МОСКОВСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ (МАДИ)

В.К. ФЕДУЛОВ, Л.Ю. АРТЕМОВА

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

МОСКОВСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
(МАДИ)

В.К. ФЕДУЛОВ, Л.Ю. АРТЕМОВА

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Утверждено
в качестве учебного пособия
редсоветом МАДИ

МОСКВА
МАДИ
2014

УДК 656.71
ББК 39.513
Ф348

Рецензенты:

зам. начальника технического отдела ФГУП ГПИ и НИИ ГА «Аэропроект», канд. техн. наук, доц. *Виноградов Б.А.*;
ген. директор ООО «СК Аэродор», канд. техн. наук *Битнев П.А.*

Федулов, В.К.
Ф348 Проектирование зданий и сооружений: учеб. пособие для вузов / В.К. Федулов, Л.Ю. Артемова. – М.: МАДИ, 2014. – 52 с.

В учебном пособии приведены краткие сведения о расчете строительных конструкций по двум группам предельных состояний, основы оценки теплотехнических свойств ограждающих конструкций, а также методика определения объемно-планировочных параметров ангарных сооружений.

Пособие предназначено для специалистов, обучающихся по направлению подготовки 271101 «Строительство уникальных зданий и сооружений».

УДК 656.71
ББК 39.513

ВВЕДЕНИЕ

Металлические и железобетонные конструкции широко применяются в зданиях и сооружениях транспортного и иного назначения. Их проектирование представляет собой комплекс расчетных и чертежных работ, включающих стадии изготовления, монтажа и эксплуатации конструкций. При этом надежность конструкций в процессе эксплуатации во многом определяется принятыми проектными решениями. Поэтому в ходе обучения важно довести до студентов не только понимание сложности проектирования, но и необходимость использования системного подхода при осуществлении последнего.

Вопросы расчета и конструирования строительных конструкций отражены в соответствующей нормативной литературе. Однако их использование бывает достаточно сложным даже для профессионального специалиста. Поэтому настоящее пособие, учитывая требования общей системы обучения в высшей школе, предназначено для решения относительно простых задач проектирования реальных конструкций зданий и сооружений.

Содержание учебного пособия отвечает требованиям ООП по направлению подготовки 271101 «Строительство уникальных зданий и сооружений» специализации №5 «Строительство автомагистралей, аэродромов и специальных сооружений».

1. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОГО ЩИТА

Общие положения

Система дорожного сервиса объединяет здания и сооружения, обеспечивающие безопасные и комфортные условия передвижения автотранспорта и пассажиров.

В состав зданий входят станции технического обслуживания автомобилей (СТОА), автозаправочные станции (АЗС), кемпинги, автовокзалы и прочее.

К сооружениям относят ограждающие барьеры безопасности, шумозащитные экраны и стенки, информационные щиты и т.д. При этом, последние являются наиболее распространенным элементом обустройства автомобильных дорог.

Информационные щиты могут иметь различную форму (плоскую, пространственную) и конструктивное решение (рис. 1.1).

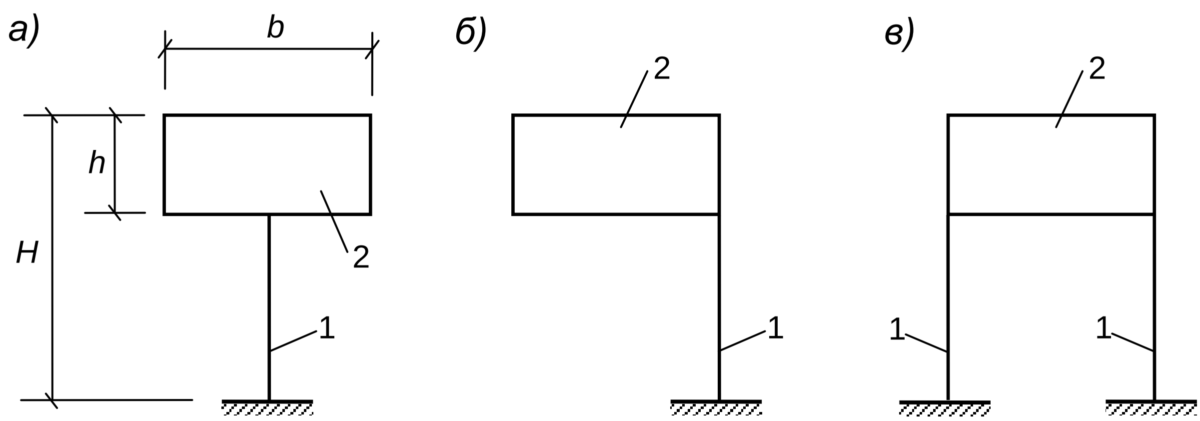


Рис. 1.1. Конструкции одноопорных (а, б) и двухопорного (в) щитов: 1 – опорная стойка; 2 – щит

Щиты и опорные стойки подвергаются воздействию ветровой нагрузки и нагрузки от собственного веса, а их расчет проводится по 1-й группе предельных состояний, т.е. по потере несущей способности – прочности или устойчивости.

Рассмотрим расчет на прочность стойки информационного щита, представленного на рис. 1.1б.

При воздействии на щит ветровой нагрузки его стойка будет работать на изгиб с кручением. Следовательно, в ее поперечных сечениях будут возникать как нормальные, так и касательные напряжения. Учесть совместное действие изгиба и кручения позволяют теории прочности. При использовании любой из них условие прочности записывается в виде

$$\sigma_{экв} \le R, \tag{1.1}$$

где $\sigma_{экв}$ – эквивалентные напряжения; R – расчетное сопротивление материала.

При использовании энергетической гипотезы прочности

$$\sigma_{экв} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}, \tag{1.2}$$

где σ и τ – нормальные и касательные напряжения соответственно.

При расчете на прочность стойки необходимо, прежде всего, найти опасное сечение, т.е. сечение, в котором эквивалентные напряжения принимают максимальное значение.

Из курса «Сопротивление материалов» известно, что при расчете бруса круглого сплошного или кольцевого сечений формула (1.2) для определения эквивалентных напряжений имеет вид

$$\sigma_{экв} = \frac{M_{экв}}{W_u}, \tag{1.3}$$

где W_u – осевой момент сопротивления сечения; $M_{экв}$ – эквивалентный момент.

При использовании энергетической теории прочности формула для вычисления эквивалентного момента записывается в виде

$$M_{экв} = \sqrt{M_x^2 + M_y^2 + 0{,}75M_z^2}, \tag{1.4}$$

где M_x, M_y – изгибающие моменты; M_z – крутящий момент.

Осевой момент сопротивления кольцевого сечения вычисляют по формуле:

$$W_u = \frac{\pi D^3}{32}\left[1 - \left(\frac{d}{D}\right)^4\right], \tag{1.5}$$

где D и d – наружный и внутренний диаметр кольца соответственно.

Пример. Подобрать поперечное сечение стойки информационного щита (рис. 1.2) при действии на него ветровой нагрузки, используя теорию энергии изменения формы.

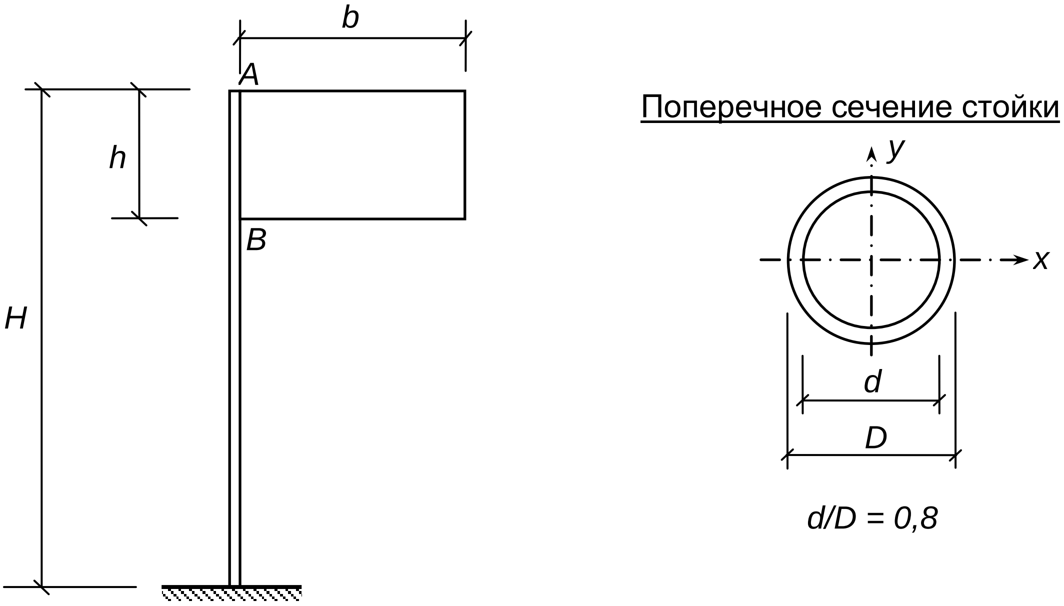


Рис. 1.2. Схема информационного щита

Исходные данные.

Высота стойки $H = 8$ м. Размеры щита: $h = 2$ м, $b = 4$ м. Условная ветровая нагрузка $q = 100$ кг/м^2. Расчетное сопротивление материала стойки $R = 21 \cdot 10^6$ кг/м^2.

Решение.

Равнодействующая сил давления ветра F приложена в центре щита и равна

$$F = q \cdot h \cdot b = 100 \cdot 2 \cdot 4 = 800 \text{ кг}.$$

Сила F передается на стойку в точках A и B (в местах крепления щита к стойке) в виде двух сосредоточенных сил

$$F / 2 = 800 / 2 = 400 \text{ кг}$$

и двух сосредоточенных моментов

$$\frac{F}{2} \cdot \frac{b}{2} = \frac{800}{2} \cdot \frac{4}{2} = 800 \text{ кг·м}.$$

Расчетная схема стойки, а также эпюры изгибающих и крутящих моментов представлены на рис. 1.3.

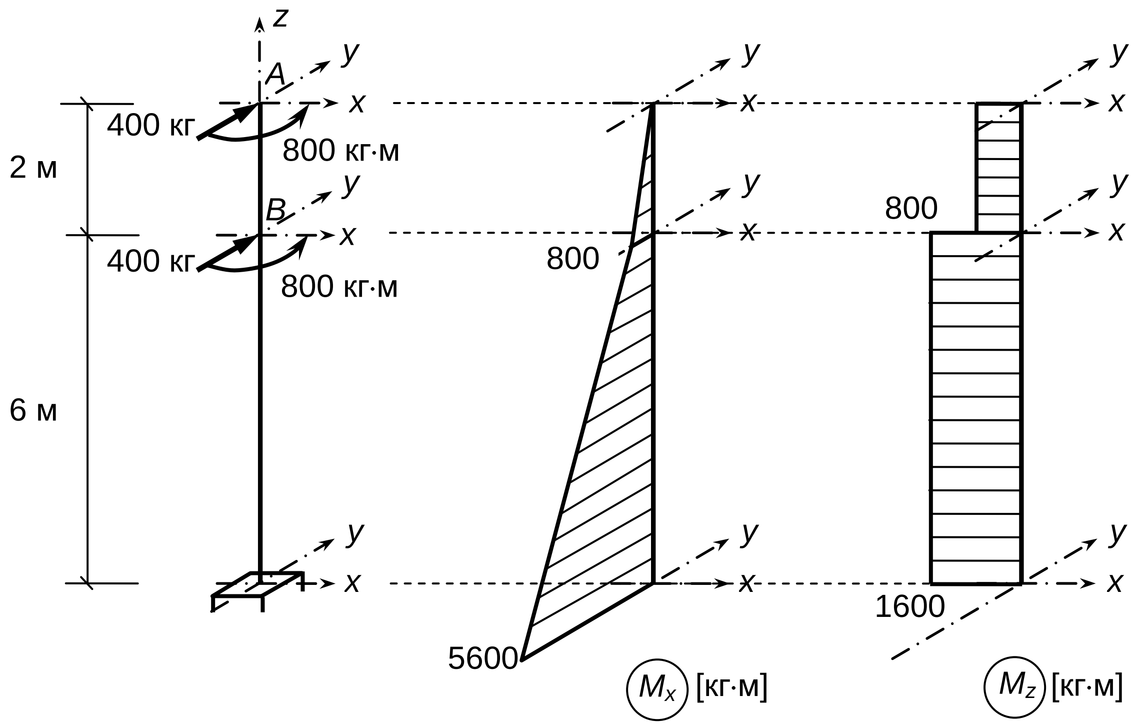


Рис. 1.3. Расчетная схема стойки и эпюры моментов в ней

В опасном сечении (в заделке) изгибающий и крутящий моменты равны соответственно:

$$M_x = 400 \cdot 8 + 400 \cdot 6 = 5600 \text{ кг·м},$$

$$M_z = 800 + 800 = 1600 \text{ кг·м}.$$

Эквивалентный момент по принятой теории прочности с учетом того, что $M_y = 0$

$$M_э = \sqrt{M_x^2 + 0{,}75 M_z^2} = \sqrt{5600^2 + 0{,}75 \cdot 1600^2} = 5768{,}88 \text{ кг·м}.$$

Осевой момент сопротивления сечения

$$W_x = \frac{\pi D^3}{16}\left[1 - \left(\frac{d}{D}\right)^4\right] = \frac{\pi D^3}{16}[1 - 0{,}8^4] = 11{,}59 \cdot 10^{-2} D^3.$$

Условие прочности

$$\sigma_э = \frac{M_э}{W_x} \le R \text{ или } \sigma_э = \frac{5768{,}88}{11{,}59 \cdot 10^{-2} D^3} \le 21 \cdot 10^6.$$

Тогда

$$D \geq \sqrt[3]{\frac{5768,88}{11{,}59 \cdot 10^{-2} \cdot 21 \cdot 10^{6}}} \text{ или } D \geq 0{,}133 \text{ м.}$$

Окончательно принимаем

$$D = 0{,}133 \text{ м и } d = 0{,}8D = 0{,}8 \cdot 0{,}136 = 0{,}1064 \approx 0{,}106 \text{ м.}$$

Исходные данные для выполнения задания

Таблица 1.1

<table>
<tr><th>№ вар.</th><th>H, м</th><th>h, м</th><th>b, м</th><th>q, кг/м^2</th><th>№ вар.</th><th>H, м</th><th>h, м</th><th>b, м</th><th>q, кг/м^2</th></tr>
<tr><td>1</td><td rowspan="4">5 (10)</td><td>1,0</td><td>1,5</td><td rowspan="8">70</td><td>13</td><td rowspan="4">8 (7)</td><td>2,1</td><td>2,7</td><td rowspan="4">75</td></tr>
<tr><td>2</td><td>1,1</td><td>1,6</td><td>14</td><td>2,2</td><td>2,8</td></tr>
<tr><td>3</td><td>1,2</td><td>1,7</td><td>15</td><td>2,3</td><td>2,9</td></tr>
<tr><td>4</td><td>1,3</td><td>1,8</td><td>16</td><td>2,4</td><td>3,0</td></tr>
<tr><td>5</td><td rowspan="4">6 (9)</td><td>1,4</td><td>1,9</td><td>17</td><td rowspan="4">9 (6)</td><td>2,5</td><td>3,1</td><td rowspan="8">80</td></tr>
<tr><td>6</td><td>1,5</td><td>2,0</td><td>18</td><td>2,6</td><td>3,2</td></tr>
<tr><td>7</td><td>1,6</td><td>2,1</td><td>19</td><td>2,7</td><td>3,3</td></tr>
<tr><td>8</td><td>1,7</td><td>2,2</td><td>20</td><td>2,8</td><td>3,4</td></tr>
<tr><td>9</td><td rowspan="4">7 (8)</td><td>1,8</td><td>2,3</td><td rowspan="4">75</td><td>21</td><td rowspan="4">10 (5)</td><td>2,9</td><td>3,5</td></tr>
<tr><td>10</td><td>1,9</td><td>2,4</td><td>22</td><td>3,0</td><td>3,6</td></tr>
<tr><td>11</td><td>2,0</td><td>2,5</td><td>23</td><td>3,1</td><td>3,7</td></tr>
<tr><td>12</td><td>2,1</td><td>2,6</td><td>24</td><td>3,2</td><td>3,8</td></tr>
</table>

Примечание. В таблице представлены данные для двух учебных групп: в столбце (H) без скобок даны данные для первой группы, а в скобках – для второй.

2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОКРЫТИЯ ГАРАЖА

Гаражи, как правило, предназначены для хранения автомобильной техники.

По своему объемно-планировочному решению они бывают одно- и многосекционные, одно- и многоэтажные; по расположению: наземные, полузаглубленные и подземные; по конструктивному исполнению: металлические, железобетонные, кирпичные и т.д.

Междуэтажные перекрытия и покрытия гаражей выполняют из сборного или монолитного железобетона, а также в виде балочных систем, сочетающих в себе главные и второстепенные прокатные балки, имеющие стандартные профили. Выбор того или иного конструктивного решения осуществляют на стадии вариантного проектирования путем сравнения технико-экономических показателей. При этом следует отметить, что каждое конструктивное решение обладает как достоинствами, так и недостатками. Например, для систем из стальных балок положительными качествами являются низкая стоимость изготовления, оптимальная форма сечения, небольшая строительная высота, а отрицательным то, что применяются они только для относительно небольших пролетов (до 9 м).

Рассмотрим пример проектирования покрытия из металлических балок одноэтажного гаража (рис. 2.1).

Пример.

Требуется.

1. Подобрать поперечное сечение в виде двутавра главной А и второстепенной Б балок покрытия.

2. Определить прогиб элементов А и Б и проверить выполняется ли условие жесткости.

Исходные данные.

Размеры гаража: $l = 6$ м, $b = 5$ м. Расстояние между второстепенными балками $a = 1{,}5$ м. Нагрузка от собственного веса плит покрытия и кровли $q_п = 140$ кг/м^2, снеговая нагрузка $q_c = 90$ кг/м^2. Расчетное сопротивление материала балки $R = 21 \cdot 10^6$ кг/м^2, модуль упругости $E = 2{,}1 \cdot 10^{10}$ кг/м^2.

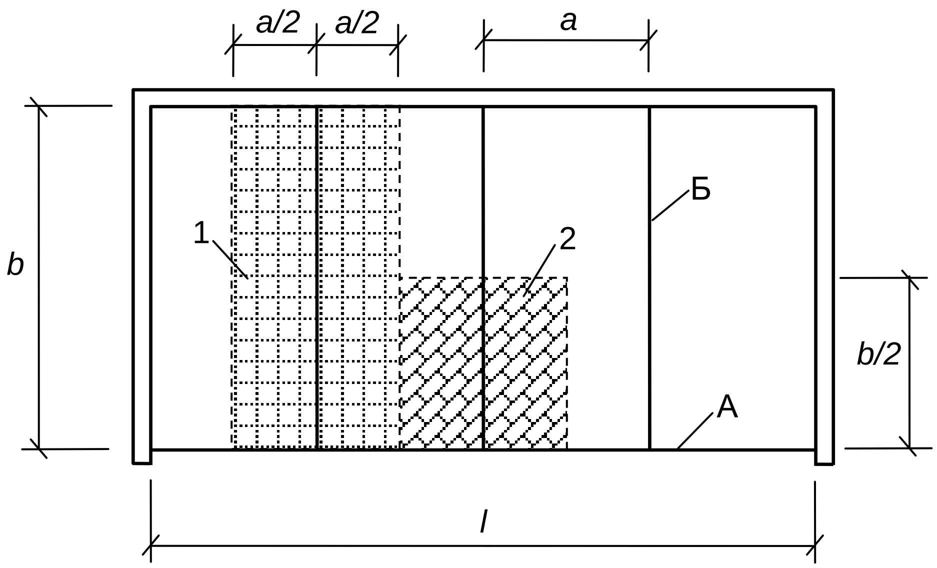


Рис. 2.1. Расчетная схема покрытия гаража: А – главная балка, Б – второстепенная балка, 1 – грузовая площадь для второстепенной балки, 2 – грузовая площадь для главной балки

Решение.

1. Подбор поперечного сечения второстепенной балки (Б).

Нагрузка, которая приложена к балке, складывается из постоянной нагрузки $q_п$ (собственный вес покрытия) и временной $q_с$ (снеговая нагрузка). Линейная погонная равномерно распределенная нагрузка с грузовой площади $a \cdot b$ (рис. 2.1), приходящаяся на балку, будет равна

$$q = (q_п + q_с)a = (140 + 90) \cdot 1{,}5 = 345 \text{ кг/м}.$$

Расчетная схема балки, а также эпюры поперечных сил, изгибающих моментов и прогибов в ней представлены на рис. 2.2.

Максимальный изгибающий момент в балке

$$M_{\max} = \frac{ql^2}{8} = \frac{345 \cdot 5^2}{8} = 1078{,}125 \text{ кг·м}.$$

Условие прочности при расчете по методу предельных состояний

$$\sigma_{\max} = \frac{M_x^{\max}}{W_x} \le R, \tag{2.1}$$

где W_x – осевой момент сопротивления сечения.

Тогда из выражения (2.1) получим

$$W_x \geq \frac{M_x^{\max}}{R}.$$

Требуемый момент сопротивления сечения

$$W_x = \frac{M_x^{\max}}{R} = \frac{1078{,}125}{21 \cdot 10^6} = 51{,}34 \cdot 10^{-6}\ \text{м}^3 = 51{,}34\ \text{см}^3.$$

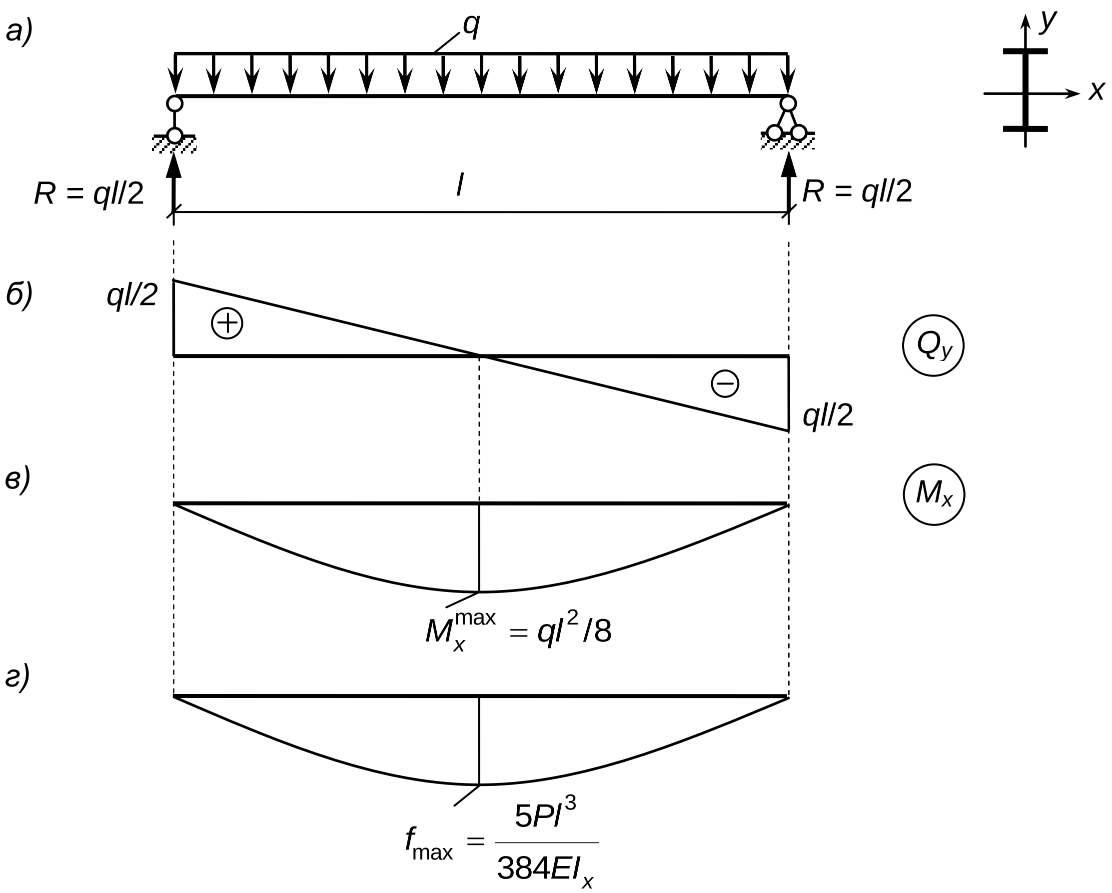


Рис. 2.2. Расчетная схема второстепенной балки (а), эпюра поперечных сил (б), изгибающих моментов (в) и прогибов (г) в балке

По сортаменту выбираем двутавр №12, у которого $W_x = 58{,}4$ см^3, $I_x = 350$ см^4.

Максимальный прогиб второстепенной балки составляет

$$f_{\max} = \frac{5ql^4}{384EI_x} = \frac{5 \cdot 345 \cdot 5^4}{384 \cdot 2{,}1 \cdot 10^{10} \cdot 350 \cdot 10^{-8}} = 3{,}82 \cdot 10^{-2}\ \text{м} = 3{,}82\ \text{см}.$$

Условие жесткости для балки имеет вид

$$\frac{f_{\max}}{l} \le \frac{1}{250} \qquad (2.2)$$

или

$$\frac{f_{\max}}{l} = \frac{3{,}82 \cdot 10^{-2}}{5} = 0{,}764 \cdot 10^{-2} > \frac{1}{250},$$

следовательно, **жесткость балки не обеспечена**.

Поскольку должны удовлетворяться оба условия: (2.1) и (2.2), то по сортаменту принимаем двутавр №16, у которого $W_x = 109{,}0$ см^3 $>$ $> 51{,}34$ см^3 (т.е. условие прочности выполняется), $I_x = 873$ см^4.

Проверяем, выполняется ли условие жесткости (2.2)

$$f_{\max} = \frac{5ql^4}{384EI_x} = \frac{5 \cdot 345 \cdot 5^4}{384 \cdot 2{,}1 \cdot 10^{10} \cdot 873 \cdot 10^{-8}} = 1{,}53 \cdot 10^{-2} \text{ м} = 1{,}53 \text{ см},$$

$$\frac{f_{\max}}{l} = \frac{1{,}53 \cdot 10^{-2}}{5} = 0{,}306 \cdot 10^{-2} < \frac{1}{250},$$

следовательно, **жесткость балки обеспечена**.

2. Подбор поперечного сечения главной балки (А).

Нагрузка на балку складывается из постоянной нагрузки – собственный вес плит покрытия и кровли $q_п$, и собственный вес второстепенных балок, и временной q_c (снеговая нагрузка). Эта нагрузка передается на главную балку в виде сосредоточенных сил, приложенных в местах опоры второстепенных балок. Значения этих сил при грузовой площади, равной $a \cdot b/2$ (см. рис. 2.1), будут равны

$$P = \frac{(q_п + q_c)ab}{2} + \gamma \cdot \frac{b}{2} = \frac{(140 + 90) \cdot 1{,}5 \cdot 5}{2} + 15{,}9 \cdot \frac{5}{2} = 902{,}25 \text{ кг},$$

где $\gamma = 15{,}9$ кг – вес 1 м двутавра №16.

Расчетная схема балки, а также эпюры поперечных сил, изгибающих моментов и прогибов в ней представлены на рис. 2.3.

Максимальный изгибающий момент в балке

$$M_{\max} = 0{,}5Pl = 0{,}5 \cdot 902{,}25 \cdot 6 = 2706{,}75 \text{ кг·м}.$$

Требуемый момент сопротивления сечения из условия прочности

$$W_x = \frac{M_x^{\max}}{R} = \frac{2706{,}75}{21 \cdot 10^6} = 128{,}89 \cdot 10^{-6}\ \text{м}^3 = 128{,}89\ \text{см}^3.$$

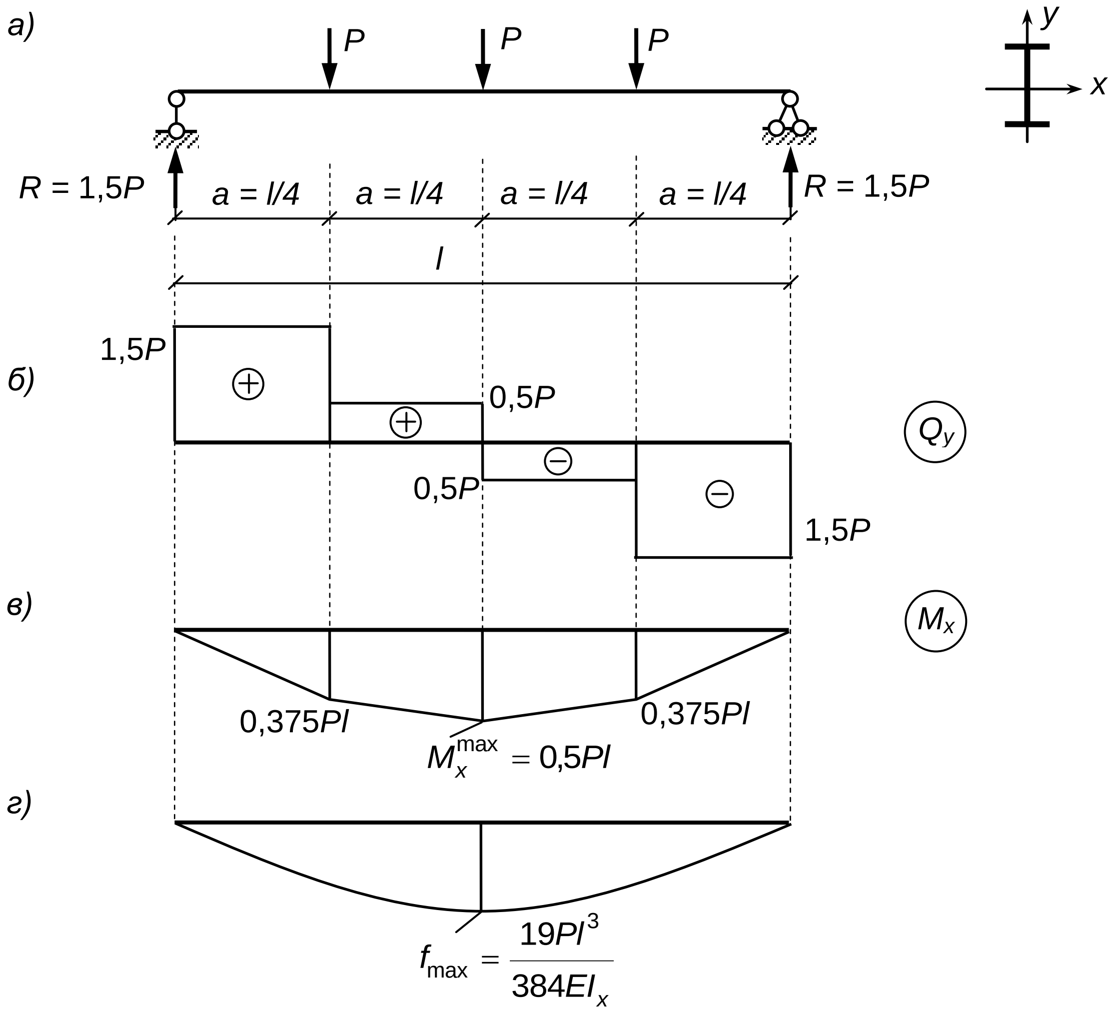


Рис. 2.3. Расчетная схема главной балки (а),
эпюра поперечных сил (б), изгибающих моментов (в)
и приблизительная эпюра прогибов (г) в балке

По сортаменту выбираем двутавр №18, у которого $W_x = 143{,}0\ \text{см}^3$, $I_x = 1290\ \text{см}^4$.

Максимальный прогиб главной балки

$$f_{\max} = \frac{19Pl^3}{384EI_x} = \frac{19 \cdot 902{,}25 \cdot 6^3}{384 \cdot 2{,}1 \cdot 10^{10} \cdot 1290 \cdot 10^{-8}} = 3{,}56 \cdot 10^{-2}\ \text{м} = 3{,}56\ \text{см}.$$

Из условия (2.2)

$$\frac{f_{\max}}{l} = \frac{3{,}56 \cdot 10^{-2}}{6} = 0{,}593 \cdot 10^{-2} > \frac{1}{250},$$

следовательно, **жесткость балки не обеспечена**.

Чтобы обеспечить не только прочность, но и жесткость балки, принимаем двутавр №20а, у которого $W_x = 203{,}0$ см^3 и $I_x = 2030$ см^4.

Тогда

$$f_{\max} = \frac{19Pl^3}{384EI_x} = \frac{19 \cdot 902{,}25 \cdot 6^3}{384 \cdot 2{,}1 \cdot 10^{10} \cdot 2030 \cdot 10^{-8}} = 2{,}26 \cdot 10^{-2} \text{ м} = 2{,}26 \text{ см},$$

$$\frac{f_{\max}}{l} = \frac{2{,}26 \cdot 10^{-2}}{6} = 0{,}377 \cdot 10^{-2} < \frac{1}{250},$$

следовательно, **жесткость балки обеспечена**.

Исходные данные для выполнения задания

Таблица 2.1

№ вар.	q_c, кг/м^2	$q_п$, кг/м^2	l, м	b, м	a, м	№ вар.	q_c, кг/м^2	$q_п$, кг/м^2	l, м	b, м	a, м
1	100	150	6	4	1,5	26	150	190	9	4	1,5
2				5	1,5	27				5	1,5
3				6	1,5	28				6	1,5
4				4	1,75	29				4	1,75
5				5	1,75	30				5	1,75
6				6	1,75	31				6	1,75
7				4	2	32				4	2,25
8				5	2	33				5	2,25
9	120	180	7,5	6	2	34	100	170	6	6	2
10				4	1,5	35				4	1,5
11				5	1,5	36				5	1,5
12				6	1,5	37				6	1,5
13				7,5	1,75	38				7,5	2
14				4	1,75	39				5	2
15				5	1,75	40				6	2
16				6	1,5	41				7,5	1,5
17	150	200	9	7,5	1,75	42	120	150	7,5	6	1,5
18				4	1,75	43				7,5	1,5
19				5	1,75	44				5	1,5
20				6	2,25	45				7,5	2,5
21				7,5	2,25	46				7,0	2,5
22				9	2,25	47				6,5	2,5
23				4	1,5	48				6,0	1,5
24				5	1,5	49				5,5	1,5
25				6	1,5	50				5	1,5

Примечание. Задание составлено для двух учебных групп. Варианты 1–25 относятся к первой группе, а 26–50 – ко второй.

3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОНТАЖНОЙ ТРАВЕРСЫ

Общие положения

Траверсы используются для подъема длинномерных и крупногабаритных конструкций. Представленные на рис. 3.1 траверсы получили наибольшее распространение. При этом траверса, показанная на рис. 3.1а, работает на изгиб, а балка жесткости траверсы в зависимости от расположения узлов крепления тяговых тросов, либо на центральное сжатие (рис. 3.1б), либо на сжатие с изгибом (рис. 3.1д). Расчет траверс проводится по 1-й группе предельных состояний.

Траверса (рис. 3.1а) рассчитывается как однопролетная балка, загруженная весом P поднимаемой конструкции.

Максимальный изгибающий момент в середине пролета длиной l (рис. 3.1в) определяют по формуле

$$M = \frac{Pl}{4}. \qquad (3.1)$$

Требуемый момент сопротивления сечения

$$W = \frac{M}{R_y}, \qquad (3.2)$$

где $R_y = 2850$ кг/см^2 – расчетное сопротивление стали марки С285 по пределу текучести.

По найденному значению W из сортамента выбирают соответствующий номер прокатного швеллера.

Балка жесткости траверсы (рис. 3.1б) рассчитывается как центрально-сжатый элемент.

Сжимающее усилие T (рис. 3.1г) определяют по выражению

$$T = \frac{P}{2}\mathrm{tg}\alpha. \qquad (3.3)$$

Гибкость λ сжатой балки жесткости должна быть не более 150, т.е. $\lambda \le 150$. Тогда минимальный радиус инерции сечения ($r_{\min}$) при расчетной длине $l = l_0$ будет равен

$$r_{\min} = \frac{l_0}{\lambda} = \frac{l}{150}. \qquad (3.4)$$

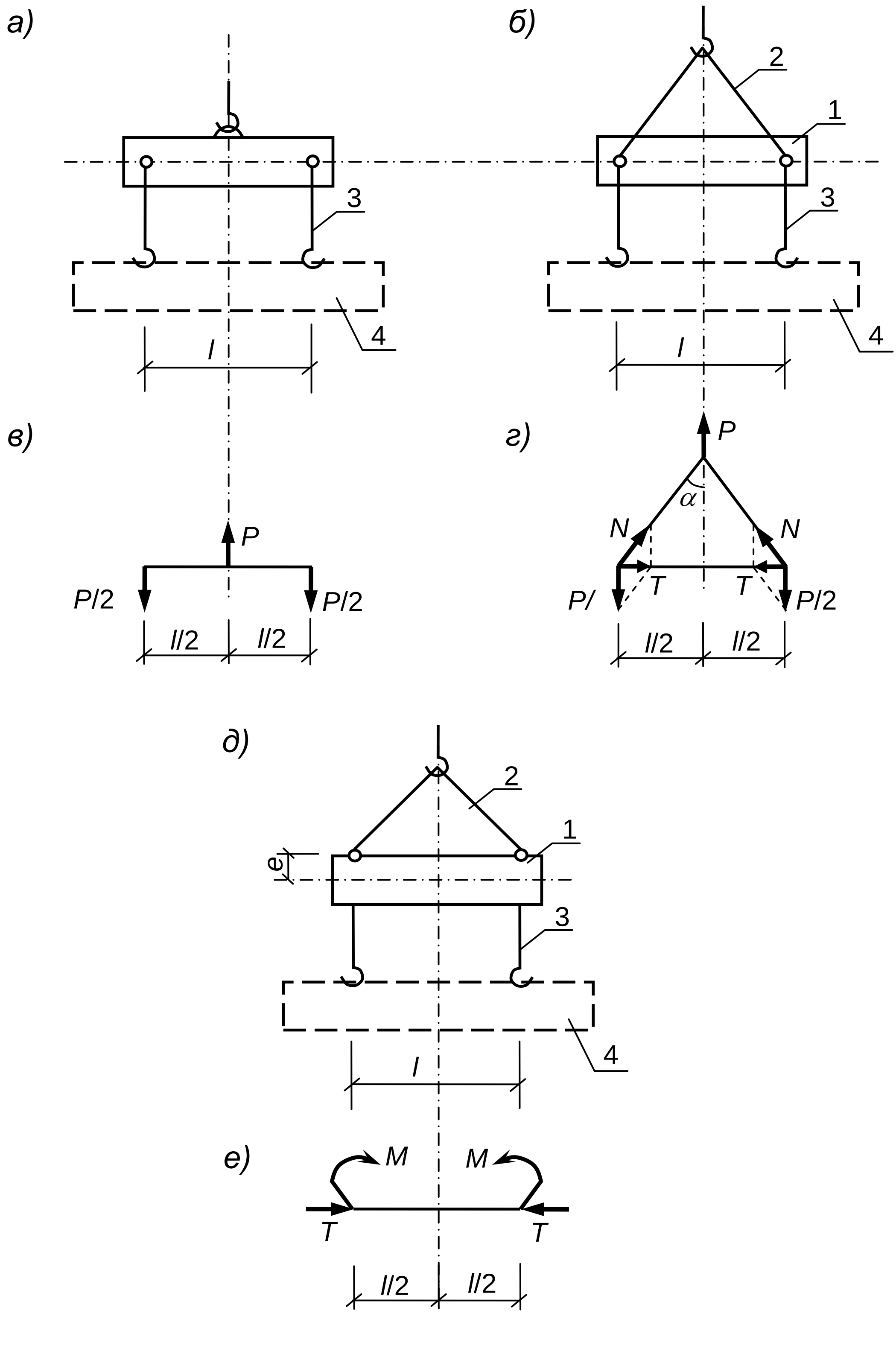


Рис. 3.1. Общий вид (а, б, д) и расчетные схемы (в, г, е) траверс:
1 – балка жесткости; 2 – тяговые тросы; 3 – грузовые тросы;
4 – поднимаемая конструкция

Определив значение $r_{\min}$, по сортаменту подбирают требуемый номер швеллера. В случае, если принимают сечение из двух швеллеров меньшего размера, то фактический радиус инерции $r_{ф}$ такого сечения должен быть не меньше требуемого.

После подбора сечения балку проверяют на устойчивость из условия

$$\sigma = \frac{T}{\varphi \cdot A} \le R_y, \tag{3.5}$$

где φ – коэффициент продольной устойчивости, который определяется по табл. 3.1 в зависимости от фактической гибкости $\lambda_{ф}$.

Балка жесткости траверсы (рис. 3.1д) работает на сжатие с изгибом. Для проверки прочности балки используют формулу

$$\frac{T}{A} + \frac{M}{W} \le R_y, \tag{3.6}$$

где $M = T \cdot e$ – изгибающий момент от усилия T, приложенного с эксцентриситетом e (рис. 3.1 д, е); T – см. формулу 3.3.

Фактические радиус инерции и гибкость определяют по выражениям

$$r_{ф} = \sqrt{\frac{I_{ф}}{A_{ф}}};\ \lambda_{ф} = \frac{l_0}{r_{ф}}, \tag{3.7}$$

где $I_{ф}$, $A_{ф}$ – фактические момент инерции и площадь сечения соответственно.

Усилие в тяговом тросе составляет

$$N = \frac{P}{2 \cdot \cos\alpha}. \tag{3.8}$$

Площадь сечения троса находят из условия прочности при растяжении

$$\frac{N}{A} \le R_{un} \Rightarrow A \ge \frac{N}{R_{un}}. \tag{3.9}$$

Здесь R_{un} – временное сопротивление стали разрыву, принимаемое для канатов типов ТК и ЛК-РО равным 11 760 кг/см^2.

Таблица 3.1

Коэффициенты продольного изгиба центрально-сжатых стержней

λ	Коэффициенты φ									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1	0,999	0,998	0,996	0,995	0,994	0,993	0,992	0,99	0,989
10	0,988	0,986	0,984	0,983	0,981	0,979	0,977	0,975	0,974	0,972
20	0,97	0,967	0,965	0,962	0,959	0,957	0,954	0,951	0,948	0,946
30	0,943	0,939	0,935	0,932	0,928	0,924	0,92	0,916	0,913	0,909
40	0,905	0,901	0,897	0,894	0,89	0,886	0,882	0,878	0,875	0,871
50	0,867	0,862	0,858	0,853	0,848	0,844	0,839	0,834	0,829	0,825
60	0,82	0,815	0,81	0,805	0,8	0,795	0,79	0,785	0,78	0,775
70	0,77	0,765	0,759	0,754	0,748	0,743	0,737	0,732	0,726	0,721
80	0,715	0,709	0,703	0,697	0,691	0,685	0,679	0,673	0,667	0,661
90	0,655	0,648	0,64	0,633	0,626	0,679	0,611	0,604	0,597	0,589
100	0,582	0,575	0,568	0,561	0,554	0,547	0,54	0,533	0,526	0,519
110	0,512	0,506	0,499	0,493	0,486	0,48	0,474	0,467	0,461	0,454
120	0,448	0,443	0,438	0,433	0,428	0,423	0,417	0,412	0,407	0,402
130	0,397	0,392	0,387	0,382	0,377	0,373	0,368	0,363	0,358	0,353
140	0,348	0,344	0,339	0,335	0,331	0,327	0,322	0,318	0,314	0,309
150	0,305	0,302	0,298	0,295	0,291	0,288	0,284	0,281	0,277	0,274

Далее по сортаменту (табл. 3.2) находят канат, у которого расчетная площадь сечения больше или равна найденному значению A.

Таблица 3.2

Сортамент канатов

Канат одинарной свивки типа ТК		Канат двойной свивки типа ЛК-РО	
Диаметр каната, мм	Расчетная площадь сечения всех проволок, мм^2	Диаметр каната, мм	Расчетная площадь сечения всех проволок, мм^2
12	84,26	28	373,25
12,5	94,44	30	422,76
14	116,89	32,5	487,48
15,5	141,37	35,5	580,11
17	168,17	36,5	646,37
18,5	197,29	39	716,29
20	228,74	41	796,83
21	262,51	42	843,90
22,5	298,52	45,5	991,84
24	337,03	49	1163,04
27	420,84	52	1304,05
		57	1520,73
		61,5	1782,25
		64	1880,27
		68	2058,71
		72	2316,38

Пример. Подобрать сечение балки жесткости и тяговых тросов траверсы по рис. 3.1б.

Исходные данные.

Пролет балки $l = 6{,}25$ м, вес поднимаемой конструкции $P = 150$ т, $\alpha = 35°$ ($\text{tg}\alpha = 0{,}7002$, $\cos\alpha = 0{,}8192$).

Решение.

По формуле (3.3) определяем сжимающее усилие

$$T = \frac{150}{2} \cdot 0{,}7002 = 52{,}52 \text{ т.}$$

Используя формулу (3.4) находим минимальный радиус инерции

$$r_{\min} = \frac{625}{150} = 4{,}17 \text{ см.}$$

По сортаменту принимаем сечение из двух швеллеров №16:

$$I_ф = 1494 \text{ см}^4,\ A_ф = 36{,}2 \text{ см}^2.$$

По формулам (3.6) находим

$$r_ф = \sqrt{\frac{1494}{36{,}2}} = 6{,}42 \text{ см;}$$

$$\lambda_ф = \frac{625}{6{,}42} = 97{,}4 \approx 97.$$

Для найденного значения $\lambda_ф = 97$ по табл. 3.1 находим коэффициент продольного изгиба $\varphi = 0{,}604$.

Проверяем балку на устойчивость по формуле (3.5):

$$\sigma = \frac{52520}{0{,}604 \cdot 36{,}2} = 2402 \text{ кг/см}^2 < R_y = 2850 \text{ кг/см}^2.$$

Усилие в тяговом тросе определяем по формуле (3.8)

$$N = \frac{150}{2 \cdot 0{,}8192} = 91{,}55 \text{ т.}$$

Площадь сечения троса (формула 3.9)

$$A = \frac{91{,}55 \cdot 10^3}{11760} = 7{,}78 \text{ см}^2.$$

По таблице 3.2 принимаем канат двойной свивки типа ЛК-РО с площадью сечения $A = 796{,}83$ мм$^2 \cong 7{,}97$ см^2 и диаметром 41 мм.

Исходные данные для выполнения задания

Таблица 3.3

Вариант	*P*, т	$\alpha°$	*l*, м	Вариант	*P*, т	$\alpha°$	*l*, м
1	40	30 (60)	9,0	13	40	50 (40)	9,0
2	60		8,5	14	60		8,5
3	80		8,0	15	80		8,0
4	100		7,5	16	100		7,5
5	120		7,0	17	120		7,0
6	140		6,5	18	140		6,5
7	40	40 (50)	8,5	19	40	60 (30)	8,5
8	60		8,0	20	60		8,0
9	80		7,5	21	80		7,5
10	100		7,0	22	100		7,0
11	120		6,5	23	120		6,5
12	140		6,0	24	140		6,0

Примечание. В таблице представлены данные для двух учебных групп: в столбце ($\alpha°$) без скобок даны данные для первой группы, а в скобках – для второй.

Каждый вариант предусматривает решение двух задач, отвечающих схемам траверс на рис. 3.1б и 3.1д.

4. ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ НАРУЖНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Выполнение задания сводится к решению двух задач.

1. Расчет толщины утеплителя многослойной стены здания.

2. Расчет толщины утеплителя многослойного покрытия здания.

Используемые в строительстве однослойные и многослойные ограждающие конструкции (стены, покрытия) могут состоять из однородных (рис. 4.1) и неоднородных слоев (рис. 4.2).

Теплотехнический расчет таких конструкций заключается в определении слоя утеплителя (δ_y).

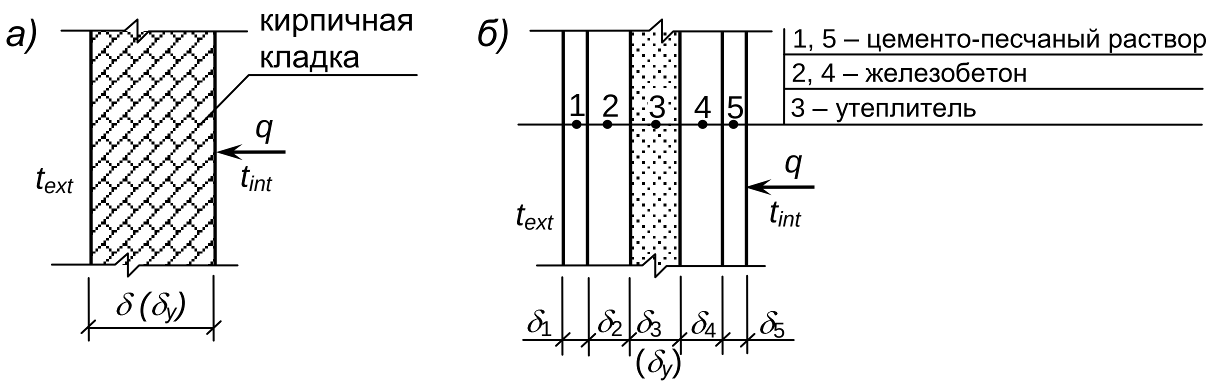


Рис. 4.1. Конструкция однослойной (а) и многослойной (б) стены с однородными слоями

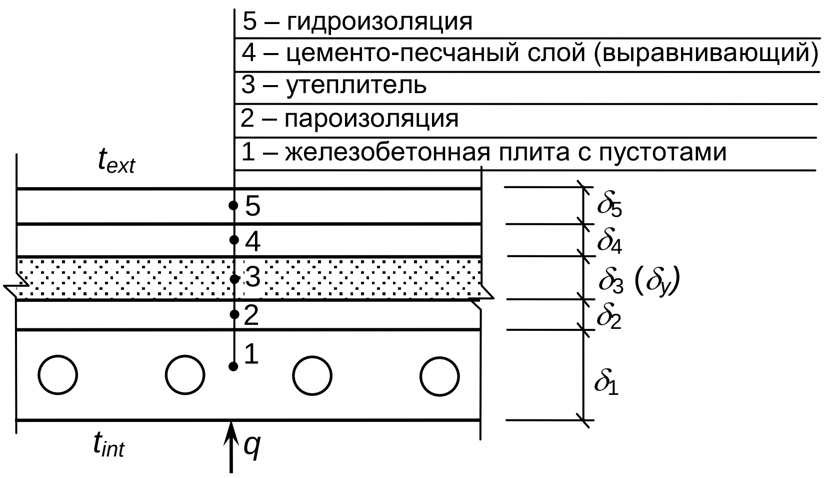


Рис. 4.2. Конструкция многослойного покрытия с неоднородным слоем (железобетонная плита)

Общие положения

Расчет проводят из условия

$$R_0 \geq R_{red}, \qquad (4.1)$$

где R_0 – приведенное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции (м^2·°С/Вт); R_{red} – требуемое сопротивление теплопередаче (м^2·°С/Вт).

В отличие от R_0 требуемое сопротивление теплопередаче не зависит от конструктивного решения теплозащитного ограждения и является показателем, при котором внутренние условия помещения считаются комфортными. Поэтому для любого типа ограждающей конструкции (рис. 4.1, 4.2) его определяют по следующей формуле

$$R_{red} = \frac{n(t_{int} - t_{ext})}{\Delta t_n \cdot \alpha_{int}}, \qquad (4.2)$$

где n – коэффициент, принимаемый в зависимости от положения наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху (для стен и покрытий $n = 1$); t_{int} – расчетная средняя температура внутреннего воздуха (°С), принимаемая в зависимости от типа здания; t_{ext} – расчетная температура наружного воздуха (°С), равная средней температуре наиболее холодной пятидневки (табл. 4.3); Δt_n – нормируемый температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции (°С).

Температура t_{int} принимается для жилых зданий 20–22°С, для общественных – 16–21°С; для производственных – 14–16°С.

Величину Δt_n принимают в зависимости от типа здания и вида конструкции:

– жилые: наружная стена – 4,0; покрытие – 3,0;

– общественные: наружная стена – 4,5; покрытие – 4,0;

– производственные: наружная стена – 7,0; покрытие – 6,0.

Левая часть выражения (4.1) отражает конструктивное решение ограждения и теплотехнические свойства его материалов, которые и обеспечивают комфортные условия помещения.

Для однослойной (рис. 4.1а) и многослойной (рис. 4.1б) ограждающих конструкций приведенное сопротивление теплопередаче определяют по следующим формулам:

– для однослойной

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_{int}} + \frac{\delta_y}{\lambda_y} + \frac{1}{\alpha_{ext}}; \tag{4.3}$$

– для многослойной

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_{int}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \ldots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_{ext}}, \tag{4.4}$$

где α_{int} – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции (Вт/м$^2\cdot$°С), равный 8,7 для стен и гладких потолков; α_{ext} – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции (Вт/м$^2\cdot$°С), равный 23 для стен и покрытий; $\delta_1, \delta_2, \ldots, \delta_n$ – толщины слоев (м); $\lambda_1, \lambda_2, \ldots, \lambda_n$ – коэффициенты теплопроводности материала слоев (Вт/м$^2\cdot$°С), определяемые по табл. 4.4.

Следует заметить, что входящие в формулы 4.3 и 4.4 отношения $\frac{\delta_i}{\lambda_i}$, есть не что иное, как сопротивление теплопередаче i-го слоя, т.е. $R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_i}$.

Если в ограждении имеются слои с нарушенной однородностью, то расчет такого ограждения осуществляют по вышеприведенным формулам (4.2)–(4.4).

Например, из рис. 4.2 видно, что однородность железобетонной плиты покрытия нарушена в параллельном и перпендикулярном тепловому потоку (q) направлениях. Учитывая эту особенность, плиту по этим направлениям (А и Б, рис. 4.3) условно разделяют на однородные (1 – 1, 3 – 3, 5 – 5) и неоднородные (2 – 2, 4 – 4) участки, сопротивление теплопередаче которых определяют по формуле

$$R_{A(Б)} = \frac{A_1 + A_2 + \ldots + A_n}{\frac{A_1}{R_1} + \frac{A_2}{R_2} + \ldots + \frac{A_n}{R_n}}, \tag{4.5}$$

где $A_1, A_2, \ldots, A_n$ – площади отдельных участков (м^2); $R_1, R_2, \ldots, R_n$ – сопротивление теплопередаче отдельных участков (Вт/м$^2\cdot$°С).

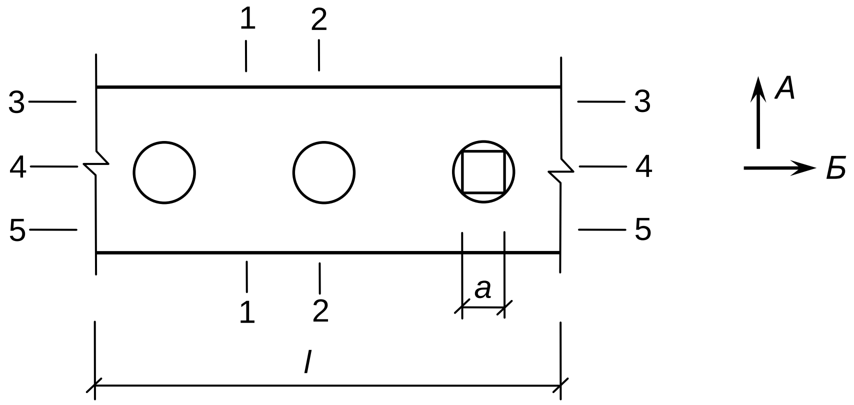


Рис. 4.3. Расчетная схема пустотной плиты покрытия

Для упрощения вычисления площадей участков круглые отверстия диаметром d заменяют равновеликими по площади квадратами со стороной

$$a = \frac{d}{2}\sqrt{\pi}. \tag{4.6}$$

Общее приведенное сопротивление теплопередаче плиты определяют как

$$R_{red,\text{п}} = \frac{R_A + 2R_Б}{3}. \tag{4.7}$$

Пример 1. Расчет толщины утеплителя стены здания.

Исходные данные.

Тип здания – жилое; конструкция наружной стены – многослойная (рис. 4.1б); место расположения здания – г. Москва.

Толщины слоев, теплотехнические характеристики материалов стены (табл. 4.4) и коэффициенты температурных условий:

– цементо-песчаный раствор: $\delta_1 = \delta_5 = 0{,}01$ м,

$$\lambda_1 = \lambda_5 = 0{,}58 \text{ Вт/м}^2\cdot°\text{С};$$

– железобетон: $\delta_2 = \delta_4 = 0{,}12$ м, $\lambda_2 = \lambda_4 = 1{,}69$ Вт/м^2·°С;

– утеплитель (пенополистерол): $\delta_3 = ?$, $\lambda_3 = 0{,}05$ Вт/м^2·°С;

– $n = 1$, $t_{ext} = -26\,°\text{C}$, $t_{int} = 20\,°\text{C}$, $\Delta t_n = 4\,°\text{C}$, $\alpha_{int} = 8{,}7$ Вт/м^2·°С, $\alpha_{ext} = 23$ Вт/м^2·°С.

Решение.

По формуле (4.2) определяем требуемое сопротивление теплопередаче

$$R_{red} = \frac{1{,}0 \cdot [20 - (-26)]}{4 \cdot 8{,}7} = 1{,}32 \text{ м}^2\cdot°\text{C/Вт}.$$

Приравняв левую и правую части выражения (4.1), с учетом формулы (4.4), а также равенств $\delta_1 = \delta_5$ и $\delta_2 = \delta_4$, получим

$$\delta_3 = \left[1{,}32 - \frac{1}{8{,}7} - \frac{1}{23} - 2 \cdot \frac{0{,}01}{0{,}58} - 2 \cdot \frac{0{,}12}{1{,}69}\right] \cdot 0{,}05 = 0{,}049 \text{ м} \cong 0{,}05 \text{ м}.$$

По формуле (4.4) уточняем общее фактическое сопротивление теплопередаче для всех слоев стены

$$R_o^{\text{ф}} = \frac{1}{8{,}7} + 2 \cdot \frac{0{,}01}{0{,}58} + 2 \cdot \frac{0{,}12}{1{,}69} + \frac{0{,}05}{0{,}05} + \frac{1}{23} = 1{,}33 \text{ м}^2\cdot°\text{C/Вт}.$$

Вывод: условие (4.1) выполнено, так как $R_o^{\text{ф}} > R_{red}$.

Пример 2. Расчет толщины утеплителя покрытия.

Исходные данные.

Тип здания – жилое; конструкция покрытия – многослойная (рис. 4.4а); место расположения здания – г. Москва.

Толщины слоев и их теплотехнические характеристики, а также коэффициенты температурных условий:

– первый слой: железобетонная плита с расчетной шириной 1,0 м и толщиной $\delta_1 = 0{,}25$ м, с четырьмя пустотами, $\lambda_1 = 1{,}69$ Вт/м^2·°С, сопротивление теплопередаче замкнутой воздушной прослойки (пустоты) $R_{\text{в}} = 0{,}15$ м^2·°С/Вт;

– второй слой: пароизоляция (один слой рубероида) толщиной $\delta_2 = 0{,}002$ м, $\lambda_2 = 0{,}17$ Вт/м^2·°С;

– третий слой: утеплитель – гравий керамзитовый (засыпка) толщиной $\delta_3 = ?$, $\lambda_3 = 0{,}108$ Вт/м^2·°С;

– четвертый слой: цементо-песчаный раствор (стяжка) толщиной $\delta_4 = 0{,}03$ м, $\lambda_4 = 0{,}58$ Вт/м^2·°С;

– пятый слой: гидроизоляция (два слоя рубероида) толщиной $\delta_5 = 0{,}004$ м, $\lambda_5 = 0{,}17$ Вт/м^2·°С;

– $n = 1$, $t_{ext} = -26\,°\text{C}$, $t_{int} = 20\,°\text{C}$, $\Delta t_n = 3\,°\text{C}$, $\alpha_{int} = 8{,}7$ Вт/м^2·°С, $\alpha_{ext} = 23$ Вт/м^2·°С.

Решение.

По формуле (4.2) определяем требуемое сопротивление теплопередаче

$$R_{red} = \frac{1{,}0 \cdot [20 - (-26)]}{3 \cdot 8{,}7} = 1{,}76 \text{ м}^2\cdot°\text{С/Вт}.$$

Заменяем круглые сечения пустот на квадратные со стороной

$$a = \frac{0{,}2}{2}\sqrt{3{,}14} = 0{,}177 \text{ м}.$$

Сопротивление теплопередаче материала плиты в направлении А (рис. 4.4б) сначала определяем для двух сечений:

– сечение 1–1 (железобетон толщиной 0,25 м)

$$R_{1-1} = \frac{0{,}25}{1{,}69} = 0{,}148 \text{ м}^2\cdot°\text{С/Вт};$$

– сечение 2–2 (железобетон – воздушная прослойка – железобетон)

$$R_{2-2} = 2 \cdot \frac{0{,}036}{1{,}69} + 0{,}15 = 0{,}193 \text{ м}^2\cdot°\text{С/Вт}.$$

Определяем площадь четырех пустот на 1 п.м длины плиты

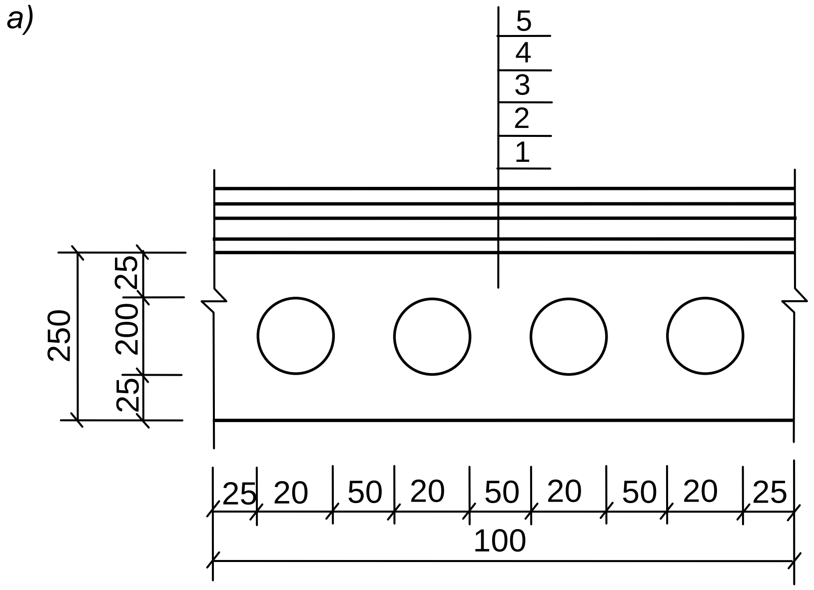
$$A_{1-1} = (0{,}177 \cdot 1) \cdot 4 = 0{,}708 \text{ м}^2,$$

а также площадь межпустотных перегородок на 1 п.м длины плиты

$$A_{2-2} = (0{,}073 \cdot 1) \cdot 3 = 0{,}219 \text{ м}^2.$$

Затем по формуле (4.5) определяем общее сопротивление теплопередаче материалов плиты

$$R_A = \frac{0{,}708 + 0{,}219}{\dfrac{0{,}708}{0{,}148} + \dfrac{0{,}219}{0{,}193}} = 0{,}157 \text{ м}^2\cdot°\text{С/Вт}.$$



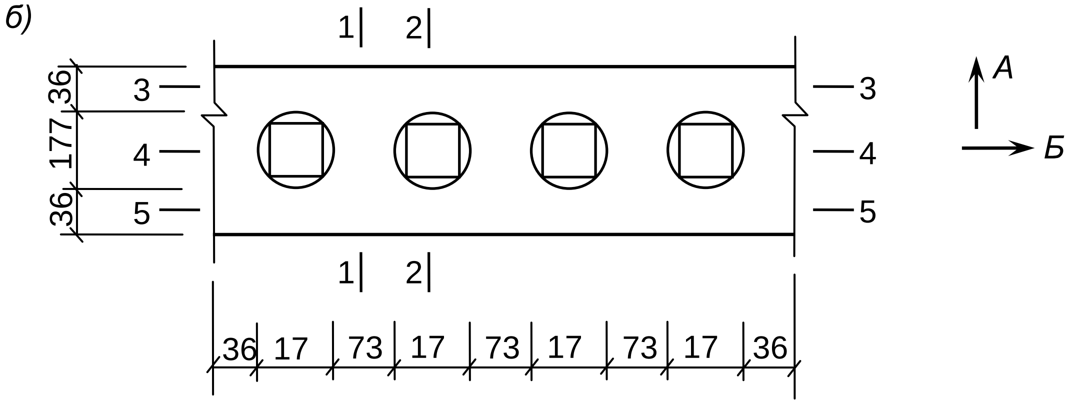


Рис. 4.4. Конструкция покрытия (а) и расчетная схема плиты (б); размеры в мм (железобетонная плита)

Сопротивление теплопередаче материала плиты в направлении Б определяем для трех характерных сечений:

– сечения 3–3 и 5–5 (железобетон, $\delta_{3-3} = \delta_{5-5} = 0{,}036$ м)

$$R_{3-3} = 2 \cdot \frac{0{,}036}{1{,}69} = 0{,}043 \text{ м}^2\cdot{}^\circ\text{С/Вт};$$

– сечение 4–4 (железобетон – воздушная прослойка)

$$R_{4-4} = \frac{0{,}219 + 0{,}708}{\dfrac{0{,}219}{0{,}043} + \dfrac{0{,}708}{0{,}15}} = 0{,}094 \text{ м}^2\cdot{}^\circ\text{С/Вт},$$

$$A_{3-3} = A_{2-2} = 0{,}219 \text{ м}^2,$$

$$A_{в.п.} = A_{1-1} = 0{,}708 \text{ м}^2.$$

Общее сопротивление теплопередаче в направлении Б будет равно

$$R_Б = R_{3-3} + R_{4-4} = 0{,}043 + 0{,}094 = 0{,}137 \text{ м}^2\cdot{}^\circ\text{С/Вт}.$$

Полное приведенное сопротивление теплопередаче материалов плиты (по формуле 4.7) будет равно

$$R_{red,\text{п}} = \frac{0{,}157 + 2 \cdot 0{,}137}{3} = 0{,}144 \text{ м}^2\cdot{}^\circ\text{С/Вт}.$$

Затем, используя формулы (4.1) и (4.4) определяем толщину утеплителя

$$\delta_3 = \left[1{,}76 - \left(\frac{1}{8{,}7} + 0{,}144 + \frac{0{,}002}{0{,}17} + \frac{0{,}03}{0{,}58} + \frac{0{,}004}{0{,}17} + \frac{1}{23}\right)\right] \cdot 0{,}108 =$$

$$= 0{,}147 \text{ м} \cong 0{,}15 \text{ м}.$$

Вывод: так как фактическая толщина утеплителя принята с округлением в большую сторону, то условие (4.1) заведомо будет выполнено.

Исходные данные для выполнения задания

Таблица 4.1

Вариант №№	Назначение здания	Материал плиты покрытия
1 – 8 (17 – 24)	жилое	керамзитобетон
9 – 16 (1 – 8)	общественное	бетон
17 – 24 (9 – 16)	производственное	железобетон

Примечание. В таблице представлены данные для двух учебных групп: без скобок даны данные для первой группы, а в скобках – для второй.

Таблица 4.2

№ вар.	Цементо-песчаный раствор,м		Тяжелый бетон, м		Железо-бетон, м		Керамзито-бетон, м		Кирпичная кладка, м		Вид утеп-лителя
	δ_1	δ_5	δ_2	δ_4	δ_2	δ_4	δ_2	δ_4	δ_2	δ_4	
1	–	0,02	–	–	–	–	–	–	0,125	0,125	1
2	0,01	0,01	0,1	0,12	–	–	–	–	–	–	2
3	0,01	0,01	–	–	0,1	0,1	–	–	–	–	2
4	0,02	0,01	–	–	–	–	0,15	0,15	–	–	1
5	0,01	–	0,15	0,18	–	–	–	–	–	–	3
6	0,02	0,04	0,2	–	–	–	–	–	–	–	3
7	0,02	–	–	–	0,15	0,18	–	–	–	–	4
8	–	–	–	–	–	–	–	–	0,25	0,25	4
9	–	0,02	–	–	–	–	–	–	0,125	0,25	2
10	0,02	0,02	–	–	–	–	0,2	0,25	–	–	2
11	0,02	0,01	0,2	0,25	–	–	–	–	–	–	1
12	0,01	0,02	–	–	0,15	0,2	–	–	–	–	1
13	0,02	0,03	–	–	–	–	0,3	0,15	–	–	1
14	0,01	0,02	0,02	0,3	0,2	–	–	–	–	–	2
15	–	0,02	–	–	–	–	–	–	0,25	0,25	2
16	0,02	0,02	0,2	–	–	–	–	0,2	–	–	2
17	0,01	0,02	–	–	0,2	–	–	–	–	0,125	3
18	0,02	0,01	–	0,25	0,25	–	–	–	–	–	3
19	0,01	0,02	0,2	–	–	–	–	–	–	0,25	3
20	0,01	0,02	0,3	0,2	–	–	–	–	–	–	2
21	0,01	–	–	–	0,3	0,1	–	–	–	–	2
22	–	0,01	–	–	–	–	0,18	0,22	–	–	2
23	–	0,02	–	–	0,2	0,1	–	–	–	–	1
24	0,02	–	–	–	0,25	–	–	0,3	–	–	1

Примечание. Вид утеплителя: 1 – пенополистирол, 2 – пенопласт, 3 - минераловатные плиты, 4 – керамзитовый гравий.

Таблица 4.3

№ вар.	Город	t_{ext}, °С	№ вар.	Город	t_{ext}, °С
1	Алдан	–55	13	Пермь	–36
2	Анадырь	–40	14	Сургут	–43
3	Ачинск	–41	15	Тикси	–44
4	Барнаул	–39	16	Томск	–40
5	Бодайбо	–47	17	Тында	–42
6	Братск	–43	18	Тюмень	–37
7	Верхоянск	–59	19	Улан–Удэ	–37
8	Енисейск	–46	20	Ханты–Мансийск	–41
9	Курган	–37	21	Хатанга	–50
10	Кызыл	–48	22	Чита	–38
11	Нерчинск	–44	23	Якутск	–55
12	Омск	–37	24	Томск	–40

Таблица 4.4

№ п.п.	Материал	Плотность, γ_n, кг/м^3	Коэффициент теплопроводности, λ, Вт/м$^2\cdot$°С
1	Тяжелый бетон	2400	1,51
2	Железобетон	2500	1,69
3	Керамзитобетон	500	0,14
4	Кирпичная кладка	1800	0,56
5	Цементо-песчаный раствор	1800	0,58
6	Минераловатные плиты	350	0,091
7	Пенополитирол	150	0,05
8	Пенопласт	125	0,052
9	Рубероид	600	0,17
10	Гравий керамзитовый	300	0,108

5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ БАЛКИ СОСТАВНОГО СЕЧЕНИЯ

Общие положения

В аэропортостроении металлические балки составного сечения применяют в большепролетных покрытиях аэровокзалов, ангаров, грузовых складов и прочих зданиях и сооружениях. Они могут быть одно- и многопролетные, одно- и двухконсольные, консольные, а в расчетном отношении – статически определимые (разрезные) и статически неопределимые (неразрезные).

Сечения таких балок проектируют составными: сварными или клепаными. Сварные балки компонуют из листовой стали (рис. 5.1а), а клепаные также из листовой стали и прокатных уголков (рис. 5.1б). Относительно горизонтальной оси сечение балки может быть как симметричное, так и несимметричное. По сравнению с клепаными сварные балки обладают меньшей материалоемкостью и трудоемкостью изготовления, что, собственно, и обусловило их наибольшее распространение.

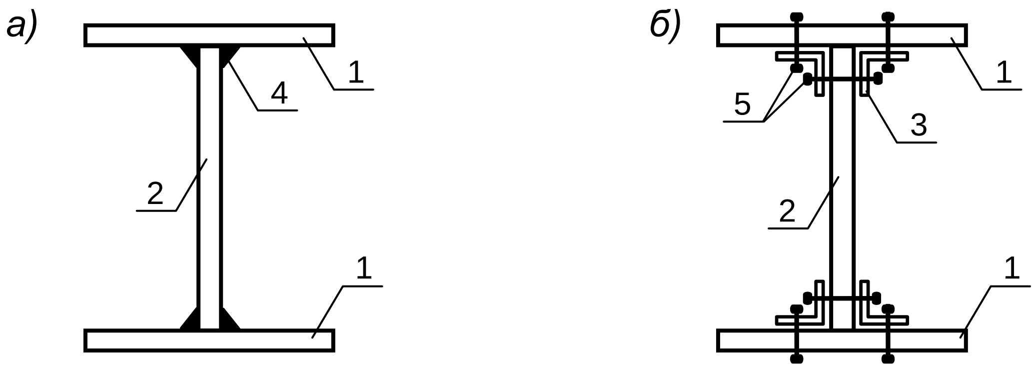


Рис. 5.1. Сечения сварных (а) и клепаных (б) балок: 1 – поясные листы, 2 – стенка, 3 – уголки, 4 – сварные швы, 5 – заклепки

В конструкции покрытия составные балки являются главными несущими элементами, а их опорами могут быть колонны, несущие стены и прочие конструкции. Расположение балок в плане может отвечать поперечной, поперечно-продольной и продольной схемам (см.

задание 6, рис. 6.2). Пролет l и шаг балок b назначают исходя из общего объемно-планировочного и конструктивного решений здания или сооружения.

Расчет балок, загруженных равномерно распределенной нагрузкой, выполняют в следующей последовательности.

1. Выбор исходных данных осуществляют согласно варианту задания по табл. 5.1.

2. Определение нормативных $\boldsymbol{q_n}$ и расчетных $\boldsymbol{q}$ нагрузок

$$q_n = \left(\sum g_{n,i} + \frac{S_g}{\gamma_{f,c}} + g_b \right) \cdot b, \tag{5.1}$$

$$q = \sum g_{n,i} \cdot \gamma_{f,i} + S_g + g_b \cdot \gamma_{f,b} \cdot b, \tag{5.2}$$

где $g_{n,i}$ – собственный вес материала i-го слоя конструкции покрытия; S_g – расчетная снеговая нагрузка; g_b – собственный вес балки можно принять равным 50–70 кг/м^2; $\gamma_{f,c} = 1{,}4$, $\gamma_{f,b} = 1{,}05$ – коэффициенты надежности по нагрузке от снега и балки соответственно; $\gamma_{f,i}$ – коэффициенты надежности по нагрузке от веса материала i-го слоя конструкции покрытия.

Конструкция покрытия выбирается самостоятельно. При этом в его состав могут входить плиты из железобетона ($\gamma = 2500$ кг/м^3, $\gamma_f = 1{,}1$), выравнивающие стяжки ($\gamma = 1600$ кг/м^3, $\gamma_f = 1{,}2$), гидроизоляционные материалы ($\gamma = 600$ кг/м^3, $\gamma_f = 1{,}2$), теплоизоляционные материалы ($\gamma = 600 - 900$ кг/м^3, $\gamma_f = 1{,}2$).

3. Определение расчетных усилий.

В качестве расчетной схемы принимают однопролетную балку с шарнирными опорами. Тогда

$$M = \frac{ql^2}{8}, \; Q = \frac{ql}{2}. \tag{5.3}$$

4. Подбор сечения балки сводится к определению геометрических размеров и характеристик сечения. Для его выполнения рекомендуется следующий алгоритм.

4.1. Вычисляют требуемый момент сопротивления сечения

$$W = \frac{M}{R_y}, \tag{5.4}$$

где $R_y = 2850$ кг/см^2 – расчетное сопротивление стали марки С285 по пределу текучести.

4.2. Высоту сечения определяют из формулы относительного прогиба (здесь не приводится), равного предельному $[f_u/l] = 1/300$, т.е.

$$h = 62{,}5\frac{q_n \cdot l \cdot R_y}{E_s \cdot q}, \tag{5.5}$$

где $E_s = 2{,}1 \cdot 10^6$ кг/см^2 – модуль упругости стали.

4.3. Определение толщины стенки проводится по формуле

$$t_w = \ 7 + 3h \quad \text{мм}. \tag{5.6}$$

В формулу 5.6 h подставляют в метрах.

4.4. Определяем требуемую площадь пояса по выражению

$$A_f = \frac{W}{h} - \frac{t_w \cdot h}{6}. \tag{5.7}$$

Ширину пояса находят из условия

$$\frac{b_f}{t_f} \le 30. \tag{5.8}$$

Толщину пояса находят по формуле

$$t_f = \frac{A_f}{b_f}. \tag{5.9}$$

4.5. Полученные расчетные размеры стенки и поясов округляют до унифицированных толщин листовой стали и затем вычисляют окончательные геометрические размеры и характеристики сечения:

– высота стенки

$$h_w = h - 2t_f; \tag{5.10}$$

– момент инерции относительно оси $\boldsymbol{x}$

$$I_x = \frac{t_w \cdot h_w^3}{12} + 2A_f \cdot \left(\frac{h_w}{2} + \frac{t_f}{2}\right)^2; \tag{5.11}$$

– момент сопротивления

$$W_x = \frac{2I_x}{h}; \tag{5.12}$$

– статический момент половины сечения относительно оси x

$$S_x = A_f \cdot \left(\frac{h_w}{2} + \frac{t_f}{2} \right) + \frac{A_w \cdot h_w}{8}, \qquad (5.13)$$

где A_w – площадь сечения стенки.

5. Проверяют выполнение условия прочности

$$\sigma = \frac{M}{W_x} \le R_y. \qquad (5.14)$$

6. Проверяют выполнение условия жесткости

$$f = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_n \cdot l^4}{EI_x} \le [f_u] = \frac{l}{300}, \qquad (5.15)$$

где f и f_u – расчетный и предельный прогибы соответственно.

7. Проверка сечения на срез у опоры

$$\tau = \frac{Q \cdot S_x}{I_x \cdot t_w} \le R_s, \qquad (5.16)$$

где $R_s = 1300$ кг/см^2 – расчетное сопротивление срезу.

8. Определение высоты катета сварных швов, соединяющих стенку с поясами, проводят по формуле

$$k_f = \frac{Q \cdot S_f}{2I_x \cdot \beta_f \cdot R_{wf}}, \qquad (5.17)$$

где $S_f = A_f \cdot \left(\frac{h}{2} - \frac{t_f}{2} \right)$ – статический момент листа пояса; $\beta_f = 0{,}7$ – коэффициент, учитывающий вид сварки и положение шва; $R_{wf} = 1850$ кг/см^2 – расчетное сопротивление углового шва срезу.

Пример. Определить размеры сечения составной балки и проверить ее прочность и жесткость.

Исходные данные.

Балка однопролетная статически определимая: пролет $l = 18$ м, шаг балок $b = 6$ м, собственный вес $g_{n,b} = 70$ кг/м^2. На верхние полюса балок опираются сталеалюминиевые панели: $g_n = 30$ кг/м^2. Снеговой район II: $S_g = 120$ кг/м^2.

Решение.

Используя формулы (5.1)–(5.17) определяем:

– нормативную нагрузку

$$q_n = \left(30 + \frac{120}{1{,}4} + 70\right) \cdot 6 = 1114{,}3 \text{ кг/м};$$

– расчетную нагрузку

$$q = \left(30 \cdot 1{,}1 + 120 + 70 \cdot 1{,}05\right) \cdot 6 = 1359{,}0 \text{ кг/м};$$

– расчетный изгибающий момент

$$M = \frac{1359{,}0 \cdot 18^2}{8} = 55039{,}5 \text{ кг·м};$$

– расчетную поперечную силу

$$Q = \frac{1359{,}0 \cdot 18}{2} = 12231{,}0 \text{ кг};$$

– требуемый момент сопротивления сечения

$$W = \frac{55039{,}0 \cdot 10^2}{2850} = 1931{,}2 \text{ см}^3;$$

– высоту сечения

$$h = 62{,}5 \cdot \frac{1114{,}3 \cdot 10^2 \cdot 2850 \cdot 18 \cdot 10^2}{2{,}1 \cdot 10^6 \cdot 1359{,}0 \cdot 10^2} = 125{,}2 \text{ см},$$

округляем до $h = 130$ см;

– толщину стенки

$$t_w = 7 + 3 \cdot 1{,}3 = 10{,}9 \text{ мм};$$

– площадь пояса

$$A_f = \frac{1931{,}2}{130} = 14{,}9 \text{ см};$$

– ширину и толщину пояса: назначаем $b_f = 20$ см и $t_f = 1{,}0$ см (так как $20/1 < 30$, то условие 5.8 выполняется).

Используя сортамент листовой стали, назначаем: $t_f = 1{,}0$ см $t_w = 1{,}2$ см. Тогда высота стенки будет равна

$$h_w = 130 - 2 = 128 \text{ см}.$$

Определяем геометрические характеристики принятого сечения (рис. 5.2), симметричного относительно оси x:

– момент инерции

$$I_x = \frac{1{,}2 \cdot 128^3}{12} + 2 \cdot 20 \cdot \left(\frac{128}{2} + \frac{1}{2}\right)^2 = 376125{,}2 \text{ см}^4;$$

– момент сопротивления

$$W_x = \frac{2 \cdot 376125{,}2}{130} = 5786{,}5 \text{ см}^3;$$

– статический момент половины сечения

$$S_x = 20 \cdot \left(\frac{128}{2} + \frac{1}{2} \right) + \frac{1{,}2 \cdot 128 \cdot 128}{8} = 3747{,}6 \text{ см}^3.$$

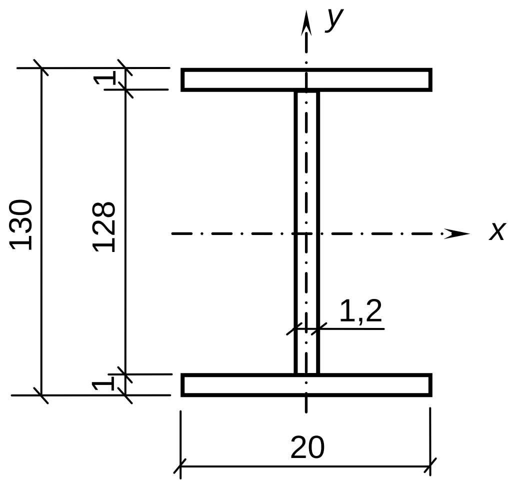


Рис. 5.2. Сечение составной балки (размеры в см)

Проверка прочности

$$\sigma = \frac{55039 \cdot 10^2}{5274{,}5} = 1043{,}5 \text{ кг/см}^2 < R_y = 2850 \text{ кг/см}^2.$$

Проверка жесткости

$$f = \frac{5}{384} \cdot \frac{1114{,}3 \cdot 10^{-2} \cdot 1800^4}{2{,}1 \cdot 10^6 \cdot 376125{,}2} = 1{,}93 \text{ см} < \frac{600}{300} = 2 \text{ см}.$$

Проверка на срез

$$\tau = \frac{12231{,}0 \cdot 3747{,}6}{376125{,}2 \cdot 1{,}2} = 101{,}6 \text{ кг/см}^2 < R_s = 1300 \text{ кг/см}^2.$$

Определение высоты катета шва

$$S_f = 20 \cdot \left(\frac{130}{2} - \frac{1}{2} \right) = 1290 \text{ см}^3,$$

$$k_f = \frac{12231{,}0 \cdot 1290}{2 \cdot 376125{,}2 \cdot 0{,}7 \cdot 1850} = 0{,}02 \text{ см}.$$

Высоту катета принимаем равной 6 мм.

Исходные данные для выполнения задания

Таблица 5.1

№ вар.	*l*, м	*b*, м	Снеговой район	№ вар.	*l*, м	*b*, м	Снеговой район
1	18	9 (7)	IV	14	18	8 (6)	III
2	20			15	20		
3	22		III	16	22		IV
4	24			17	24		
5	26		II	18	26		I
6	28			19	28		
7	30	6 (8)	III	20	30	7 (9)	IV
8	32			21	32		
9	34		II	22	34		III
10	36			23	36		
11	38		I	24	38		II
12	40			25	40		
13	42			26	42		

Примечание. В таблице представлены данные для двух учебных групп: в столбце (*b*) без скобок даны данные для первой группы, а в скобках – для второй.

6. ПРОЕКТИРОВАНИЕ АНГАРНОЙ СЕКЦИИ

Общие положения

Ангар состоит из одной или нескольких секций для размещения воздушных судов и примыкающих к ним пристроек.

Расстановка самолетов в секции производится в один или два ряда, а сама секция может быть либо тупикового, либо проходного типа (рис. 6.1).

Внутренние габариты тупиковой и проходной схем ангарной секции при одно- и двухрядной расстановках самолетов (рис. 6.1) определяются:

$$\left.\begin{aligned} l &= n \cdot b_c + (n+1) \cdot B + 2 \cdot n \cdot a \\ b &= k \cdot l_c + k \cdot B + 2 \cdot k \cdot a + A \end{aligned}\right\}, \tag{6.1}$$

где l и b – пролет (ширина по фронту ворот) и глубина секции; n и k – количество и число рядов самолетов; l_c и b_c – длина и размах крыла самолета (при разнотипных самолетах принимаются размеры наибольшего); A, B и a – ширина проездов и рабочей зоны дока, которые зависят от типа обслуживаемого самолета. При вариантном проектировании можно принять $A = B = 3{,}5$ м и $a = 2$ м.

Высота ангарной секции H до низа несущих конструкций покрытия составляет

$$H = h_c + h_0, \tag{6.2}$$

где h_c – высота самолета; h_0 – суммарная высота технологического зазора, подвесного кранового оборудования и подкрановых путей (ориентировочно 4–6 м).

Наибольшее распространение для покрытий ангаров получили конструкции балочного типа (балки, фермы), поэтому такие покрытия принято классифицировать по их компоновочной схеме. При этом в зависимости от расположения главной несущей конструкции относительно плоскости ангарных ворот применяются поперечная, поперечно-продольная и продольная компоновочные схемы.

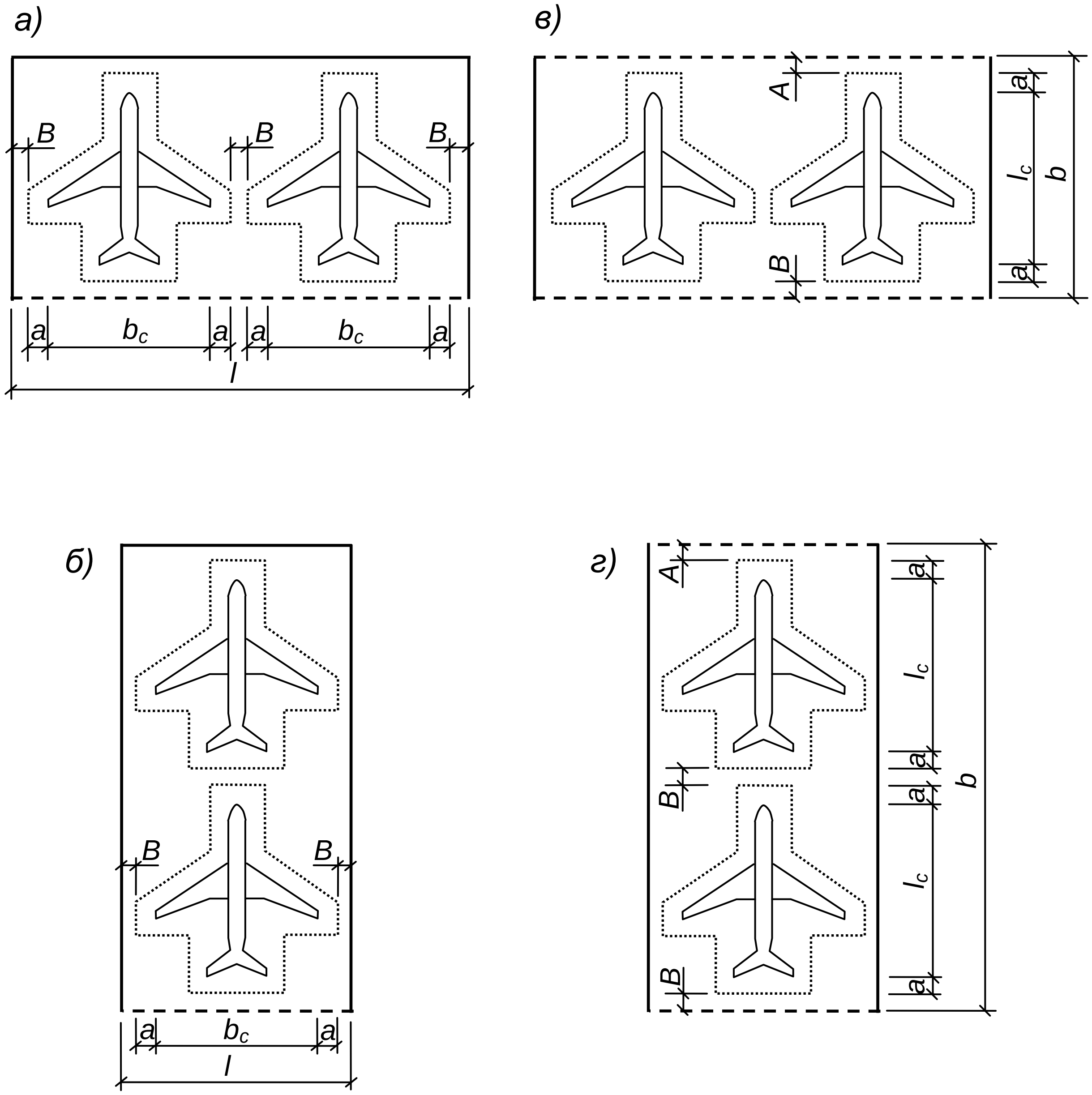


Рис. 6.1. Схемы расстановки самолетов в ангарных секциях тупикового (а, б) и проходного (в, г) типов:
а, в – однорядная; б, г – двухрядная;
……… – доковые платформы; ------ – воротный проем

Поперечная схема компоновки предусматривает расположение несущих конструкций параллельно плоскости ворот (рис. 6.2а).

При поперечно-продольной схеме главная несущая конструкция размещается либо в плоскости ворот (рис. 6.2б), либо смещена внутрь секции (рис. 6.2 в), и она же служит опорой для стропильных ферм или балок (второстепенные несущие конструкции).

Расположение конструкций перпендикулярно воротам отвечает продольной компоновке (рис. 6.2 г, д). Закрепление консольных (рис. 6.2г) или консольно-подвесных (рис. 6.2д) конструкций осуществляется к каркасу пристройки.

Установлено, что металлоемкость покрытия зависит от вида компоновочной схемы. Например, из табл. 6.1 видно, что при $l/b = 1{,}5$ наиболее эффективна поперечно-продольная схема.

Таблица 6.1

Область применения компоновочных схем в зависимости от l/b

Схема компоновки	l/b			
	1,0–1,4	1,4–2,0	2,0–2,45	$\geq$ 2,45
Поперечная				
Поперечно-продольная				
Продольная				

Примечание. – эффективная; – малоэффективная.

Недостаток балочных систем – большая строительная высота несущих конструкций (h_k). Так, для балок и ферм (рис. 6.2 а–в) отношение h_k к пролету l составляет $1/7 - 1/12$ для схемы, показанной на рис. 6.2д.

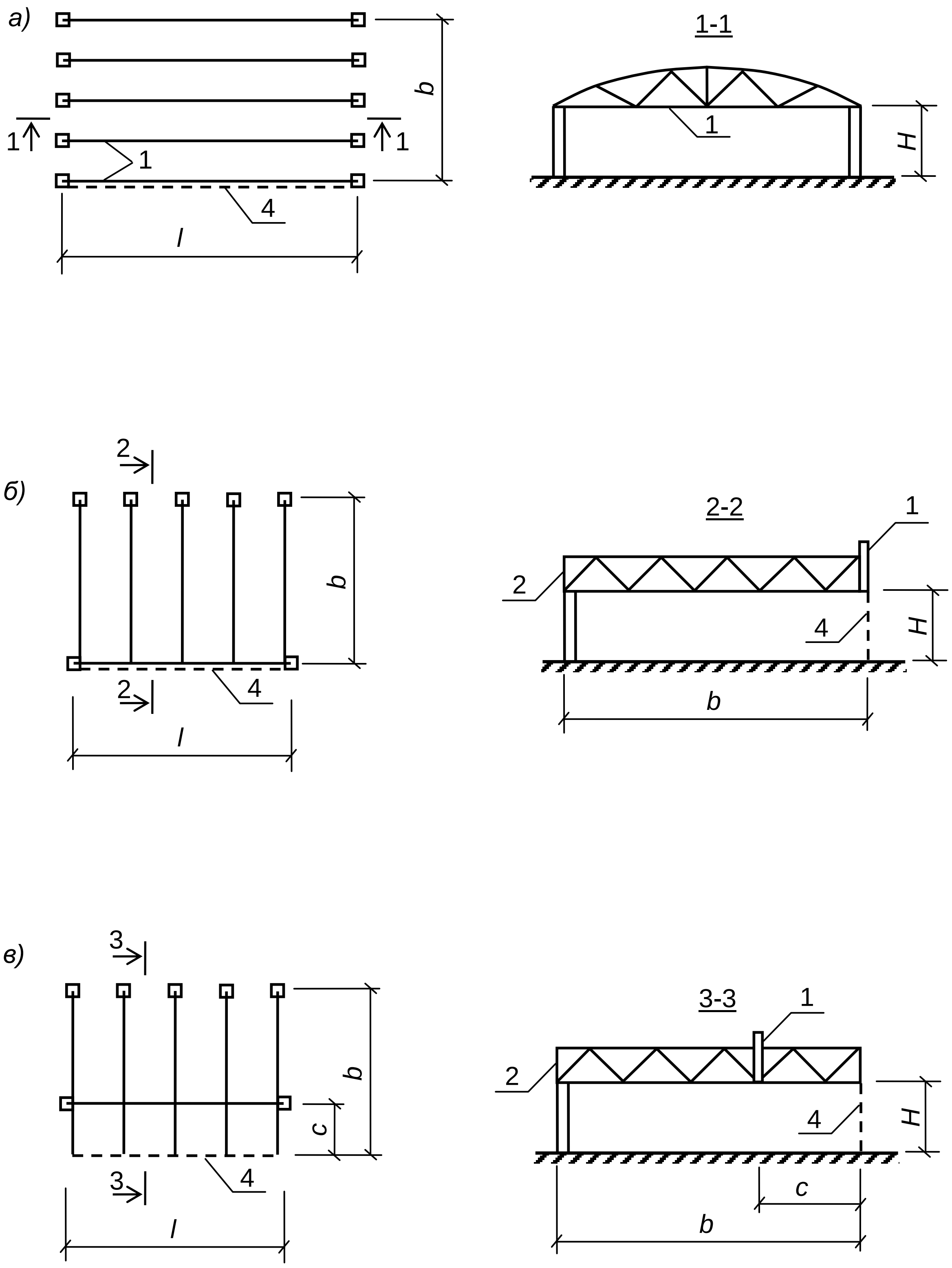
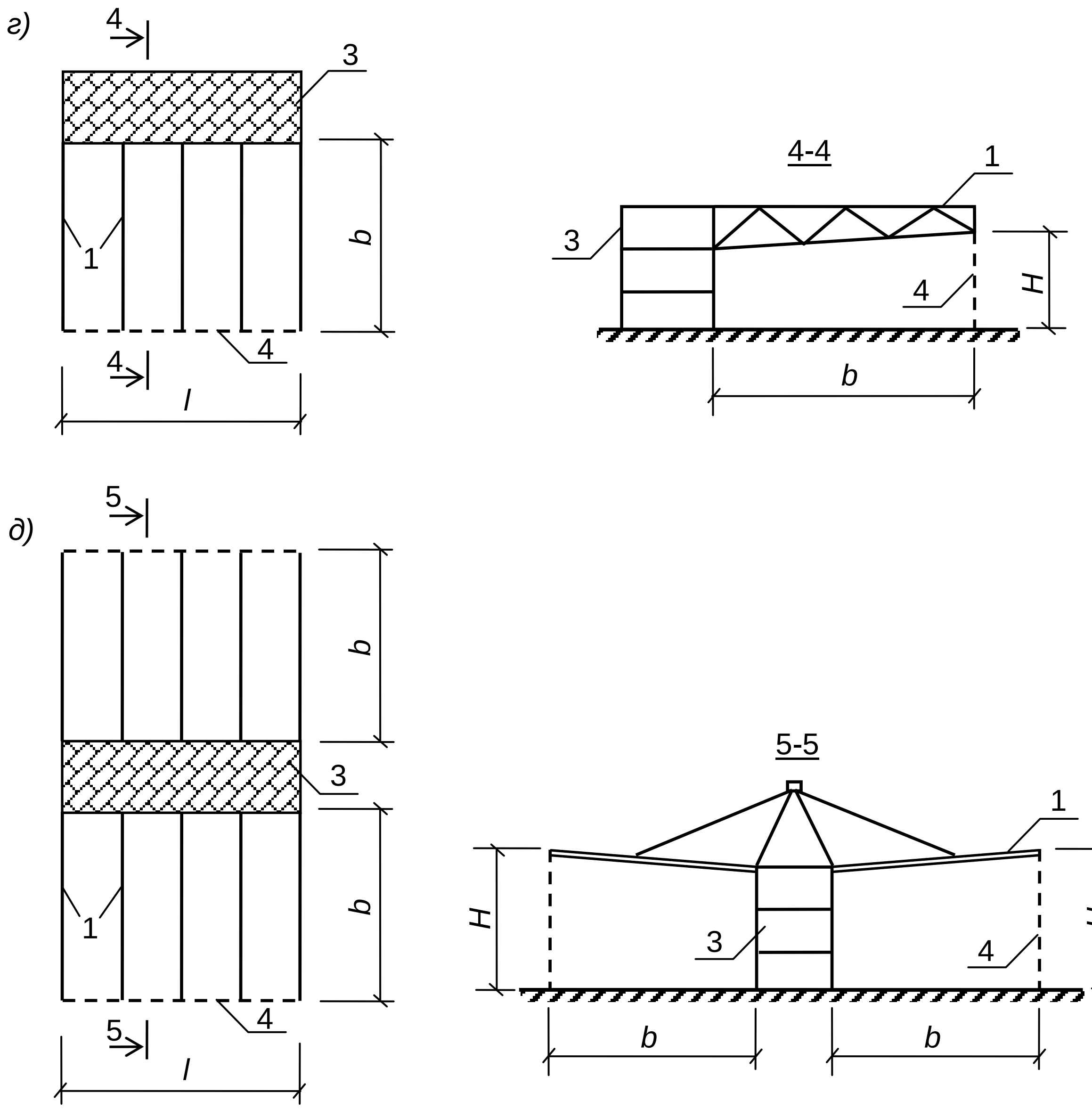


Рис. 6.2. Схемы компоновок конструкций покрытия: а – поперечная, б, в – поперечно-продольная, г, д – продольная; 1, 2 – соответственно главные и второстепенные несущие конструкции, 3 – пристройка, 4 – воротный проем



Продолжение рис. 6.2

Наличие этого недостатка приводит к значительному объему покрытия, что существенно повышает затраты на его эксплуатацию. Снижение объема можно осуществлять различными путями. Например, для балочных конструкций – за счет изменения профиля покрытия в продольном (рис. 6.3а) или поперечном (рис. 6.3б) направлениях.

Пример. Определить параметры ангарной секции и выбрать оптимальную компоновочную схему конструкций покрытия.

Исходные данные.

Вид секции – тупиковый; схема расстановки самолетов – однорядная; самолет Ан-74: $l_c = 28{,}07$ м, $b_c = 31{,}89$ м, $h_c = 8{,}65$ м.

Решение.

Используя формулы (6.1) и (6.2) и однорядную схему расстановки самолетов (рис. 6.1а) определяем:

– пролет секции

$$l = 31{,}89 + 2 \cdot 3{,}5 + 2 \cdot 2 = 42{,}89 \text{ м} \approx 43{,}0 \text{ м};$$

– глубину секции

$$b = 28{,}07 + 3{,}5 + 2 \cdot 2 + 3{,}5 = 39{,}07 \text{ м} \approx 39{,}0 \text{ м};$$

– высоту секции

$$H = 8{,}65 + 6 = 14{,}65 \text{ м} \approx 15{,}0 \text{ м}.$$

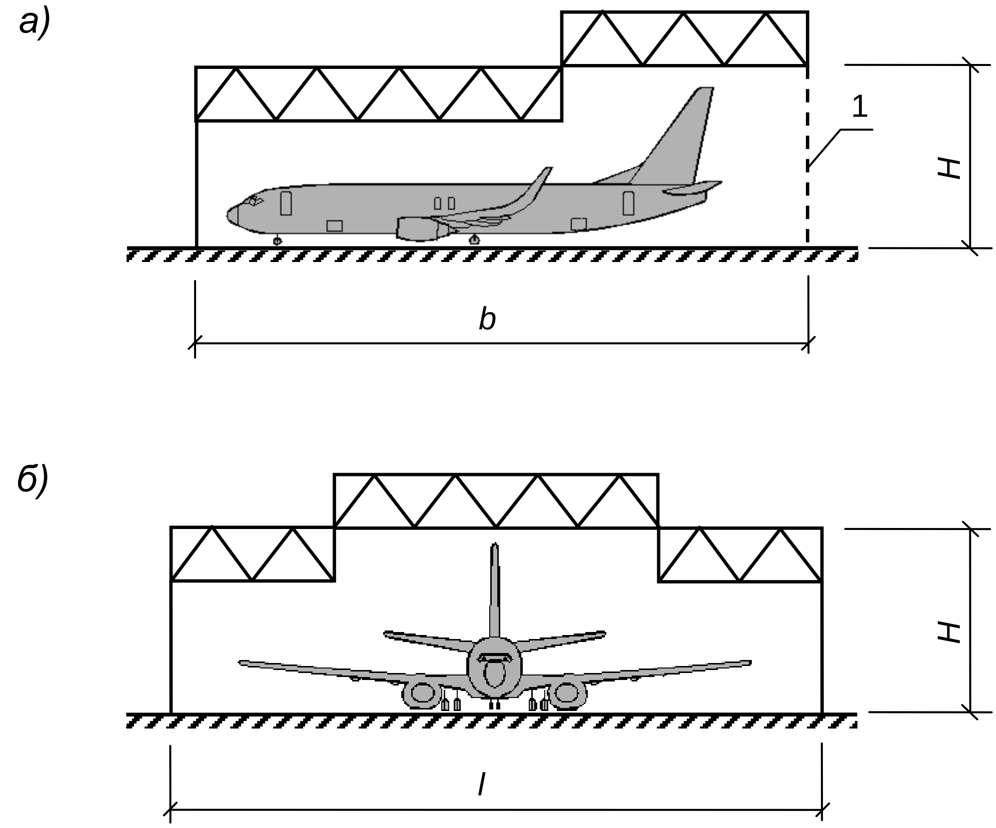


Рис. 6.3. Изменение профиля покрытия в продольном (а) и поперечном (б) направлениях: 1 – плоскость ворот

Площадь и объем секции равны

$$A = 1677 \text{ м}^2,\ V_c = 25155 \text{ м}^3.$$

Отношение $l/b = 43/39 = 1{,}1$. По таблице 6.1 принимаем поперечную компоновку конструкций из ферм с параллельными поясами высотой $h_k = l/10 = 43/10 = 4{,}3$ м.

Тогда объем покрытия составит

$$V_П = 43 \cdot 39 \cdot 4{,}3 = 7211{,}1 \text{ м}^3,$$

а общий объем ангара

$$V_а = V_с + V_П = 25155 + 7211{,}1 = 32366{,}1 \text{ м}^3.$$

Снижение объема ангара осуществим за счет изменения профиля покрытия в продольном направлении (рис. 6.3а). Для этого часть покрытия размером 43×30 м «опустим» вниз до отметки +10,7 м (рис. 6.4).

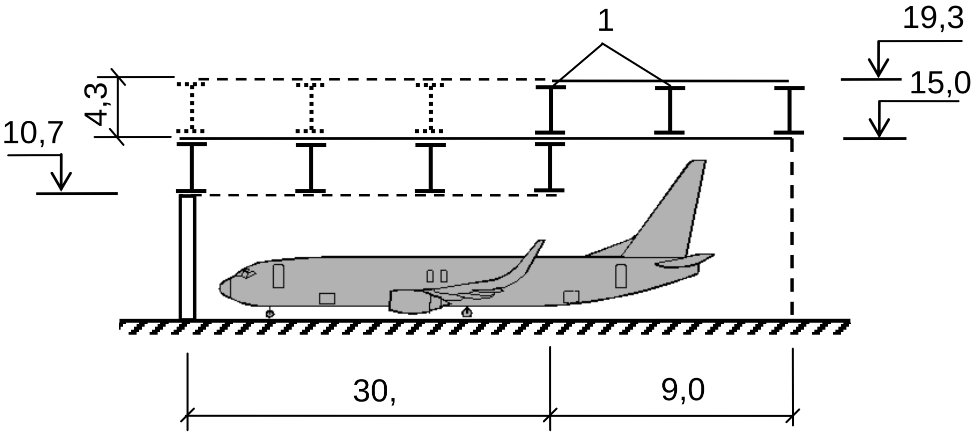


Рис. 6.4. Изменение формы покрытия в продольном направлении: 1 – фермы (размеры в м)

Тогда уменьшенный объем ангара составит

$$V_а = 32366{,}1 - 43 \cdot 30 \cdot 4{,}3 = 26819{,}1 \text{ м}^3,$$

что позволит снизить расходы, например, на отопление ангара на 17,2%.

Исходные данные для выполнения задания

Таблица 6.2

Вариант	Вид секции	Схема расстановки самолетов	Количество самолетов
1 – 6 (19 – 24)	тупиковая	однорядная	3
7 – 12 (13 – 18)	проходная	двухрядная	2
13 – 18 (17 – 12)	тупиковая	двухрядная	4
19 – 24 (1 – 6)	проходная	однорядная	2

Примечание. В таблице представлены данные для двух учебных групп: без скобок даны данные для первой группы, а в скобках – для второй.

Таблица 6.3

№ вар.	Тип самолета	Геометрические характеристики		
		Длина самолета, м	Размах крыла, м	Высота самолета, м
1	Ан-74	28,07	31,89	8,65
2	Ан-140-100	22,60	25,50	8,22
3	Ан-148	28,59	28,90	8,20
4	Ан-124-100	69,10	73,30	21,10
5	Ил-76Т	46,60	50,50	14,80
6	Ил-86	60,20	48,06	15,81
7	Ил-96-300	55,35	60,11	17,57
8	Ил-96Т	63,94	60,10	15,72
9	Ил-114	26,88	30,00	9,19
10	Ту-154Б	48,00	37,50	11,40
11	Ту-204-100	46,13	41,83	13,88
12	Ту-214	46,13	40,83	13,88
13	Як-40	20,36	25,00	6,50
14	Як-42	36,38	34,88	9,83
15	Як-48	22,79	19,06	6,37
16	А-310-200	46,66	43,90	15,80
17	А-319-100	33,84	34,10	11,76
18	А-320-200	37,57	34,10	11,76
19	А-380	70,80	79,80	24,10
20	В-737-200	30,53	28,90	11,10
21	В-737-400	36,40	28,90	11,10
22	В-747-400/С	70,66	64,44	19,41
23	В-757-200	47,30	38,00	13,60
24	В-777-200	63,70	47,57	15,85

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Используя материалы пособия, студенты имели возможность ознакомиться с относительно широким диапазоном вопросов, решаемых при разработке реальных проектов как зданий и сооружений различного назначения в целом, так и их отдельных несущих и ограждающих конструкций.

Несколько независимых друг от друга разделов, построенных на реальных примерах, по принципу «от теории к практике», включающих не только специфические сведения по изучаемой дисциплине, но и знания учащихся, полученные при изучении строительной механики, сопротивления материалов, строительных материалов, а также архитектуры должны помочь освоить проектирование строительных конструкций, что весьма важно для реализации студентами своих знаний на производстве.

Для сокращения трудоемкости выполнения расчетно-графических работ в пособии приведен весь необходимый справочный материал.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что понимают под «системой дорожного сервиса»?
2. Что объединяет система дорожного сервиса?
3. Какие нагрузки действуют на информационные щиты?
4. По какой группе предельных состояний проводится расчет информационных щитов?
5. Какие внутренние силовые факторы возникают в стойках информационных щитов при воздействии на них ветровой нагрузки?
6. Какие напряжения возникают в стойках информационных щитов при воздействии на них ветровой нагрузки?
7. Какое сечение стойки является опасным?
8. Как записывается условие прочности при использовании энергетической теории прочности?
9. По какой формуле вычисляют эквивалентные напряжения при использовании энергетической теории прочности?
10. Напишите формулу для определения эквивалентного момента.
11. Напишите формулу для вычисления эквивалентных напряжений через эквивалентный момент.
12. Что понимают под комфортными условиями помещений?
13. Какие существуют виды теплопередачи?
14. Что понимают под рабочей зоной помещения?
15. В какой зоне помещения температура воздуха принимается равной расчетной?
16. Каковы теплофизические свойства материалов?
17. Что входит в состав ограждающих конструкций?
18. В чем суть теплотехнического расчета ограждения?
19. Какова формула сопротивления теплопередаче однослойной конструкции?
20. Какова формула сопротивления теплопередаче многослойной конструкции?
21. Что понимается под однородностью материала ограждающей конструкции?

22. В чем состоит физический смысл коэффициента теплопроводности материала.

23. От чего зависит теплопроводность материала?

24. Каков порядок расчета однослойных конструкций из однородного материала?

25. Каков порядок расчета многослойных конструкций из однородных материалов?

26. Как влияет влажность материала на его теплопроводность?

27. Как влияет пористость материала на его теплопроводность?

28. Каков порядок расчета многослойных конструкций, имеющих слои с нарушенной однородностью?

29. Что означает требуемое сопротивление теплопередаче?

30. Что понимается под нормируемым перепадом температур?

31. Как распространяется тепловой поток в зимнее и летнее время?

32. Назовите область применения составных балок.

33. Назовите виды составных балок.

34. Перечислите достоинства и недостатки составных балок.

35. Когда возникает необходимость применения составных балок.

36. Назовите состав сечения составных балок.

37. Как компонуются балки в покрытии?

38. Как влияние пролет и шаг балок на величину изгибающего момента?

39. В каких сечениях пролета возникают M_{max} и Q_{max}?

40. Как влияют виды опор на расчетную схему балки?

41. К какой группе предельных состояний относится расчет прочности балки?

42. К какой группе предельных состояний относится расчет жесткости балки?

43. В каких сечениях пролета в стенке и поясах возникают σ_{max} и τ_{max}?

44. В чем смысл общей и местной устойчивости балки?

45. В каких случаях ставятся ребра жесткости?

46. Что понимается под строительной высотой балочного покрытия?

47. Назовите виды ангарных пристроек и расскажите об их назначении.

48. Какие виды компоновок несущих конструкций покрытия вам известны?

49. Назовите достоинства и недостатки поперечной компоновки.

50. Назовите достоинства и недостатки поперечно-продольной компоновки.

51. Назовите достоинства и недостатки продольной компоновки.

52. Какие бывают схемы расстановки самолетов в секции?

53. Перечислите схемы ангарных секций.

54. Какие факторы влияют на параметры секции?

55. Какие факторы влияют на экономичность строительного решения ангара?

56. Назовите виды ангаров и дайте их классификацию?

57. Перечислите конструктивные особенности ангаров.

58. Назовите несущие и ограждающие конструкции ангаров.

59. Приведите классификацию ангарных ворот.

60. Какие требования предъявляют к полам в ангарах?

61. Какие требования предъявляют к воротам ангаров?

62. В чем состоят особенности несущих конструкций покрытий?

63. Назовите способы уменьшения объема ангара.

64. Перечислите виды полов.

65. Какие факторы влияют на увеличение габаритов ангарной секции?

66. Что понимается под реконструкцией ангара?

ЛИТЕРАТУРА

1. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий. – М.: ГОССТРОЙ России, 2004.

2. СНиП 2.01.01-82. Строительная климатология и геофизика. – М.: Стройиздат, 1983.

3. СП 53-102-2004. Общие правила проектирования стальных конструкций. – М.: ФГУП ЦПП, 2005.

4. СНиП 2.01.07-85*. Нагрузки и воздействия. – М.: ФГУП ЦПП, 2006.

5. Васильев, А.А. Металлические конструкции / А.А. Васильев. – М.: Стройиздат, 1976.

6. Еремкин, А.И. Тепловой режим зданий: учеб. пособие / А.И. Еремкин, Т.И. Королева. – М.: Изд-во АСВ, 2000.

7. Ицкович, Г.М. Руководство к решению задач по сопротивлению материалов / Г.М. Ицкович, Л.С. Минин, А.И. Винокурова. – М.: Высшая школа, 1999.

8. Лихтарников, Я.М. Металлические конструкции. Методы технико-экономического анализа при проектировании / Я.М. Лихтарников. – М.: Стройиздат, 1968.

9. Федулов, В.К. Ангары / В.К. Федулов. – М., 2010.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Учебное издание

ФЕДУЛОВ Владимир Куприянович
АРТЕМОВА Людмила Юрьевна

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Учебное пособие

Редактор Т.А. Феоктистова

Подписано в печать 04.12.2014 г. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 3,25. Тираж 300 экз. Заказ . Цена 60 руб.
МАДИ, Москва, 125319, Ленинградский пр-т, 64