемые системы

Составители:
Л.Е. КОНДРАТЬЕВА
В.И. ТАРАСЕНКО

Владимир 2008

УДК 539.3 / 6(075); 629.063;
697.3; 696.11
ББК 30.121; 38.763; 31.38;
38.761.1
М54

Рецензент
Кандидат технических наук, доцент
Владимирского государственного университета
И.И. Шишов

Печатается по решению редакционного совета
Владимирского государственного университета

Методические указания и задания по сопротивлению
М54 материалов для студентов специальностей “Теплогазо-
снабжение и вентиляция”, “Водоснабжение и водоотведе-
ние”. Статически определимые системы / сост.: Л.Е. Кондратьева,
В.И. Тарасенко; Владим. гос. ун-т. – Владимир : Изд-во Вла-
дим. гос. ун-та, 2008. – 36 с.

Предназначены для использования при освоении практической части курса “Сопротивление материалов”. Рассмотрены задачи расчета статически определимых стержневых систем (балки, плоские рамы, пространственные ломаные стержни), являющихся расчетными схемами строительных конструкций сооружений тепло-, газо- и водоснабжения.

Часть 1 написана В.И. Тарасенко, часть 2 – Л.Е. Кондратьевой.

Табл.3. Ил.20. Библиогр.: 1 назв.

УДК 539.3 / 6(075); 629.063; 697.3; 696.11
ББК 30.121; 38.763; 31.38; 38.761.1

Цель этого издания – не только представить задания по сопротивлению материалов для студентов специальностей «Теплогазоснабжение и вентиляция», «Водоснабжение и водоотведение» и указания по их выполнению, но и показать реальные конструкции систем тепло-, газо-, водоснабжения.

Балки задания 1 – это расчетные схемы участков трубопроводов, проложенных по фасадам зданий, по поверхности земли (рис. 4, 6). Рамы задания 2 – это участки трубопроводов более сложной формы, проходящих по фасадам зданий и сооружений (см. рис. 4). Стержни с ломаной осью задания 3 – пространственные участки трубопроводов (рис. 2, 3). На рис. 2, 4, 6 показаны различные опоры трубопроводов – свободное опирание, жесткое закрепление и др.

В подготовке этого издания принимали участие студенты специальности ТГВ, формула (1) получена студентом гр. ТГВ-105 П. Кириенко.

Часть 1

СИСТЕМЫ ГАЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ГАЗОПОТРЕБЛЕНИЯ И СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

Важную роль в системе жизнеобеспечения поселений играют инженерные сети, к которым относятся трубопроводы различного назначения (теплогазоводоснабжения, водоотведения), вентиляция и т.п.

Основная их особенность – это трубы различного сортамента и номенклатуры.

Одним из важных элементов общей системы жизнеобеспечения являются системы газораспределения и газопотребления, прокладываемые в различных довольно сложных условиях.

В указаниях рассматривается в основном прокладка надземных газопроводов с использованием подвижных опор с точки зрения их прочности и жесткости.

Требования по проектированию систем газораспределения и газопотребления приведены на рис. 1.

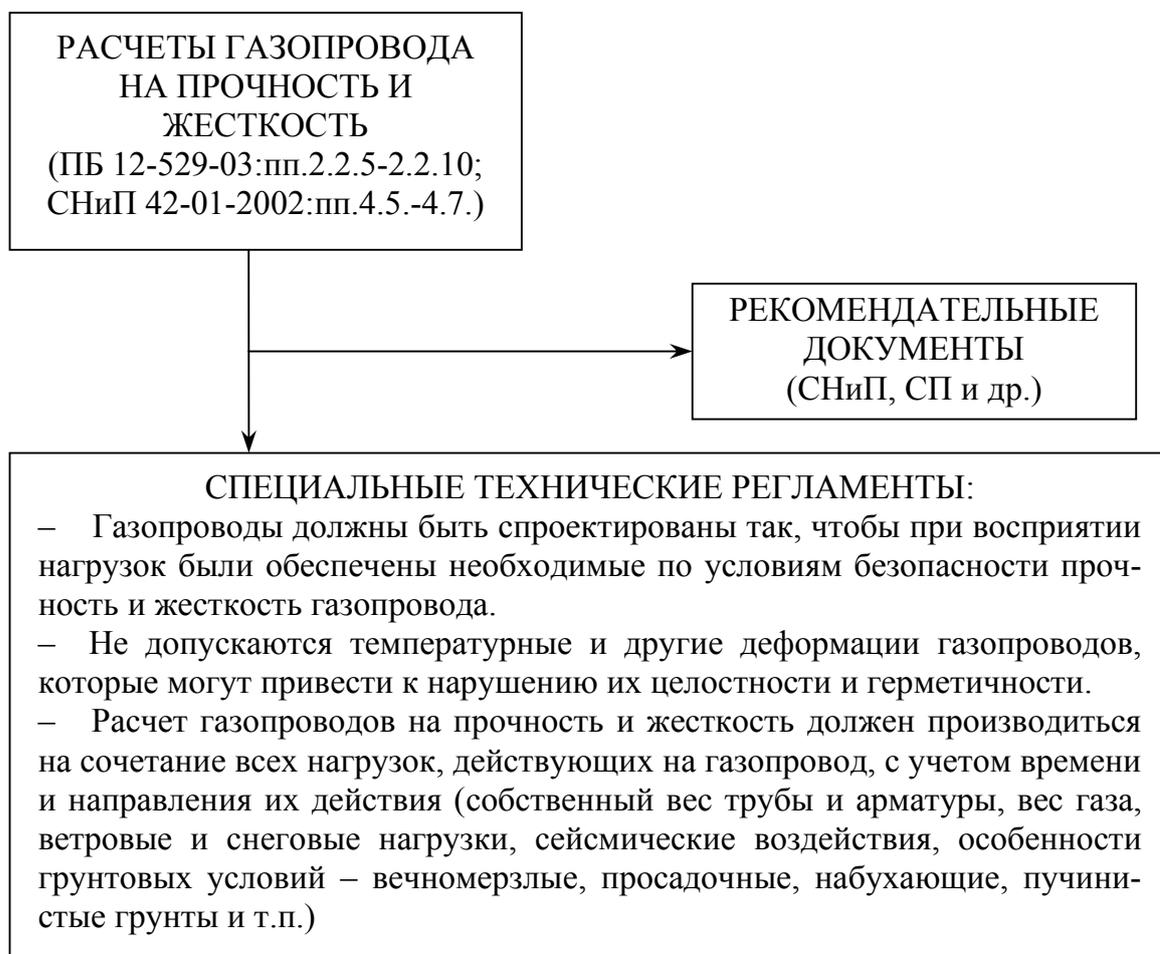


Рис. 1

Надземные газопроводы прокладываются как на отдельно стоящих опорах (низких и высоких), мачтах, по эстакадам с использованием мачт, очень часто по фасадам промышленных и жилых зданий (рис. 2 – 6).



Рис. 2



Рис. 3



Рис. 4



Рис. 5

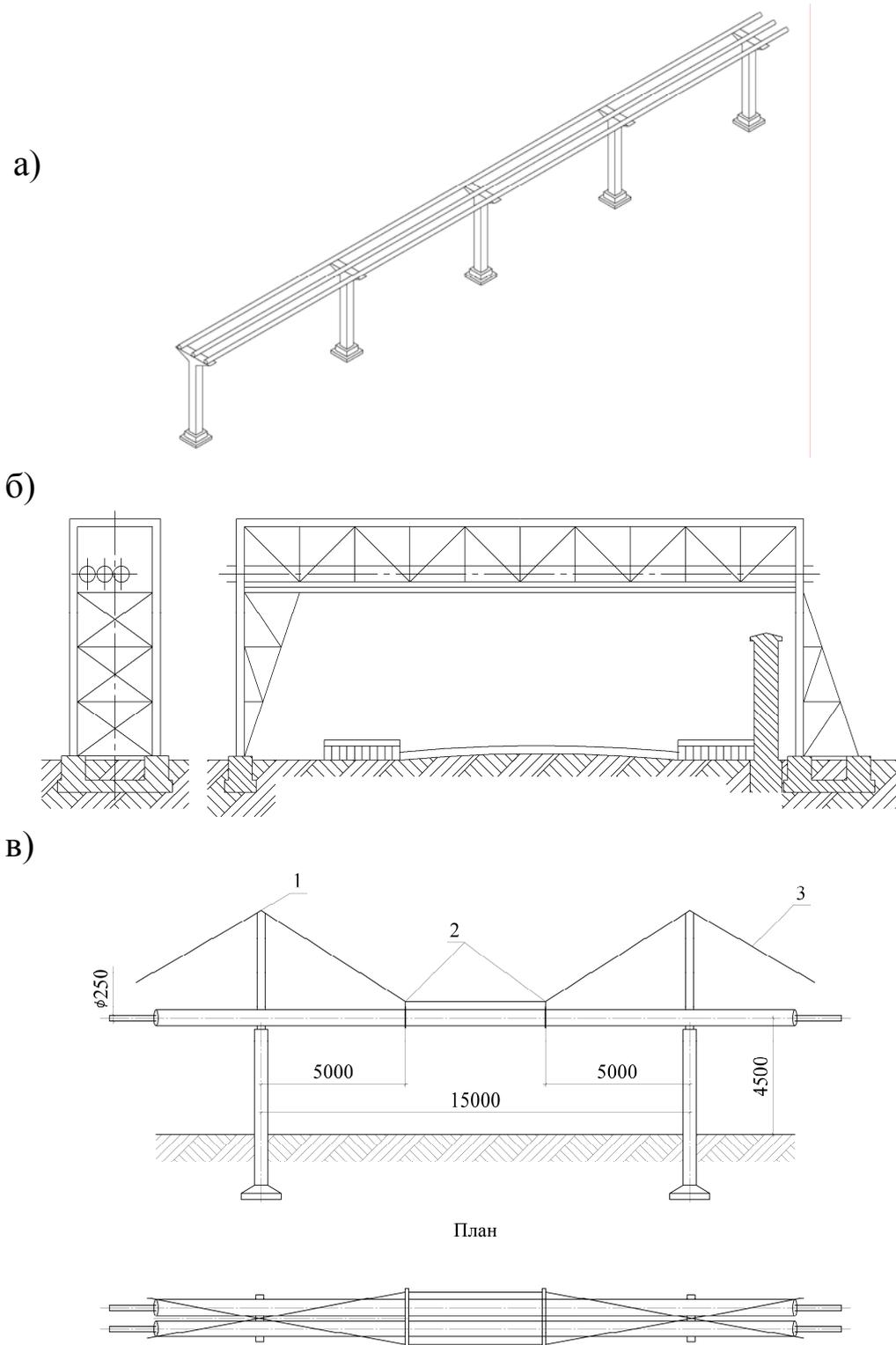


Рис. 6. Основные виды надземной прокладки газопроводов:
а – на отдельно стоящих опорах (мачтах); б – на эстакадах;
в – на подвесных (вантовых) конструкциях; 1 – металлическая вершина;
2 – подвесные опоры; 3 – тяги

Опоры выполняют, как правило, железобетонными или металлическими, крепления к стенам зданий – в виде металлических кронштейнов.

Прокладка газопроводов по кронштейнам является наиболее простой и применяется обычно при прокладке одной трубы. В настоящее время разработаны типовые конструкции кронштейнов, реже применяются отдельно стоящие опоры, выполненные с одной стойкой в виде Т-образной опоры и с двумя стойками или рамами в виде П-образной опоры. В практике для крепления надземных газопроводов используют и другие виды опор, по которым могут прокладываться и другие инженерные сети.

Опоры являются естественными деталями теплопровода. Они устанавливаются для восприятия усилий, возникающих в газопроводах, и передачи их на несущие конструкции или грунт. В зависимости от назначения их подразделяют на подвижные (свободные) и неподвижные (жесткие).

Подвижные опоры предназначены для восприятия весовых нагрузок газопровода и обеспечения свободного его перемещения вдоль оси газопровода при температурных деформациях (рис. 7).

В настоящее время применяются подвижные опоры следующих основных типов: скользящие, катковые (шариковые) и подвесные с жесткими и пружинными подвесками (см. рис. 7 и прил. 1).

В скользящих опорах происходит скольжение башмака (корпуса опоры), приваренного к трубопроводу, по металлической подкладке.

Наряду с подвижными опорами применяются опоры неподвижные. Неподвижные опоры предназначены для закрепления трубопровода в отдельных точках, разделения его на независимые по деформациям участки и для восприятия усилий, возникающих на этих участках, что устраняет возможность последовательного нарастания усилий и передачу их на оборудование и арматуру.

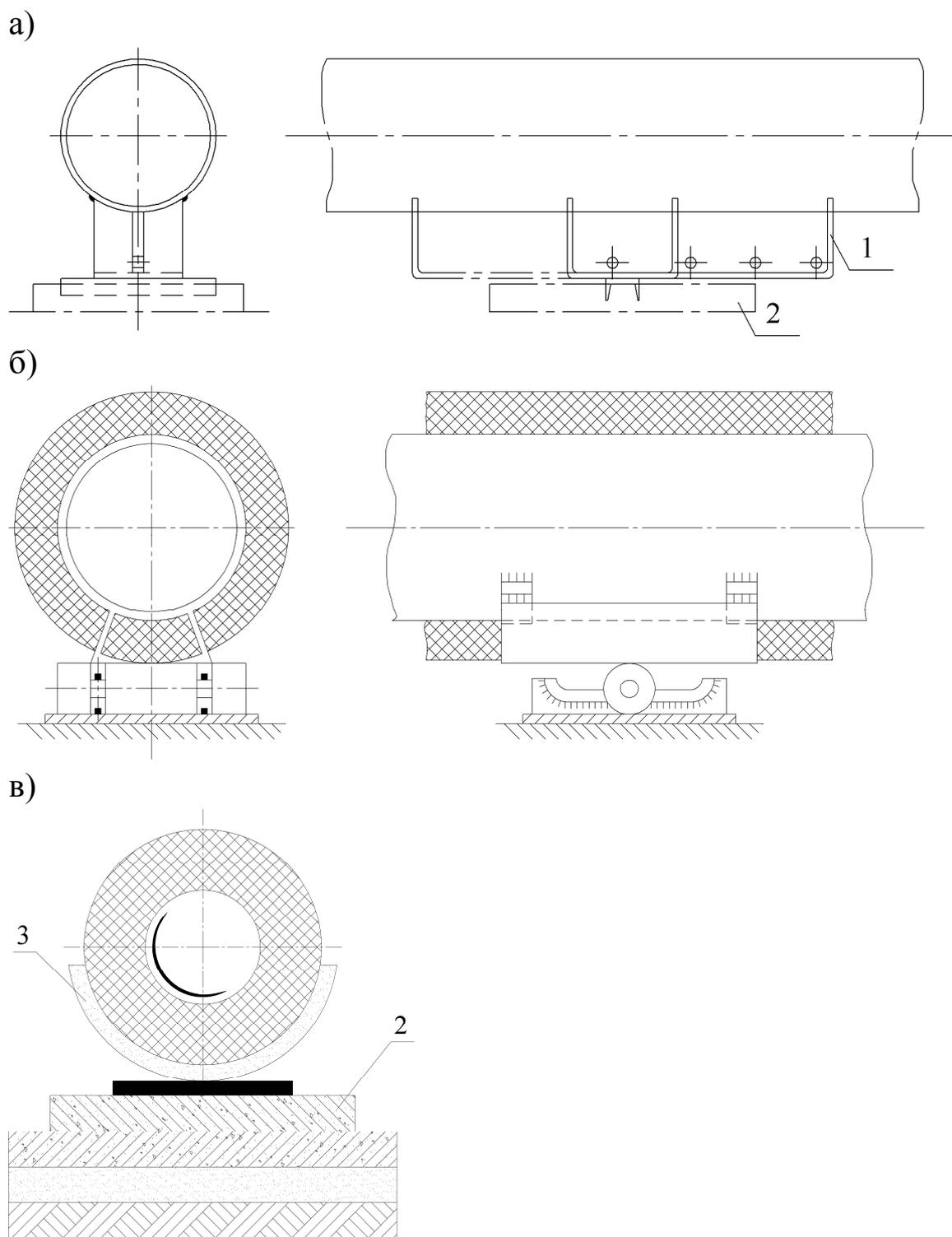


Рис. 7. Подвижные опоры: а – скользящая с приваренным башмаком; б – катковая; в – скользящая с приклеенным полуцилиндром; 1 – башмак; 2 – опорная подушка; 3 – опорный полуцилиндр

Стальные неподвижные опоры представляют собой обычно стальную несущую конструкцию (балку), располагаемую между упорами, приваренными к трубе. Несущая конструкция заземляется в строительные конструкции камер, приваривается к мачтам, эстакадам и др.

Горизонтальные реакции подвижных опор при перемещениях трубопровода в осевом и боковом направлениях обуславливаются силами трения, скольжения и качения в опорах и могут быть определены по формулам

$$Q_B \cdot \mu_{oc};$$

$$Q_B \cdot \mu_{\phi};$$

где Q_B – вертикальная нагрузка на опору; μ_{oc} и μ_{ϕ} – коэффициенты трения и скольжения или качения в опорах при перемещениях соответственно вдоль оси трубопровода и под углом к ней, составляющие в среднем при скольжении 0,3, при качении и подвеске 0,1. Такие опоры при составлении расчетных схем газопроводов моделируются шарнирно-подвижными и шарнирно-неподвижными связями (см. часть 2, задания 1-2) либо жесткими заделками (см. часть 2, задания 2-3).

Газопровод, лежащий на опорах, под действием нагрузок (см. рис. 1) прогибается, и в нем возникают напряжения, значения которых зависят и от расстояния между опорами (пролета). В связи с этим одной из основных задач расчета является определение максимально возможного пролета между опорами, при котором напряжения не превышают допустимых значений, а также прогибы не превышают величины допустимого прогиба между опорами. Учитывая, что в данном пособии разбирается расчет статически определимых стержневых систем, в предложенных задачах рассматриваются фрагменты многопролетных прямолинейных и пространственных трубопроводов (см. часть 2, задания 1-3). В этих задачах трубопроводы рассчитываются на прочность (максимальные напряжения не превышают допусти-

мых) и жесткость (наибольшие прогибы при этом также не превышают допустимых). В дальнейшем при изучении статически неопределимых систем прямолинейные трубопроводы в целом будут рассматриваться как многопролетные неразрезные балки, а пространственные трубопроводы – как статически неопределимые рамы.

Опыт расчетов показывает, что при определении максимально возможного пролета между опорами из условия жесткости обеспечивается коэффициент запаса прочности, равный примерно 2.

Величина прогиба трубопровода в середине пролета определяется по формуле

$$\gamma = \frac{q \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I},$$

где E – модуль упругости материала труб.

Часть 2

ЗАДАНИЯ, МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИХ ВЫПОЛНЕНИЮ И ПРИМЕР РАСЧЕТА СТАТИЧЕСКИ ОПРЕДЕЛИМЫХ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ

Задание 1

Для балки, выбранной в соответствии с вариантом по табл.1, требуется:

- 1) Определить реакции опор.
- 2) Построить эпюры поперечных сил Q_y и изгибающих моментов M_z .
- 3) Из условия прочности подобрать размеры поперечного сечения трубы (по ГОСТ 10704-91, ГОСТ 10705-80 “Трубы электросварные прямошовные” и из прил. 2).
- 4) Определить прогиб балки в середине пролета.
- 5) Из условия жесткости подобрать пролет l .
- 6) Проверить выполнение условия прочности.

Таблица 1

Номер варианта	Номер схемы по рис. 1	q , кН/м	l , м	a , м	b , м
1	1	0,40	6,00	–	–
2	2	0,40	6,00	3,00	–
3	3	0,40	6,00	–	2,00
4	4	0,40	6,00	2,50	3,50
5	1	0,50	2,00	–	–
6	2	0,50	2,25	1,00	–
7	3	0,50	2,50	–	1,00
8	4	0,50	2,75	1,00	1,00
9	1	0,60	3,00	–	–
10	2	0,60	3,25	2,00	–
11	3	0,60	3,50	–	2,00
12	4	0,60	3,75	2,00	2,00
13	1	0,30	4,00	–	–
14	2	0,30	4,20	2,10	–
15	3	0,30	4,50	–	2,25
16	4	0,30	4,80	2,40	2,00
17	1	0,70	5,00	–	–
18	2	0,70	5,25	2,50	–
19	3	0,70	5,50	–	2,50
20	4	0,70	5,80	2,50	3,20

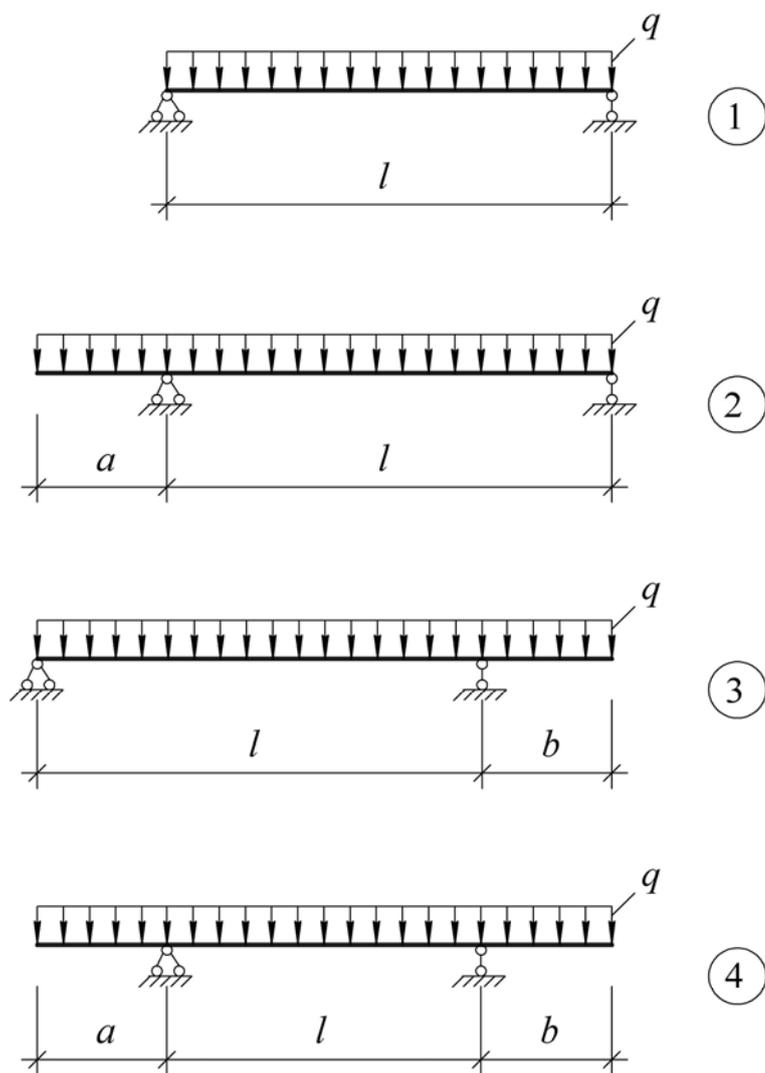


Рис. 1

Задание 2

Для рамы, выбранной в соответствии с вариантом по табл. 2, требуется:

- 1) Определить реакции опор.
- 2) Построить эпюры поперечных сил Q_y , изгибающих моментов M_z , продольных сил N .

3) Из условия прочности подобрать размеры поперечного сечения трубы (по ГОСТ 10704-91, ГОСТ 10705-80 “Трубы электросварные прямошовные” и из прил. 2).

- 4) Определить прогиб рамы посередине пролета.

Таблица 2

Цифра варианта	I	II			III	IV
	Номер схемы по рис. 2	l , м	h , м	h_1 , м	q , кН/м	F , кН
1	1	2,75	2,00	1,00	0,40	0,30
2	2	2,25	1,75	1,25	0,45	0,28
3	3	1,75	1,50	1,25	0,50	0,26
4	4	1,25	1,25	1,00	0,55	0,24
5	5	3,50	2,00	1,50	0,60	0,22
6	6	3,00	3,00	2,50	0,65	0,20
7	7	2,50	2,25	2,00	0,70	0,18
8	8	2,00	2,00	1,50	0,75	0,16
9	9	1,50	1,50	1,00	0,80	0,12
0	10	3,25	2,50	2,00	0,85	0,10

Задание 3

Для стержня с ломаной осью, выбранного в соответствии с вариантом по табл.3, требуется:

1) Построить эпюры всех внутренних усилий (продольных сил N , крутящих моментов M_x , изгибающих моментов M_z и M_y , поперечных сил Q_y и Q_z).

2) Из условия прочности подобрать размеры поперечного сечения трубы (по ГОСТ 10704-91, ГОСТ 10705-80 “Трубы электросварные прямошовные” и из прил. 2).

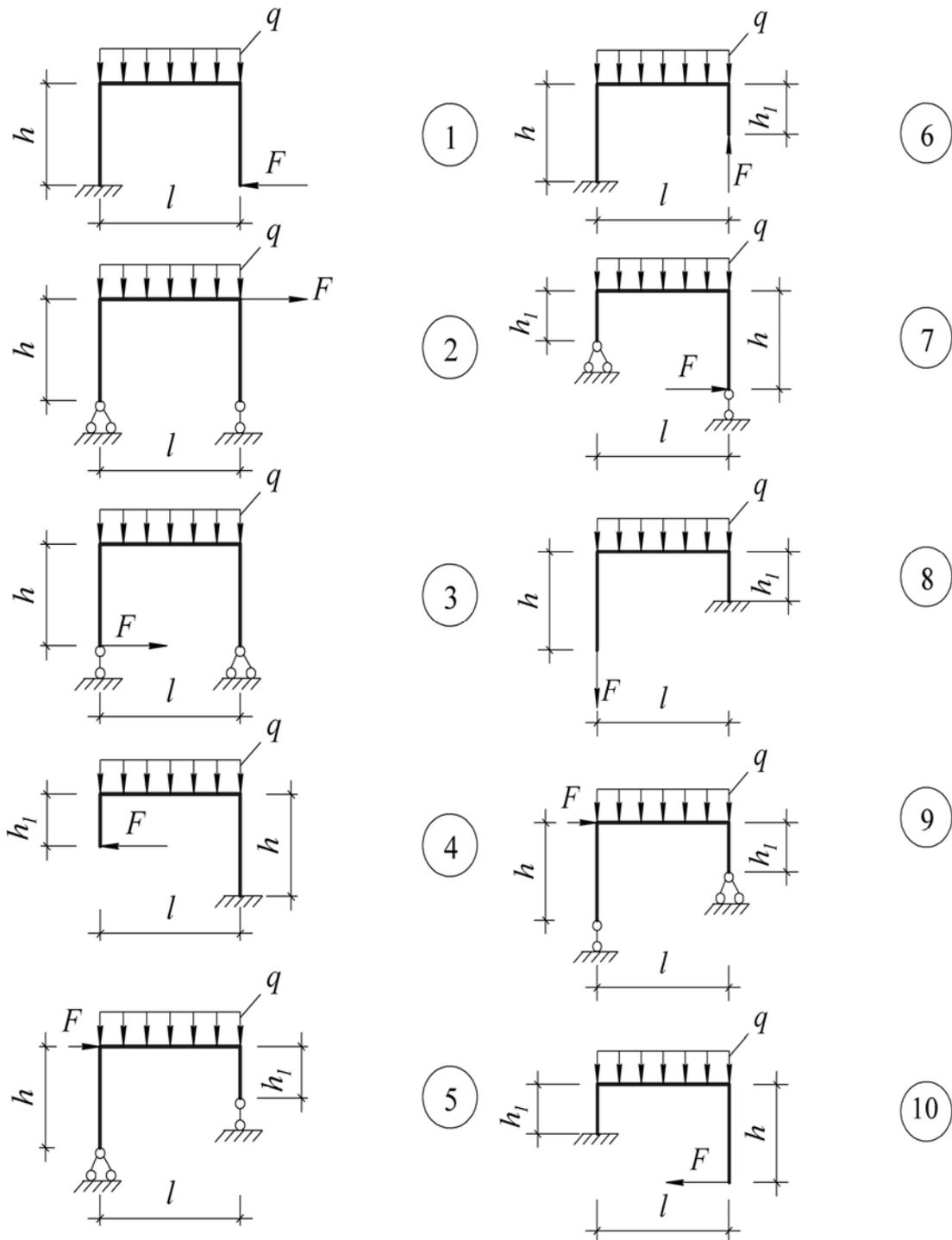


Рис. 2

Таблица 3

Цифра варианта	I	II			III	IV
	Номер схемы по рис. 3	$a, \text{ м}$	$b, \text{ м}$	$c, \text{ м}$	$q, \text{ кН/м}$	$F, \text{ кН}$
1	1	1,00	3,50	2,25	0,40	0,10
2	2	1,50	3,00	2,50	0,45	0,12
3	3	2,00	2,75	3,00	0,50	0,14
4	4	2,50	2,25	2,75	0,55	0,16
5	5	3,00	2,50	3,50	0,60	0,18
6	6	3,50	2,00	1,00	0,65	0,20
7	7	1,25	1,75	1,50	0,70	0,22
8	8	1,75	1,50	1,25	0,75	0,24
9	9	2,25	1,25	1,75	0,80	0,26
0	10	2,75	1,00	2,00	0,85	0,28

Пример

Рассмотрим балку (рис. 4).

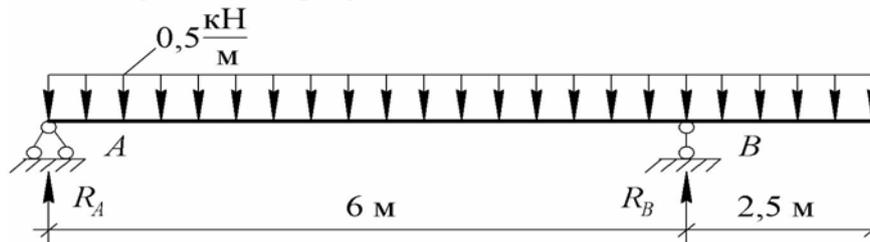


Рис. 4

Определим реакции опор R_A , R_B (рис. 4, 5):

$$\begin{aligned} \sum M_A &= 0; \\ 0,5(6 + 2,5) \frac{(6 + 2,5)}{2} - R_B \cdot 6 &= 0 \rightarrow \\ \rightarrow R_B &= \frac{0,5(6 + 2,5)(6 + 2,5)}{2 \cdot 6} = 3,01 \text{ кН}; \\ \sum M_B &= 0; \\ R_A \cdot 6 - 0,5(6 + 2,5)1,75 &= 0 \rightarrow \\ \rightarrow R_A &= \frac{0,5(6 + 2,5)1,75}{6} = 1,24 \text{ кН}. \end{aligned}$$

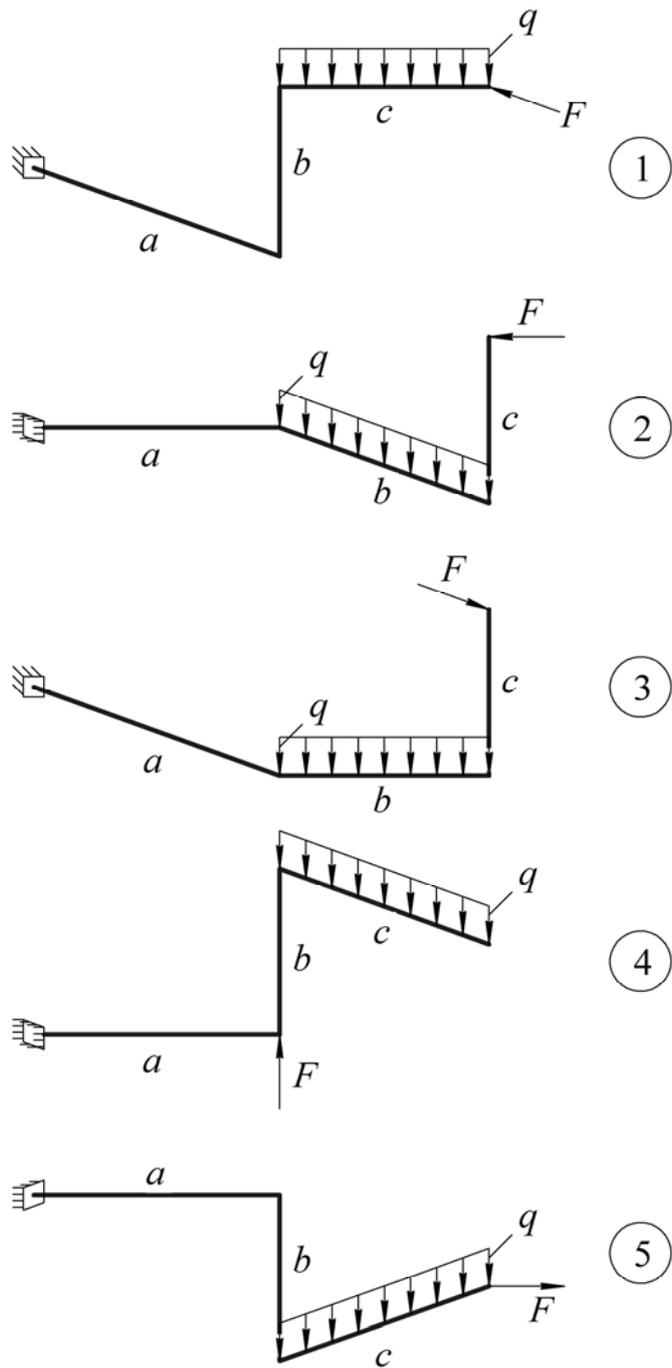


Рис. 3

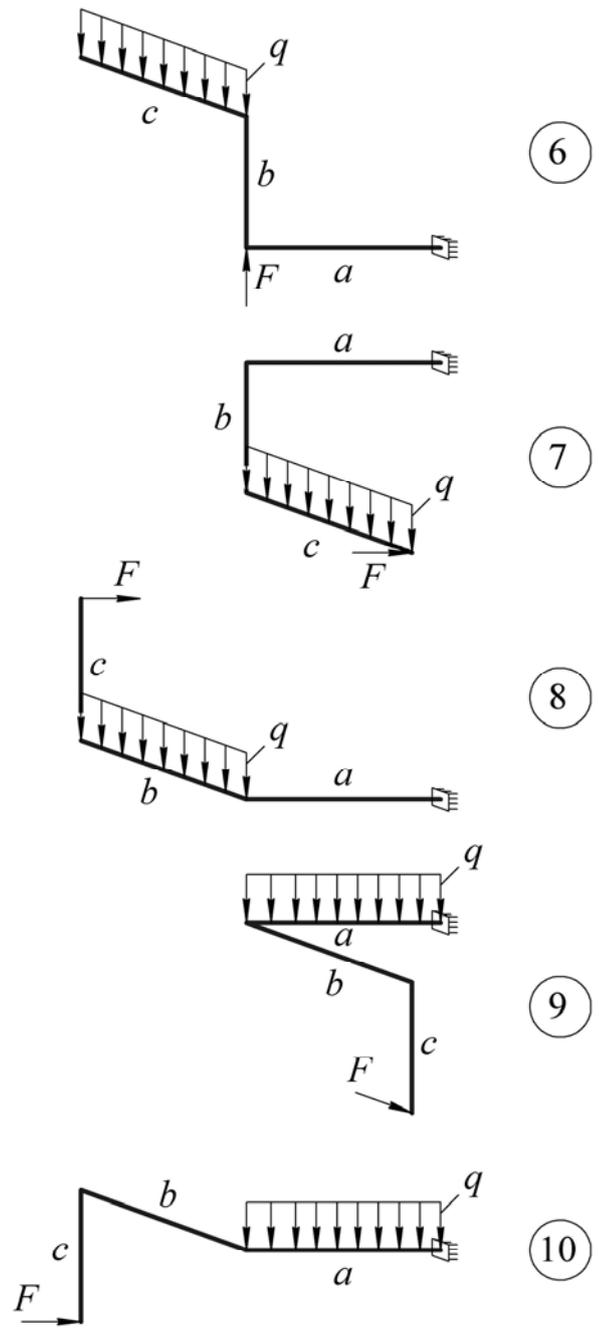


Рис. 3 (окончание)

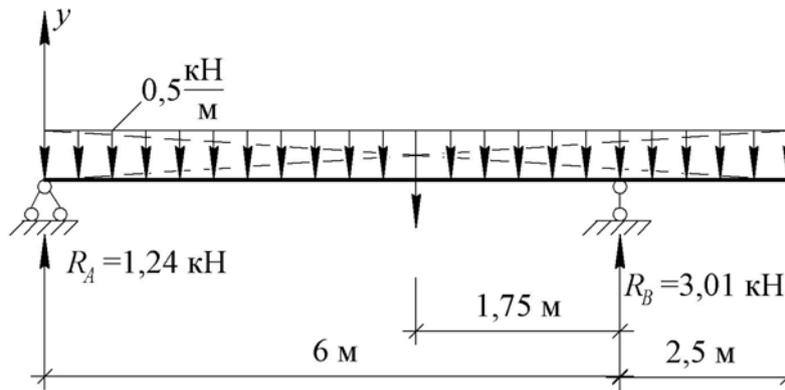


Рис. 5

Проверим реакции (см. рис. 5):

$$\sum y = 0;$$

$$1,24 + 3,01 - 0,5(6 + 2,5) = 0;$$

$$0 \equiv 0.$$

Построим эпюры внутренних усилий в балке: поперечных сил Q_y и изгибающих моментов M_z .

Используется метод сечений (рис. 6).

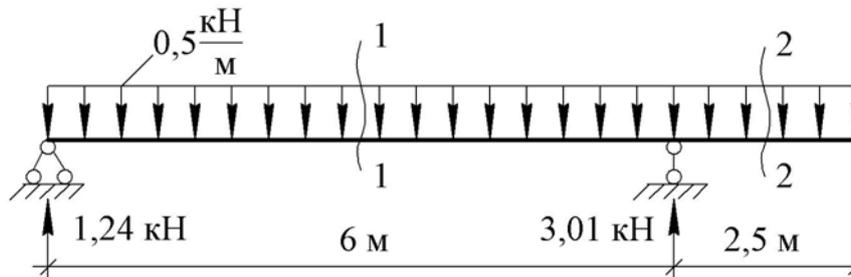


Рис. 6

Проводим сечение 1-1, рассмотрим левую отсеченную часть (рис. 7).

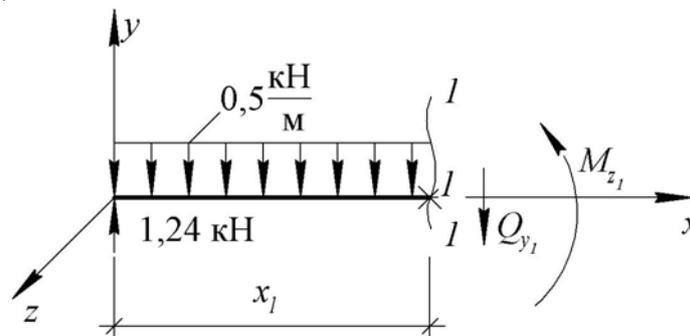


Рис. 7

Из условий равновесия левой отсеченной части определим Q_{y_1} и M_{z_1}

$$\sum y = 0;$$

$$1,24 - 0,5 \cdot x_1 - Q_{y_1} = 0 \rightarrow$$

$$\rightarrow Q_{y_1} = 1,24 - 0,5 \cdot x_1;$$

$$\text{при } x_1 = 0 \quad Q_{y_1} = 1,24 \text{ кН,}$$

$$\text{при } x_1 = 6 \text{ м } Q_{y_1} = -1,76 \text{ кН;}$$

$$\sum M_1 = 0$$

$$1,24 \cdot x_1 - 0,5 \cdot x_1 \frac{x_1}{2} - M_{z_1} = 0 \rightarrow$$

$$\rightarrow M_{z_1} = 1,24 \cdot x_1 - 0,25 \cdot x_1^2;$$

$$\text{при } x_1 = 0 \quad M_{z_1} = 0,$$

$$\text{при } x_1 = 3 \text{ м } M_{z_1} = 1,47 \text{ кН} \cdot \text{м,}$$

$$\text{при } x_1 = 6 \text{ м } M_{z_1} = -1,56 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

Представленные в виде графиков (эпюр), Q_{y_1} и M_{z_1} показаны на рис. 8.

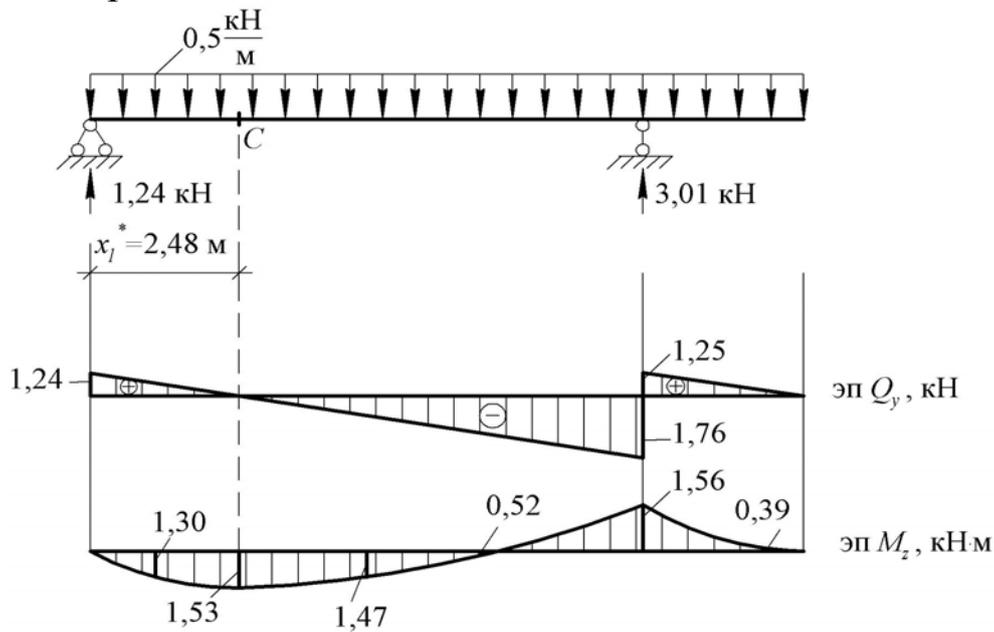


Рис. 8

В сечении C , где поперечная сила $Q_{y_1} = 0$, изгибающий момент M_{z_1} должен принимать экстремальное значение (в соответствии с теоремой Журавского $Q_y = \frac{dM_z}{dx}$). Найдем это экстремальное значение $M_{z_1}^{\max}$.

Сначала определим координату x_1^* этого сечения из условия

$$Q_{y_1} = 0;$$

$$1,24 - 0,5 \cdot x_1^* = 0 \rightarrow$$

$$\rightarrow x_1^* = \frac{1,24}{0,5} = 2,48 \text{ м.}$$

$$M_{z_1}^{\max} = 1,24 \cdot x_1^* - 0,25(x_1^*)^2 =$$

$$= 1,24 \cdot 2,48 - 0,25 \cdot 2,48^2 = 1,53 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

Для построения эпюр на втором участке проводим сечение 2-2, рассмотрим правую отсеченную часть (рис. 9).

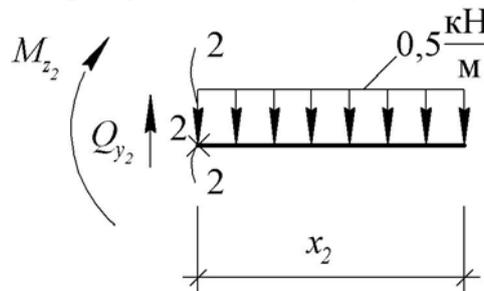


Рис. 9

$$\sum y = 0;$$

$$Q_{y_2} - 0,5 \cdot x_2 = 0 \rightarrow$$

$$\rightarrow Q_{y_2} = 0,5 \cdot x_2;$$

$$\text{при } x_2 = 0 \quad Q_{y_2} = 0,$$

$$\text{при } x_2 = 2,5 \text{ м} \quad Q_{y_2} = 1,25 \text{ кН};$$

$$\sum M_2 = 0$$

$$M_{z_2} + 0,5 \cdot x_2 \frac{x_2}{2} = 0 \rightarrow$$

$$\rightarrow M_{z_2} = -0,25 \cdot x_2^2;$$

при $x_2 = 0$ $M_{z_2} = 0,$

при $x_2 = 1,25$ м $M_{z_2} = -0,39$ кН·м,

при $x_2 = 2,5$ м $M_{z_2} = -1,56$ кН·м.

Подберем размер поперечного сечения балки (трубы) из условия прочности

$$\sigma_x^{\max} \leq R,$$

где σ_x^{\max} – наибольшее нормальное напряжение в поперечном сечении балки; R – расчетное сопротивление материала трубы.

$$\sigma_x^{\max} = \frac{M_z^{\max}}{W_z},$$

где M_z^{\max} – наибольший изгибающий момент в балке; W_z – осевой момент сопротивления сечения трубы.

Отсюда

$$W_z \geq \frac{M_z^{\max}}{R},$$

$$W_z \geq \frac{1,56 \text{ кН} \cdot \text{м}}{210\,000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2}},$$

$$W_z \geq 7,43 \text{ см}^3.$$

Осевой момент сопротивления сечения трубы

$$W_z = \frac{\pi \cdot R_H^3}{4} (1 - k^4),$$

где R_H – наружный радиус трубы; $k = \frac{R_B}{R_H}$ (R_B – внутренний радиус трубы).

Проверим трубу (см. прил. 2) диаметром 54 мм, толщиной стенки 3,54 мм ($R_H = 2,7$ см, $R_B = 2,34$ см, $k = \frac{2,35}{2,70} = 0,867$)

$$W_z = \frac{3,14 \cdot 2,7^3}{4} (1 - 0,867^4) = 6,73 \text{ см}^3;$$

$$6,73 \text{ см}^3 < 7,43 \text{ см}^3,$$

эта труба не проходит по прочности.

Проверим трубу большего диаметра, что увеличит осевой момент сопротивления диаметром 57 мм, толщиной стенки 3,74 мм ($R_H = 2,85$ см, $R_B = 2,48$ см, $k = \frac{2,48}{2,85} = 0,870$);

$$W_z = \frac{3,14 \cdot 2,85^3}{4} (1 - 0,870^4) = 7,86 \text{ см}^3;$$

$$7,86 \text{ см}^3 > 7,43 \text{ см}^3,$$

эта труба проходит по прочности, но с запасом 5,5 %.

Проверим трубу диаметром 57 мм меньшей толщины стенки (2,97 мм), что уменьшит осевой момент сопротивления ($R_H = 2,85$ см, $R_B = 2,55$ см, $k = \frac{2,55}{2,85} = 0,895$);

$$W_z = \frac{3,14 \cdot 2,85^3}{4} (1 - 0,895^4) = 6,48 \text{ см}^3;$$

$$6,48 \text{ см}^3 < 7,43 \text{ см}^3,$$

эта труба не проходит по прочности.

Останавливаемся на трубе диаметром 57 мм толщиной стенки 3,74 мм.

Определим прогиб f балки посередине пролета ($x = 3$ м).

Воспользуемся методом Мора. Сначала построим эпюру изгибающих моментов от единичного воздействия, соответствующего искомому смещению (рис. 10).

Эпюра строится также методом сечений подобно предыдущим.
 Результат показан на рис. 11, реакции опор – на рис. 10.

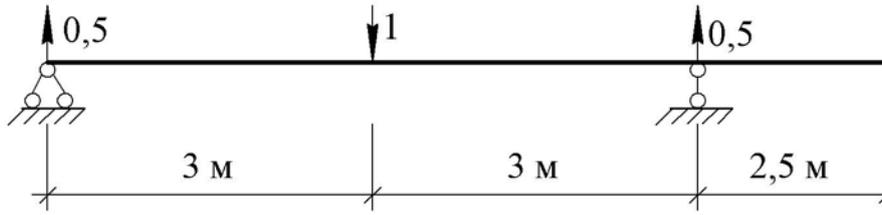


Рис. 10

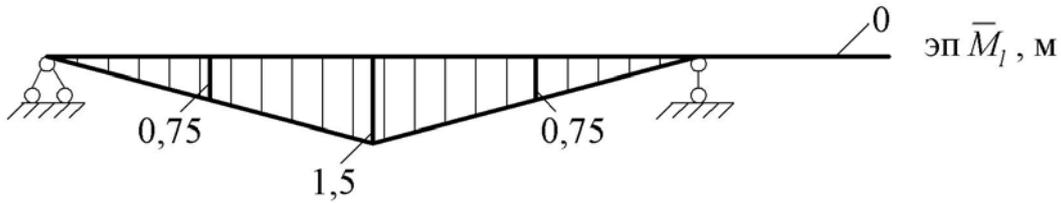


Рис. 11

Затем по формуле трапеций находим искомый прогиб

$$f = \frac{3}{6EI} (0 \cdot 0 + 4 \cdot 0,75 \cdot 1,3 + 1,5 \cdot 1,47) + \frac{3}{6EI} (1,5 \cdot 1,47 + 4 \cdot 0,75 \cdot 0,52 + 0 \cdot 1,56) = \frac{4,93}{EI}.$$

Необходимые ординаты эп M_z в серединах участков (см. рис. 8) найдены, как и остальные моменты

$$M_{z_1}(x = 1,5\text{м}) = 1,24 \cdot 1,5 - 0,25 \cdot 1,5^2 = 1,30 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_{z_1}(x = 4,5\text{м}) = 1,24 \cdot 4,5 - 0,25 \cdot 4,5^2 = 0,52 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Для получения численного значения прогиба подставляем значения модуля продольной упругости материала трубы

$$E = 2 \cdot 10^8 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \text{ и осевого момента инерции сечения трубы}$$

$$I = \frac{\pi \cdot R_H^4}{4} (1 - k^4) = \frac{3,14 \cdot 2,85^4}{4} (1 - 0,87^4) = 22,4 \text{ см}^4 = 22,4 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4.$$

$$f = \frac{4,93}{EI} = \frac{4,93}{2 \cdot 10^8 \cdot 22,4 \cdot 10^{-8}} = 0,110 \text{ м} = 11 \text{ см}.$$

Проверим выполнение условия жесткости

$$f \leq f_{\text{доп}},$$

где $f_{\text{доп}}$ – предельный допустимый прогиб.

Примем $f_{\text{доп}} = \frac{l}{150}$ (см. библиогр.).

Тогда для нашей балки

$$f_{\text{доп}} = \frac{600}{150} = 4 \text{ см.}$$

$$11 \text{ см} > 4 \text{ см,}$$

то есть условие жесткости не выполняется.

Повысить жесткость балки можно увеличением размеров поперечного сечения (условие прочности в таком случае будет выполняться с запасом) или уменьшением пролета балки (условие прочности в таком случае необходимо будет дополнительно проверить).

Уменьшим пролет балки. Выражение для прогиба посередине пролета балки (рис. 12) можно получить в общем виде

$$f = \frac{5}{96} \cdot \frac{q \cdot l^4 (1 - 2,4\alpha^2 - 2,4\beta^2)}{E \cdot \pi \cdot R_{\text{н}}^4 (1 - k^4)}$$

(использован метод Мора).

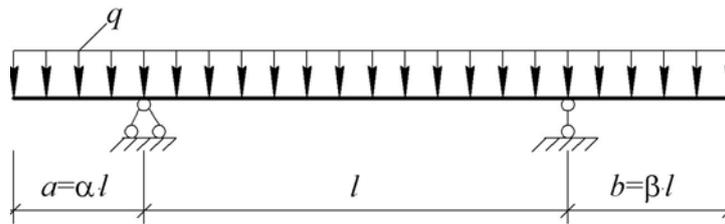


Рис. 12

Тогда из условия жесткости

$$\frac{5}{96} \cdot \frac{q \cdot l^4 (1 - 2,4\alpha^2 - 2,4\beta^2)}{E \cdot \pi \cdot R_{\text{н}}^4 (1 - k^4)} \leq f_{\text{доп}}$$

можно выразить пролет l

$$l \leq 2,786 \cdot R_{\text{н}} \sqrt[4]{\frac{f_{\text{доп}} \cdot E (1 - k^4)}{q (1 - 2,4\alpha^2 - 2,4\beta^2)}}.$$

Вычислим пролет l , удовлетворяющий условию жесткости, для нашей задачи

$$l \leq 2,786(2,85 \cdot 10^{-2})^4 \sqrt{\frac{4 \cdot 10^{-2} \cdot 2 \cdot 10^8 (1 - 0,87^4)}{0,5 \cdot (1 - 2,4 \cdot 0^2 - 2,4 \cdot 0,417^2)}};$$

$$l \leq 4,64 \text{ м.}$$

Примем пролет $l = 4,6 \text{ м.}$

Проверим условие прочности, для чего заново построим эпюры внутренних усилий в балке (рис. 13).

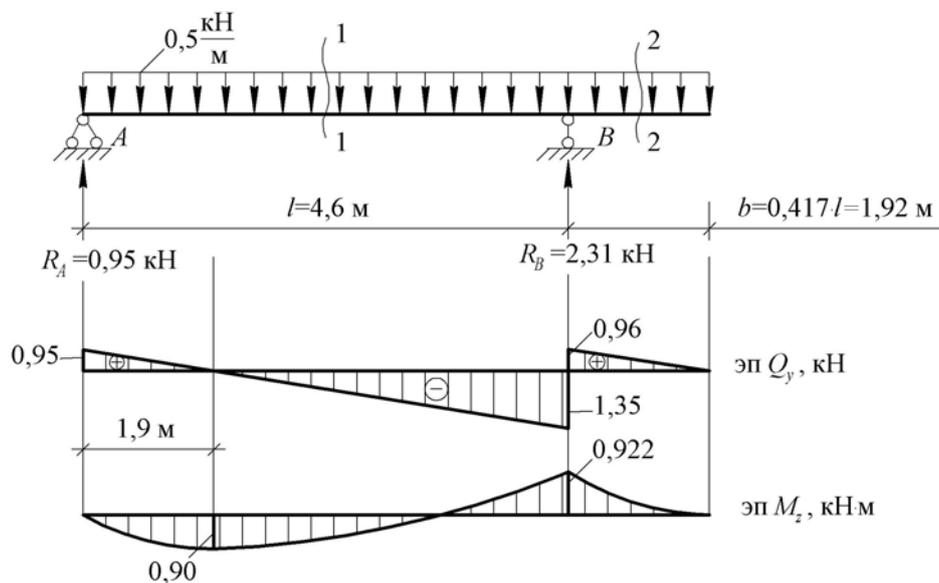


Рис. 13

Наибольший изгибающий момент $M_z^{\max} = 0,90 \text{ кН} \cdot \text{м}$ меньше, чем был ранее ($M_z^{\max} = 1,53 \text{ кН} \cdot \text{м}$, см. рис. 8), следовательно, условие прочности будет удовлетворяться с запасом. Вычислим этот запас. Наибольшее напряжение в балке

$$\sigma_x^{\max} = \frac{0,90}{7,86 \cdot 10^{-6}} = 115 \text{ 000 кПа.}$$

Допускаемое напряжение

$$R = 210 \text{ 000 кПа.}$$

Запас прочности

$$\frac{R}{\sigma_x^{\max}} = \frac{210 \text{ 000}}{115 \text{ 000}} = 1,83 \text{ почти в два раза.}$$

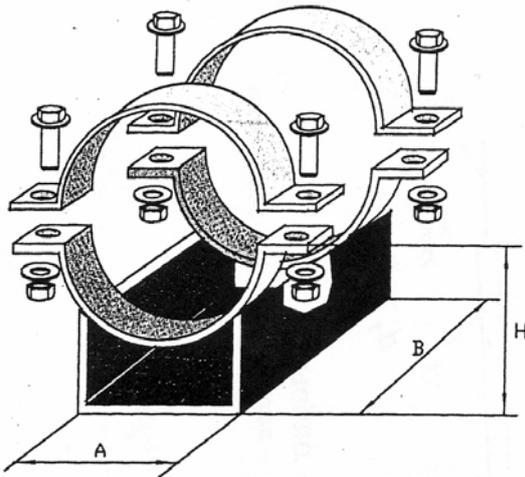
Опора скользящая

Код изделия

ОпСкл – D

Пример кодировки:

ОпСкл - 200



Код изделия	Диаметр стальной трубы d , мм	Диаметр оцинкованной оболочки D , мм	A, мм	B, мм	H, мм	Приблизительная масса опоры, кг
ОпСкл – 32	32	140	120	250	170	7,0
ОпСкл – 38	38	140	120	250	170	7,0
ОпСкл – 45	45	140	120	250	170	7,0
ОпСкл – 57	57	140	120	250	170	7,0
ОпСкл – 76	76	160	120	250	180	7,5
ОпСкл – 89	89	180	180	300	190	7,5
ОпСкл – 108	108	200	180	300	200	8,5
ОпСкл – 114	114	200	180	300	200	8,5
ОпСкл – 133	133	225	180	300	215	8,5
ОпСкл – 159	159	250	180	340	225	10,0
ОпСкл – 168	168	250	180	340	225	10,0
ОпСкл – 219	219	315	280	340	260	15,0
ОпСкл – 273	273	400	280	340	300	19,0
ОпСкл – 325	325	450	380	340	325	25,0
ОпСкл – 426	426	560	380	340	380	31,0

Приложение 2

Трубы стальные электросварные прямошовные.

Сортамент. ГОСТ 10704-91

Размер, мм	Масса 1 п.м, кг						
20x1,0	0,469	24x2,0	1,09	28x2,0	1,28	33,7x1,5	1,19
20x1,2	0,556	24x2,2	1,18	28x2,2	1,40	33,7x1,6	1,27
20x1,4	0,642	24x2,5	1,33	28x2,5	1,57	33,7x1,8	1,42
20x1,5	0,684	25x1,0	0,592	30x1,0	0,715	33,7x2,0	1,56
20x1,6	0,726	25x1,2	0,704	30x1,2	0,852	33,7x2,2	1,71
20x1,8	0,808	25x1,4	0,815	30x1,4	0,987	33,7x2,5	1,92
20x2,0	0,888	25x1,5	0,869	30x1,5	1,05	33,7x2,8	2,13
21,3x1,0	0,501	25x1,6	0,923	30x1,6	1,12	33,7x3,0	2,27
21,3x1,2	0,595	25x1,8	1,03	30x1,8	1,25	35x1,2	1,00
21,3x1,4	0,687	25x2,0	1,13	30x2,0	1,38	35x1,4	1,16
21,3x1,5	0,732	25x2,2	1,24	30x2,2	1,51	35x1,5	1,24
21,3x1,6	0,777	25x2,5	1,39	30x2,5	1,70	35x1,6	1,32
21,3x1,8	0,866	26x1,0	0,617	32x1,0	0,765	35x1,8	1,47
21,3x2,0	0,952	26x1,2	0,734	32x1,2	0,911	35x2,0	1,63
22x1,0	0,518	26x1,4	0,849	32x1,4	1,06	35x2,2	1,78
22x1,2	0,616	26x1,5	0,906	32x1,5	1,13	35x2,5	2,00
22x1,4	0,711	26x1,6	0,963	32x1,6	1,20	35x2,8	2,22
22x1,5	0,758	26x1,8	1,07	32x1,8	1,34	35x3,0	2,37
22x1,6	0,805	26x2,0	1,18	32x2,0	1,48	36x1,2	1,03
22x1,8	0,897	26x2,2	1,29	32x2,2	1,62	36x1,4	1,19
22x2,0	0,986	26x2,5	1,45	32x2,5	1,82	36x1,5	1,28
23x1,0	0,543	27x1,0	0,641	32x2,8	2,02	36x1,6	1,36
23x1,2	0,645	27x1,2	0,764	32x3,0	2,15	36x1,8	1,52
23x1,4	0,746	27x1,4	0,884	33x1,0	0,789	36x2,0	1,68
23x1,5	0,795	27x1,5	0,943	33x1,2	0,941	36x2,2	1,83
23x1,6	0,844	27x1,6	1,00	33x1,4	1,09	36x2,5	2,07
23x1,8	0,941	27x1,8	1,12	33x1,5	1,17	36x2,8	2,29
23x2,0	1,04	27x2,0	1,23	33x1,6	1,24	36x3,0	2,44
23x2,2	1,13	27x2,2	1,35	33x1,8	1,38	38x1,2	1,09
23x2,5	1,26	27x2,5	1,51	33x2,0	1,53	38x1,4	1,26
24x1,0	0,567	28x1,0	0,666	33x2,2	1,67	38x1,5	1,35
24x1,2	0,675	28x1,2	0,793	33x2,5	1,88	38x1,6	1,44
24x1,4	0,780	28x1,4	0,918	33x2,8	2,09	38x1,8	1,61
24x1,5	0,832	28x1,5	0,980	33x3,0	2,22	38x2,0	1,78
24x1,6	0,884	28x1,6	1,04	33,7x1,2	0,962	38x2,2	1,94
24x1,8	0,985	28x1,8	1,16	33,7x1,4	1,12	38x2,5	2,19

Продолжение прил. 2

Размер, мм	Масса 1 п.м, кг						
38x2,8	2,43	45x1,5	1,61	51x2,0	2,42	57x2,2	2,97
38x3,0	2,59	45x1,6	1,71	51x2,2	2,65	57x2,5	3,36
40x1,2	1,15	45x1,8	1,92	51x2,5	2,99	57x2,8	3,74
40x1,4	1,33	45x2,0	2,12	51x2,8	3,33	57x3,0	4,00
40x1,5	1,42	45x2,2	2,32	51x3,0	3,55	57x3,2	4,25
40x1,6	1,52	45x2,5	2,62	51x3,2	3,77	57x3,5	4,62
40x1,8	1,70	45x2,8	2,91	51x3,5	4,10	60x1,4	2,02
40x2,0	1,87	45x3,0	3,11	53x1,4	1,78	60x1,5	2,16
40x2,2	2,05	48x1,4	1,61	53x1,5	1,91	60x1,6	2,30
40x2,5	2,31	48x1,5	1,72	53x1,6	2,03	60x1,8	2,58
40x2,8	2,57	48x1,6	1,83	53x1,8	2,27	60x2,0	2,86
40x3,0	2,74	48x1,8	2,05	53x2,0	2,52	60x2,2	3,14
42x1,2	1,21	48x2,0	2,27	53x2,2	2,76	60x2,5	3,55
42x1,4	1,40	48x2,2	2,48	53x2,5	3,11	60x2,8	3,95
42x1,5	1,50	48x2,5	2,81	53x2,8	3,47	60x3,0	4,22
42x1,6	1,59	48x2,8	3,12	53x3,0	3,70	60x3,2	4,48
42x1,8	1,78	48x3,0	3,33	53x3,2	3,93	60x3,5	4,88
42x2,0	1,97	48x3,2	3,54	53x3,5	4,27	60x3,8	5,27
42x2,2	2,16	48x3,5	3,84	54x1,4	1,82	63,5x1,4	2,14
42x2,5	2,44	48,3x1,4	1,62	54x1,5	1,94	63,5x1,5	2,29
42x2,8	2,71	48,3x1,5	1,73	54x1,6	2,07	63,5x1,6	2,44
42x3,0	2,89	48,3x1,6	1,84	54x1,8	2,32	63,5x1,8	2,74
44,5x1,2	1,28	48,3x1,8	2,06	54x2,0	2,56	63,5x2,0	3,03
44,5x1,4	1,49	48,3x2,0	2,28	54x2,2	2,81	63,5x2,2	3,33
44,5x1,5	1,59	48,3x2,2	2,50	54x2,5	3,18	63,5x2,5	3,76
44,5x1,6	1,69	48,3x2,5	2,82	54x2,8	3,54	63,5x2,8	4,19
44,5x1,8	1,90	48,3x2,8	3,14	54x3,0	3,77	63,5x3,0	4,48
44,5x2,0	2,10	48,3x3,0	3,35	54x3,2	4,01	63,5x3,2	4,76
44,5x2,2	2,29	48,3x3,2	3,56	54x3,5	4,36	63,5x3,5	5,18
44,5x2,5	2,59	48,3x3,5	3,87	57x1,4	1,92	63,5x3,8	5,59
44,5x2,8	2,88	51x1,4	1,71	57x1,5	2,05	70x1,4	2,37
44,5x3,0	3,07	51x1,5	1,83	57x1,6	2,19	70x1,5	2,53
45x1,2	1,30	51x1,6	1,95	57x1,8	2,45	70x1,6	2,70
45x1,4	1,51	51x1,8	2,18	57x2,0	2,71	70x1,8	3,03

Продолжение прил. 2

Размер, мм	Масса 1 п.м, кг						
70x2,0	3,35	83x3,0	5,92	102x3,2	7,80	127x3,0	9,17
70x2,2	3,68	83x3,2	6,30	102x3,5	8,50	127x3,2	9,77
70x2,5	4,16	83x3,5	6,86	102x3,8	9,20	127x3,5	10,66
70x2,8	4,64	83x3,8	7,42	102x4,0	9,67	127x3,8	11,55
70x3,0	4,96	83x4,0	7,79	102x4,5	10,82	127x4,0	12,13
70x3,2	5,27	83x4,5	8,71	102x5,0	11,96	127x4,5	13,59
70x3,5	5,74	83x5,0	9,62	102x5,5	13,09	127x5,0	15,04
70x3,8	6,20	83x5,5	10,51	108x1,8	4,71	127x5,5	16,48
70x4,0	6,51	88x1,6	3,21	108x2,0	5,23	133x1,8	5,82
73x1,4	2,47	88x1,8	3,60	108x2,2	5,74	133x2,0	6,46
73x1,5	2,64	88x2,0	4,00	108x2,5	6,50	133x2,2	7,10
73x1,6	2,82	88x2,2	4,38	108x2,8	7,26	133x2,5	8,05
73x1,8	3,16	88x2,5	4,96	108x3,0	7,77	133x2,8	8,99
73x2,0	3,50	88x2,8	5,54	108x3,2	8,27	133x3,0	9,62
73x2,2	3,84	89x1,6	3,45	108x3,5	9,02	133x3,2	10,24
73x2,5	4,35	89x1,8	3,87	108x3,8	9,76	133x3,5	11,18
73x2,8	4,85	89x2,0	4,29	108x4,0	10,26	133x3,8	12,11
73x3,0	5,18	89x2,2	4,71	108x4,5	11,49	133x4,0	12,73
73x3,2	5,51	89x2,5	5,33	108x5,0	12,70	133x4,5	14,26
73x3,5	6,00	89x2,8	5,95	108x5,5	13,90	133x5,0	15,78
73x3,8	6,48	89x3,0	6,36	114x1,8	4,98	133x5,5	17,29
73x4,0	6,81	89x3,2	6,77	114x2,0	5,52	140x1,8	6,13
76x1,4	2,58	89x3,5	7,38	114x2,2	6,07	140x2,0	6,81
76x1,5	2,76	89x3,8	7,98	114x2,5	6,87	140x2,2	7,48
76x1,6	2,94	89x4,0	8,38	114x2,8	7,68	140x2,5	8,48
76x1,8	3,29	89x4,5	9,38	114x3,0	8,21	140x2,8	9,47
76x2,0	3,65	89x5,0	10,36	114x3,2	8,74	140x3,0	10,14
76x2,2	4,00	89x5,5	11,33	114x3,5	9,54	140x3,2	10,80
76x2,5	4,53	95x2,0	4,59	114x3,8	10,33	140x3,5	11,78
76x2,8	5,05	95x2,5	5,70	114x4,0	10,85	140x3,8	12,76
76x3,0	5,40	95x3,2	7,24	114x4,5	12,15	140x4,0	13,42
76x3,2	5,75	95x5,0	11,10	114x5,0	13,44	140x4,5	15,04
76x3,5	6,26	102x1,8	4,45	114x5,5	14,72	140x5,0	16,65
76x3,8	6,26	102x2,0	4,93	127x1,8	5,56	140x5,5	18,24
76x4,0	7,10	102x2,2	5,41	127x2,0	6,17	152x1,8	6,67
76x4,5	7,93	102x2,5	6,13	127x2,2	6,77	152x2,0	7,40
76x5,0	8,75	102x2,8	6,85	127x2,5	7,68	152x2,2	8,13
76x5,5	9,56	102x3,0	7,32	127x2,8	8,58	152x2,5	9,22

Продолжение прил. 2

Размер, в мм	Масса 1 п.м, в кг						
152x2,8	10,30	168x6,0	23,97	219x3,0	15,98	325x6,0	47,20
152x3,0	11,02	168x7,0	27,79	219x3,2	17,03	325x7,0	54,90
152x3,2	11,74	168x8,0	31,57	219x3,5	18,60	325x8,0	62,54
152x3,5	12,82	177,8x1,8	7,81	219x3,8	20,17	325x9,0	70,14
152x3,8	13,89	177,8x2,0	8,67	219x4,0	21,21	355,6x4,0	34,68
152x4,0	14,60	177,8x2,2	9,53	219x4,5	23,80	355,6x4,5	38,96
152x4,5	16,37	177,8x2,5	10,81	219x5,0	26,39	355,6x5,0	43,23
152x5,0	18,13	177,8x2,8	12,08	219x5,5	28,96	355,6x5,5	47,49
152x5,5	19,87	177,8x3,0	12,93	219x6,0	31,52	355,6x6,0	51,73
159x1,8	6,98	177,8x3,2	13,78	219x7,0	36,60	355,6x7,0	60,18
159x2,0	7,74	177,8x3,5	15,04	219x8,0	41,63	355,6x8,0	68,58
159x2,2	8,51	177,8x3,8	16,31	219x9,0	46,61	355,6x9,0	76,93
159x2,5	9,65	177,8x4,0	17,14	244,5x3,0	17,87	355,6x10	85,23
159x2,8	10,79	177,8x4,5	19,23	244,5x3,2	19,04	377x4,0	36,79
159x3,0	11,54	177,8x5,0	21,31	244,5x3,5	20,80	377x4,5	41,34
159x3,2	12,30	177,8x5,5	23,37	244,5x3,8	22,56	377x5,0	45,87
159x3,5	13,42	177,8x6,0	25,42	244,5x4,0	23,72	377x5,5	50,39
159x3,8	14,52	177,8x7,0	29,49	244,5x4,5	26,63	377x6,0	54,90
159x4,0	15,29	177,8x8,0	33,50	244,5x5,0	29,53	377x7,0	63,87
159x4,5	17,15	180x4,0	17,36	244,5x5,5	32,42	377x8,0	72,80
159x5,0	18,99	180x5,0	21,58	244,5x6,0	35,42	377x9,0	81,68
159x5,5	20,82	193,7x2,0	9,46	244,5x7,0	41,00	377x10	90,51
159x6,0	22,64	193,7x2,2	10,39	244,5x8,0	46,66	406,4x4,0	39,70
159x7,0	26,24	193,7x2,5	11,79	244,5x9,0	52,27	406,4x4,5	44,60
159x8,0	26,24	193,7x2,8	13,18	273x3,5	23,26	406,4x5,0	49,50
168x1,8	7,38	193,7x3,0	14,11	273x3,8	25,23	406,4x5,5	54,38
168x2,0	8,19	193,7x3,2	15,03	273x4,0	26,54	406,4x6,0	59,25
168x2,2	9,00	193,7x3,5	16,42	273x4,5	29,80	406,4x7,0	68,95
168x2,5	10,20	193,7x3,8	17,80	273x5,0	23,05	406,4x8,0	78,60
168x2,8	11,41	193,7x4,0	18,71	273x5,5	36,28	406,4x9,0	88,20
168x3,0	12,21	193,7x4,5	21,00	273x6,0	39,51	406,4x10	97,76
168x3,2	13,01	193,7x5,0	23,27	273x7,0	45,92	406,4x11	107,26
168x3,5	14,20	193,7x5,5	25,53	273x8,0	52,28	406,4x12	116,72
168x3,8	15,39	193,7x6,0	27,77	273x9,0	58,60	426x4,0	41,63
168x4,0	16,18	193,7x7,0	32,23	325x4,0	31,67	426x4,5	46,78
168x4,5	18,14	193,7x8,0	36,64	325x4,5	35,57	426x5,0	51,91
168x5,0	20,10	219x2,5	13,35	325x5,0	39,46	426x5,5	57,04
168x5,5	22,04	219x2,8	14,93	325x5,5	43,34	426x6,0	62,15

Продолжение прил. 2

Размер, мм	Масса 1 п.м, кг						
426x7,0	72,33	630x9,0	137,83	820x9,0	180,00	1020x10	249,08
426x8,0	82,47	630x10	152,90	820x10	199,76	1020x11	273,72
426x9,0	92,55	630x11	167,92	820x11	219,46	1020x12	298,31
426x10	102,59	630x12	182,89	820x12	239,12	1020x13	322,84
426x11	112,58	630x13	197,81	820x13	258,72	1020x14	347,33
426x12	122,52	630x14	212,68	820x14	278,28	1020x16	396,16
478x5,0	58,32	630x16	242,27	820x16	317,25	1020x17	420,50
478x5,5	64,09	630x17	257,00	820x17	336,65	1020x17,5	432,65
478x6,0	69,84	630x17,5	264,34	820x17,5	346,34	1020x18	444,79
478x7,0	81,31	630x18	271,67	820x18	356,01	1020x19	469,04
478x8,0	92,73	630x19	286,30	820x19	375,32	1020x20	493,23
478x9,0	104,10	630x20	300,87	820x20	394,58	1020x21	517,37
478x10	115,42	720x7,0	123,09	820x21	413,79	1020x22	541,47
478x11	126,69	720x8,0	140,47	820x22	432,96	1020x23	565,51
478x12	137,91	720x9,0	157,81	820x23	452,07	1020x24	589,51
530x5,0	64,74	720x10	175,10	820x24	471,13	1020x25	613,45
530x5,5	71,14	720x11	192,33	820x25	490,15	1020x26	637,35
530x6,0	77,54	720x12	209,52	820x26	509,11	1020x27	661,20
530x7,0	90,29	720x13	226,66	820x27	528,03	1020x28	685,00
530x8,0	102,99	720x14	243,75	820x28	546,89	1020x29	708,75
530x9,0	115,64	720x16	277,79	820x29	565,71	1020x30	732,45
530x10	128,24	720x17	294,73	820x30	584,48	1020x31	756,10
530x11	140,79	720x17,5	303,18	920x7,0	157,61	1020x32	779,70
530x12	153,30	720x18	311,62	920x8,0	179,93	1120x8,0	219,39
530x13	165,75	720x19	328,47	920x9,0	202,20	1120x9,0	246,59
530x14	178,15	720x20	345,26	920x10	224,42	1120x10	273,74
530x16	202,82	720x21	362,01	920x11	246,59	1120x11	300,85
530x17	215,07	720x22	378,70	920x12	268,71	1120x12	327,90
530x17,5	221,18	720x23	395,35	920x13	290,78	1120x13	354,90
530x18	227,28	720x24	411,95	920x14	312,81	1120x14	381,86
530x19	239,44	720x25	411,95	920x16	356,70	1120x16	435,62
530x20	251,55	720x26	428,49	920x17	378,58	1120x17	462,43
530x21	263,61	720x27	444,99	920x17,5	389,50	1120x17,5	475,81
530x22	275,62	720x28	461,44	920x18	400,40	1120x18	481,19
530x23	287,58	720x29	477,84	920x19	422,18	1120x19	515,89
530x24	299,49	720x30	510,49	920x20	443,91	1120x20	542,55
630x7,0	107,55	820x7,0	140,35	1020x8,0	199,66	1220x9,0	268,79
630x8,0	122,72	820x8,0	160,20	1020x9,0	224,39	1220x10	298,40

Окончание прил. 2

Размер, мм	Масса 1 п.м., кг
1220x11	327,97
1220x12	357,49
1220x13	386,96
1220x14	416,38
1220x16	475,08
1220x17	504,35
1220x17,5	518,97
1220x18	533,58
1220x19	562,75
1220x20	591,88
1420x10	347,73
1420x11	382,23
1420x12	416,68
1420x13	451,08
1420x14	485,44
1420x16	554,00
1420x17	588,20
1420x17,5	605,29
1420x18	622,36
1420x19	656,46
1420x20	690,52

Библиография

СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия. (Дополнения. Раздел 10. Прогибы и перемещения). – М.: Изд-во стандартов. 1985.

Оглавление

Часть 1. Системы газораспределения и газопотребления и сопротивление материалов.....	3
Часть 2. Задания, методические указания по их выполнению и пример расчета статически определимых стержневых систем	13
Приложение 1.....	29
Приложение 2.....	30
Библиография.....	35

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ И ЗАДАНИЯ
ПО СОПРОТИВЛЕНИЮ МАТЕРИАЛОВ
ДЛЯ СТУДЕНТОВ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ “ТЕПЛОГАЗО-
СНАБЖЕНИЕ И ВЕНТИЛЯЦИЯ”, “ВОДОСНАБЖЕНИЕ
И ВОДООТВЕДЕНИЕ”

Статически определяемые системы

Составители
КОНДРАТЬЕВА Людмила Евгеньевна
ТАРАСЕНКО Владимир Иванович

Ответственный за выпуск – зав. кафедрой доцент А.Ф. Ковалев

Подписано в печать 28.08.08.
Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 2,09. Тираж 150 экз.
Заказ
Издательство
Владимирского государственного университета.
600000, Владимир, ул. Горького, 87