



Федеральное агентство по рыболовству
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Астраханский государственный технический университет»
Система менеджмента качества в области образования, воспитания, науки и инноваций сертифицирована DQS
по международному стандарту ISO 9001:2015

Институт Градостроительства

Кафедра «Строительство»

КОНСТРУКЦИИ ИЗ ДЕРЕВА И ПЛАСТМАСС

Методические указания
по выполнению практических работ

Направление подготовки - **08.03.01 Строительство**

Профиль подготовки - **Промышленное и гражданское строительство**

Квалификация (степень) выпускника - **бакалавр**

Форма обучения - **очная / заочная**

Астрахань - 2022

Составитель:

Губа О.Е, к.т.н., доцент кафедры «Строительство» ФГБОУ ВО «Астраханский Государственный Технический Университет».

Рецензент: Умеров Р.З. – к.э.н., доцент, зав. каф. «Строительство» ФГБОУ ВО «Астраханский Государственный Технический Университет».

Конструкции из дерева и пластмасс. Методические указания по выполнению практических работ/ ФГБОУ ВО «АГТУ» – Астрахань, 2022 г. – 80 стр.

Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании кафедры «Строительство» «31» августа 2022 г., протокол №_8_

Содержание:

	Стр.
Введение.....	4
РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ДЕРЕВА И ПЛАСТМАСС.....	5
Практическая работа № 1. Центральное растяжение и сжатие	5
Практическая работа № 2. Поперечный изгиб.....	14
СОЕДИНЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ.....	18
Практическая работа № 3. Контактные соединения (упоры, лобовые врубки).....	18
Практическая работа № 4. Соединения на нагелях.....	23
ОГРАЖДАЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ.....	33
Практическая работа № 5. Настилы.....	34
Практическая работа № 6. Панели.....	38
КЛЕЕННЫЕ БАЛКИ.....	48
Практическая работа № 7. Клеедощатые балки.....	48
Практическая работа № 8. Клеефанерные балки.....	53
УСИЛЕНИЕ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ.....	58
Практическая работа № 9. Усиление деревянных конструкций.....	66
Список использованных источников.....	67

Введение

Цель методических указаний: оказание помощи обучающимся в выполнении практических работ по дисциплине «Конструкции из дерева и пластмасс».

Настоящие методические указания содержат работы, которые позволят обучающимся самостоятельно овладеть фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю подготовки и направлены на формирование следующих компетенций:

ПК-1: Способность проводить оценку технических и технологических решений в сфере промышленного и гражданского строительства

ПК-4: Способность проводить расчетное обоснование и конструирование строительных конструкций зданий и сооружений промышленного и гражданского назначения

В результате выполнения самостоятельных работ по дисциплины «Конструкции из дерева и пластмасс» обучающиеся должны:

Знать:

ПК-1.1. Информацию об основных параметрах технических и технологических решений в сфере промышленного и гражданского строительства

ПК-1.2. Нормативно-технические документы, устанавливающие требования к зданиям (сооружениям) промышленного и гражданского назначения

ПК-4.1. Основные принципы выбора исходной информации и нормативно-технических документов для выполнения расчётного обоснования проектных решений здания (сооружения) промышленного и гражданского назначения

ПК-4.2. Нормативно-технические документы, устанавливающие требования к расчётному обоснованию проектного решения здания (сооружения) промышленного и гражданского назначения

ПК-4.3. Основные принципы сбора нагрузок и воздействий на здание (сооружение) промышленного и гражданского назначения

ПК-4.4. Правила выбора методики расчётного обоснования проектного решения конструкции здания (сооружения) промышленного и гражданского назначения

ПК-4.5. Правила выбора параметров расчетной схемы здания (сооружения), строительной конструкции здания (сооружения) промышленного и гражданского назначения

ПК-4.6. Методику выполнения расчетов строительной конструкции, здания (сооружения), основания по первой, второй группам предельных состояний

ПК-4.7. Методы конструирования и правила графического оформления проектной документации на строительную конструкцию

ПК-4.8. Правила представления и защиты результатов работ по расчетному обоснованию и конструированию строительной конструкции

здания (сооружения) промышленного и гражданского назначения

Уметь:

ПК-1.1. Выбирать и систематизировать информацию об основных параметрах технических и технологических решений в сфере промышленного и гражданского строительства

ПК-1.2. Выбирать нормативно-технические документы, устанавливающие требования к зданиям (сооружениям) промышленного и гражданского назначения

ПК-4.1. Выбирать исходную информацию и нормативно-технические документы для выполнения расчётного обоснования проектных решений здания (сооружения) промышленного и гражданского назначения

ПК-4.2. Выбирать нормативно-технические документы, устанавливающие требования к расчётному обоснованию проектного решения здания (сооружения) промышленного и гражданского назначения

ПК-4.3. Выполнять сбор нагрузок и воздействий на здание (сооружение) промышленного и гражданского назначения

ПК-4.4. Выполнять выбор методики расчётного обоснования проектного решения конструкции здания (сооружения) промышленного и гражданского назначения

ПК-4.5. Выполнять выбор параметров расчетной схемы здания (сооружения), строительной конструкции здания (сооружения) промышленного и гражданского назначения

ПК-4.6. Выполнять расчеты строительной конструкции, здания (сооружения), основания по первой, второй группам предельных состояний

ПК-4.7. Конструировать и графически оформлять проектную документацию на строительную конструкцию

ПК-4.8. Представлять и защищать результаты работ по расчетному обоснованию и конструированию строительной конструкции здания (сооружения) промышленного и гражданского назначения

Владеть:

ПК-1.1. Выбора и систематизации информации об основных параметрах технических и технологических решений в сфере промышленного и гражданского строительства

ПК-1.2. Выбора нормативно-технических документов, устанавливающих требования к зданиям (сооружениям) промышленного и гражданского назначения

ПК-4.1. Выбора исходной информации и нормативно-технических документов для выполнения расчётного обоснования проектных решений здания (сооружения) промышленного и гражданского назначения

ПК-4.2. Выбора нормативно-технических документов, устанавливающих требования к расчётному обоснованию проектного решения здания (сооружения) промышленного и гражданского назначения

ПК-4.3. Сбора нагрузок и воздействий на здание (сооружение) промышленного и гражданского назначения

ПК-4.4. Выбора методик расчётного обоснования проектного решения конструкции здания (сооружения) промышленного и гражданского назначения

ПК-4.5. Выбора параметров расчетной схемы здания (сооружения), строительной конструкции здания (сооружения) промышленного и гражданского назначения

ПК-4.6. Выполнения расчетов строительной конструкции, здания (сооружения), основания по первой, второй группам предельных состояний

ПК-4.7. Конструирования и графического оформления проектной документации на строительную конструкцию

ПК-4.8. Представления и защиты результатов работ по расчетному обоснованию и конструированию строительной конструкции здания (сооружения) промышленного и гражданского назначения

РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ДЕРЕВА И ПЛАСТМАСС.

Практическая работа № 1. Центральное растяжение и сжатие

Основные расчетные формулы для проверки прочности центрально-растянутых и сжатых элементов и устойчивости сжатых элементов следующие:

$$\frac{N}{A_{нт}} \leq m_o R_p; \quad (2)$$

$$\frac{N}{A_{нт}} \leq R_c; \quad (3)$$

$$\frac{N}{A_{расч}} \leq \varphi R_c, \quad (4)$$

где $A_{нт}$ – площадь нетто ослабленного сечения. Ослабления для растянутого элемента считаются совмещенными в одном сечении, если расстояние между ними меньше 200 мм;

$A_{расч}$ – расчетная площадь сжатого элемента, принимается равной:

$A_{бр}$ – без ослаблений или при площади ослаблений $A_{осл} < 25\% A_{бр}$;

$(4/3)A_{нт}$ – при площади ослаблений $> 25\% A_{бр}$;

$A_{нт}$ – при симметричных ослаблениях, выходящих на грань сечения;

m_o – коэффициент, учитывающий наличие ослаблений в растянутом элементе ($m_o = 0,8$);

φ – коэффициент продольного изгиба (находится по гибкости элемента λ).

Для древесины коэффициент φ подсчитывается по формулам:

$$\text{при } \lambda \leq 70 \quad \varphi = 1 - 0,8 \left(\frac{\lambda}{100} \right)^2, \quad (5)$$

$$\text{при } \lambda \geq 70 \quad \varphi = \frac{3000}{\lambda^2}. \quad (6)$$

Для других материалов значения коэффициентов φ можно подсчитать по формулам табл.17П приложения,

Гибкость элемента подсчитывается по формуле

$$\lambda = \frac{l_0}{r} = \frac{\mu_0 l}{\sqrt{J/A}},$$

где l_0 — расчетная длина элемента;

r — радиус инерции сечения;

μ_0 — коэффициент приведенной длины (для деревянных конструкций) принимается равным:

1 — для свободно опертого стержня;

2,2 — для стержня с одним защемленным и другим свободным концами;

0,8 — для стержня с одним защемленным и другим шарнирно опертым концами;

0,65 — для защемленного с двух концов стержня.

Для прямоугольного сечения размером $h \times b$ радиусы инерции можно подсчитывать по формулам:

$$r_x = 0,289 \cdot h, \quad r_y = 0,289 \cdot b.$$

Для других сечений значения радиуса инерции и геометрических характеристик приведены в табл.16П приложения

Задача 3.1.1. Найти несущую способность растянутого элемента (рис.2). Исходные данные приведены в табл.5.

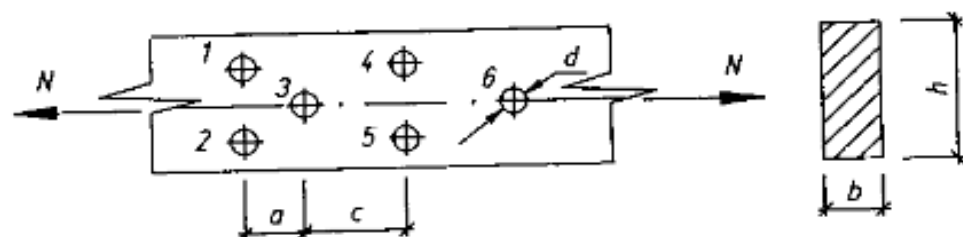


Рис.2. Растянутый элемент

Таблица 5

№ варианта	Исходные данные							
	h, мм	b, мм	a, мм	c, мм	d, мм	Материал	Группа конструкций	Сорт древесины
1	200	150	120	300	16	лиственница	A1	1
2	225	125	250	250	18	сосна	B2	2
3	250	150	225	150	14	ель	B3	1
4	275	100	250	120	20	береза	B1	1
5	175	100	300	100	12	лихтa	B2	1
6	175	150	250	300	16	дуб	A2	2
7	200	125	300	250	18	ясень	B1	2
8	225	150	300	150	12	кедр	A1	1
9	250	100	350	300	22	вяз	B2	1
10	250	125	120	250	16	клен	B3	2

Решение (вариант 1). Несущую способность элемента при заданных условиях задачи вычисляем по формуле

$$N = m_o m_n m_v R_p A_{нт},$$

где m_o – коэффициент, учитывающий наличие ослаблений, равен 0,8;

m_n – коэффициент перехода на породу дерева, для лиственницы равен 1,2 (табл.7П приложения);

m_v – коэффициент, учитывающий условия эксплуатации (группу конструкций), равен 1,0 (табл.8П приложения);

R_p – расчетное сопротивление древесины (сосны, ели), принимается по п.2,а табл.6П приложения и равно 10 МПа.

Для вычисления $A_{нт}$ выбираем самый опасный участок, где на расстоянии 200 мм имеет место наибольшая площадь ослаблений (не попадающих при перемещении вдоль волокон одно на другое). Такой участок будет на участке с отверстиями 1, 2 и 3.

$$A_{нт} = bh - 3db = 20 \cdot 15 - 3 \cdot 1,6 \cdot 15 = 228 \text{ см}^2.$$

Несущая способность растянутого элемента

$$N = 0,8 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 10 \cdot 0,0228 = 0,21888 \text{ МН} = 218,88 \text{ кН}.$$

Задача 3.1.2. Проверить несущую способность растянутого элемента (рис.3). Исходные данные приведены в табл.6.

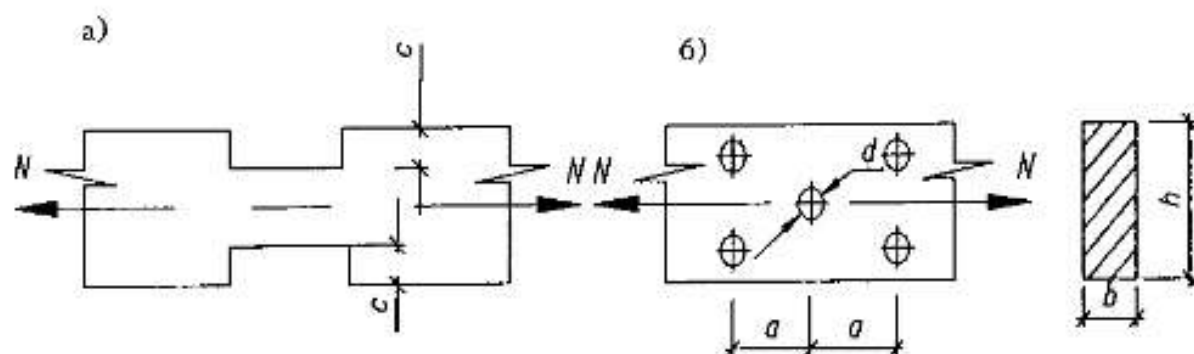


Рис.3. Растянутый элемент

Таблица 6

№ варианта	Исходные данные							Условия эксплуатации	Сорт	№ схемы по рис.3
	N , кН	h , мм	b , мм	a , мм	c , мм	d , мм	Материал			
1	60	100	100	-	10	-	сосна	A1	1	а
2	70	125	100	250	-	10	ель	A3	2	б
3	80	150	100	-	15	-	пихта	B3	1	а
4	90	175	150	175	-	16	кедр	B1	2	б
5	100	200	150	-	20	-	лиственница	B2	1	а
6	110	225	150	250	-	18	сосна	Г2	2	б
7	120	250	150	-	25	-	пихта	Г1	1	а
8	130	225	125	150	-	12	береза	A2	1	б
9	140	250	125	-	20	-	ясень	B2	2	а
10	150	275	100	175	-	10	клен	B1	2	б

Задача 3.1.3. Найти несущую способность центрально-сжатого стержня (рис.4), данные по которому приведены в табл.7.

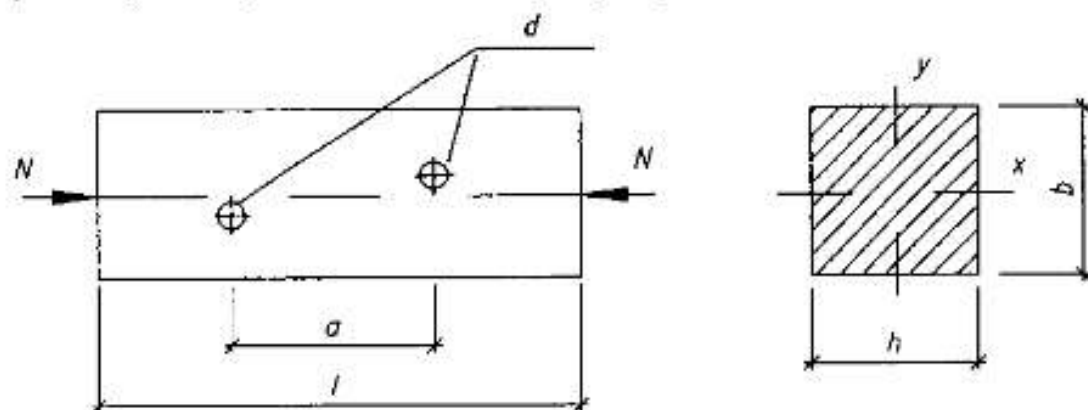


Рис.4. Центрально-сжатый стержень

Таблица 7

№ ва- ри- анта	Исходные данные								Материал	Условия эксплуатации	Сорт
	l, мм	h, мм	b, мм	a, мм	d, мм	Схема за- крепления концов в плоскости					
						x-x	y-y				
1	3000	200	150	150	40	Ш-Ш	Ш-Ш	пихта	A3	2	
2	4000	225	150	300	24	З-Ш	Ш-Ш	сосна	A2	1	
3	5000	225	200	180	18	З-З	З-О	ель	A1	1	
4	6000	250	150	300	28	З-О	Ш-Ш	кедр	B3	1	
5	6500	250	200	170	20	Ш-З	З-З	лиственница	B2	2	
6	3000	200	175	250	24	Ш-Ш	З-З	дуб	B1	2	
7	4000	225	175	120	20	З-Ш	Ш-Ш	граб	B3	2	
8	5000	250	150	350	24	З-З	З-О	береза	B2	1	
9	6000	250	175	190	22	З-О	Ш-З	вяз	B1	1	
10	4500	225	150	160	20	Ш-З	З-Ш	ясень	A2	2	

Примечание. Буквы в графе "Схема закрепления концов в плоскости" означают: Ш – шарнирное; З – защемление; О – свободное (без раскреплений).

Решение (вариант 1). Несущая способность центрально-сжатого стержня с учетом его устойчивости подсчитывается по формуле

$$N = \varphi A_{\text{расч}} m_n m_b R_c,$$

где $m_n = 0,8$ (см. табл.7П приложения);

$m_b = 0,9$ (см. табл.8П приложения);

$R_c = 13$ МПа (для сосны второго сорта, табл.6П приложения)

Поскольку сечение ослаблено отверстием $d = 40$ мм, площадь ослабления равна:

$$A_{\text{осл}} = dh = 4 \cdot 20 = 80 \text{ см}^2,$$

что составляет $\frac{80}{20 \cdot 15} 100 \% = 26,7 \% > 25 \%$.

Расчетная площадь сечения при проверке устойчивости

$$A_{\text{расч}} = (4/3)A_{\text{нт}} = (4/3)(300 - 80) = 293 \text{ см}^2.$$

Для определения коэффициента φ подсчитаем гибкость элемента:

$$\lambda_x = \frac{\mu_o l}{0,289b} = \frac{1,0 \cdot 300}{0,289 \cdot 15} = 69,2;$$

$$\lambda_y = \frac{\mu_o l}{0,289h} = \frac{1,0 \cdot 300}{0,289 \cdot 20} = 51,9.$$

Расчет ведем на большую гибкость $\lambda_x = 69,2$. Для гибкости $\lambda < 70$ определяем коэффициент φ :

$$\varphi = 1 - 0,8 \left(\frac{\lambda}{100} \right)^2 = 1 - 0,8 \left(\frac{69,2}{100} \right)^2 = 0,617.$$

Несущая способность стержня

$$N = 0,617 \cdot 0,0293 \cdot 0,8 \cdot 0,9 \cdot 13 = 0,1692 \text{ МН} = 169,2 \text{ кН}.$$

Задача 3.1.4. Проверить несущую способность центрально-сжатого стержня (рис.5). Исходные данные приведены в табл.8.

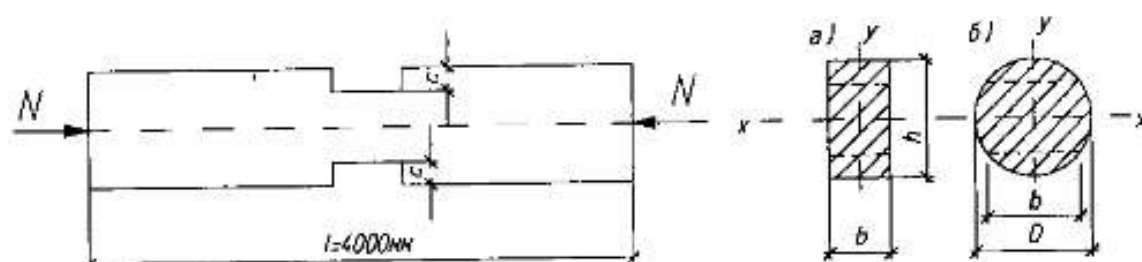


Рис.5. Центрально-сжатый стержень

Таблица 8

№ ва- ри- анта	Исходные данные								Материал	Сорт	Усло- вия эксплу- атации
	N, кН	Тип сече- ния	h, мм	b, мм	D, мм	с, мм	Условия за- крепления концов стержня в плоскости				
							x-x	y-y			
1	100	а	225	150	-	20	З-Ш	Ш-Ш	сосна	2	A1
2	110	б	-	d/2	240	-	З-О	З-З	пихта	1	A2
3	120	а	225	175	-	30	З-З	Ш-З	береза	2	A3
4	130	б	-	d/2	260	-	Ш-Ш	З-О	лиственница	1	B1
5	140	а	250	150	-	40	Ш-З	З-Ш	дуб	2	B2
6	150	б	-	d/3	280	-	Ш-З	З-О	ель	1	B3
7	160	а	250	175	-	50	З-З	Ш-Ш	вяз	2	B1
8	170	б	-	d/3	300	-	З-О	Ш-З	кедр	1	B2
9	180	а	250	200	-	60	З-Ш	Ш-З	ясень	2	B3
10	190	б	-	d/3	300	-	Ш-Ш	З-З	клен	2	A2

Примечание. З – защемление; О – свободный; Ш – шарнир.

Решение (вариант 1). Проверка несущей способности центрально-сжатого стержня производится по формуле

$$N \leq \varphi A_{расч} m_n m_v R_c.$$

Для рассматриваемого варианта $m_n = 1$ (см. табл.7П приложения), $m_v = 1,0$ (см. табл.8П приложения), $R_c = 13$ МПа (см. табл.6П приложения). Сечение имеет симметричное ослабление, выходящее на кромку сечения. Для такого стержня,

$$A_{расч} = A_{нт} = (15 \cdot 22,5) - 2 \cdot 2 \cdot 15 = 277,5 \text{ см}^2.$$

Гибкость стержня

$$\lambda_x = \frac{\mu_{ox} l}{0,289b} = \frac{0,8 \cdot 400}{0,289 \cdot 22,5} = 49,2;$$

$$\lambda_y = \frac{\mu_{oy} l}{0,289h} = \frac{1,0 \cdot 400}{0,289 \cdot 15} = 92,3.$$

Наибольшая гибкость $\lambda_y = 92,3 > 70$, для нее коэффициент продольного изгиба

$$\varphi = \frac{3000}{\lambda^2} = \frac{3000}{92,3^2} = 0,352.$$

Проверка несущей способности стержня:

$$N = 100 \text{ кН} < \varphi A_{расч} m_n m_v R_c = 0,352 \cdot 0,02775 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 13000 = 126,98 \text{ кН}.$$

В ы в о д : несущая способность стержня достаточна.

Задача 3.1.5 Подобрать размеры поперечного сечения центрально-сжатого стержня (рис.6) по исходным данным табл.9. Рассмотреть устойчивость только в плоскости наибольшей гибкости.

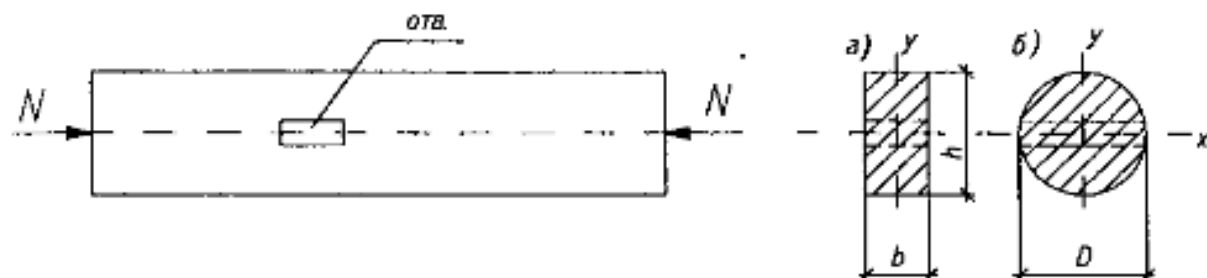


Рис.6. Центально-сжатый стержень

Таблица 9

№ вари- анта	Исходные данные							
	N, кН	Тип се- чения	l, мм	$\frac{A_{осл}}{A_{бр}}$	$\frac{h}{b}$	Закреп- ление концов стержня	Материал	Сорт древесины
1	100	а	4000	0,3	1:1	III - III	лиственница	2
2	100	б	4000	0,3	-	III - З	береза	2
3	120	а	4500	0,25	1,5:1	III - III	пихта	1
4	120	б	4500	0,25	-	З - III	ясень	2
5	140	а	5000	0,2	2:1	З - З	сосна	1
6	140	б	5000	0,2	-	З - О	клен	2
7	150	а	5500	0,15	1:1	III - III	ель	1
8	150	б	5500	0,15	-	III - З	дуб	2
9	170	а	6000	0,1	2:1	З - З	кедр	1
10	170	б	6000	0,1	-	З - III	вяз	2

Решение (вариант 1). Для решения задачи воспользуемся условием

$$\frac{N}{A_{расч}} \leq \varphi R_c m_n.$$

Из этой формулы, задавшись неизвестным значением коэффициента $\varphi = \varphi_{зад}$, можно найти $A_{расч}^{тр}$:

$$A_{расч}^{тр} = \frac{N}{\varphi_{зад} m_n R_c}.$$

Для заданных условий задачи находим $m_n = 1,2$, $R_c = 13$ МПа, другие условия в задаче не оговариваются, поэтому значения остальных коэффициентов принимаем равными 1.

Задачу решаем методом последовательного приближения. Приняв в первом приближении $\varphi = \varphi_{зад} = 0,5$, находим:

$$A_{расч}^{тр} = \frac{100 \cdot 10^{-3}}{0,5 \cdot 1,2 \cdot 13} = 0,0128 \text{ м}^2.$$

Расчетная площадь при $A_{осл} = 30 \% A_{бр}$ ($> 25 \%$) принимается равной $(4/3)A_{нт}$. Тогда

$$A_{нт} = (3/4)A_{расч} = (3/4)0,0128 = 0,0096 \text{ м}^2;$$

$$A_{бр} = A_{нт} / (1 - 0,3) = 0,0096 / 0,7 = 0,0137 \text{ м}^2.$$

При соотношении сторон $h/b = 1:1$ такой площади отвечает сечение $b = h = \sqrt{A_{бр}} = 11,7$ см. Принимаем согласно сортаменту пи-

ломатериалов брус сечением 125×125 мм. Проверка принятого сечения:

$$A_{бр} = 12,5 \cdot 12,5 = 156,25 \text{ см}^2;$$

$$A_{осл} = 0,3A_{бр} = 46,9 \text{ см}^2;$$

$$A_{нт} = A_{бр} - A_{осл} = 156,25 - 46,9 = 109,375 \text{ см}^2;$$

$$A_{расч} = (4/3)A_{нт} = (4/3)109,375 = 145,83 \text{ см}^2;$$

$$\lambda = \frac{\mu_o l}{0,289h} = \frac{1,0 \cdot 400}{0,289 \cdot 12,5} = 110,7 > 70;$$

$$\varphi = \frac{3000}{110,7^2} = 0,224 < \varphi_{зад} = 0,5.$$

Принятое сечение не удовлетворяет условиям устойчивости. Задаемся новым значением $\varphi = \varphi_{зад} = (0,244 + 0,5)/2 = 0,37$ и повторяем расчет. Для этого случая имеем:

$$A_{расч}^{тр} = \frac{100 \cdot 10^{-3}}{0,37 \cdot 1,2 \cdot 13} = 0,0173 \text{ м}^2.$$

$$A_{нт} = 0,013 \text{ м}^2, A_{бр} = 0,01856 \text{ м}^2;$$

$$b = h = \sqrt{0,01856} = 0,1362 \text{ м} = 13,6 \text{ см}.$$

Принимаем сечение бруса по сортаменту 150×150 мм. Для принятого сечения имеем:

$$A_{бр} = 225 \text{ см}^2, A_{осл} = 67,5 \text{ см}^2, A_{нт} = 157,5 \text{ см}^2, A_{расч} = 210 \text{ см}^2,$$

$$\lambda = 92,2, \varphi = 0,353.$$

Проверка несущей способности:

$$N = 100 \text{ кН} < \varphi A_{расч} m_{п} R_c = 0,353 \cdot 0,021 \cdot 1,2 \cdot 13000 = 115,6 \text{ кН}.$$

Условие удовлетворяется, к тому же не требуется дополнительно корректировать сечение, так как брус 125×125 мм (который не проходит) находится рядом по сортаменту с брусом 150×150 мм.

Практическая работа № 2. Поперечный изгиб.

Основные расчетные проверочные формулы поперечно изогнутых элементов следующие:

$$\sigma = \frac{M}{W_{нт}} \leq R_{н}; \quad (8)$$

$$\tau = \frac{QS}{Jb} \leq R_{ск} \quad \text{или} \quad (9)$$

$$\frac{1,5Q}{hb} \leq R_{ск} - \text{для прямоугольного сечения};$$

$$\frac{M}{W_{бр}} \leq \varphi_{м} R_{н}, \quad (10)$$

$$\text{где } \varphi_{м} = 140 \frac{b^2}{lh} k_{ф}; \quad (11)$$

$$\frac{f}{l} \leq \left[\frac{f}{l} \right].$$

В написанных формулах приняты следующие обозначения:

- M – изгибающий момент в проверяемом сечении;
- Q – поперечная сила;
- J – момент инерции поперечного сечения;
- $W_{нт}$ – момент сопротивления нетто проверяемого сечения;
- S – статический момент сдвигаемой части сечения относительно нейтральной оси;
- h, b – размеры поперечного сечения;
- $k_{ф}$ – коэффициент, учитывающий форму элюры изгибающих моментов, принимается по [1, прил. 4, табл.2];
- $R_{н}, R_{ск}$ – расчетные сопротивления материала соответственно изгибу и скалыванию.

Задача 3.2.1. Проверить прочность и прогибы балки цельного прямоугольного сечения (рис.7). Исходные данные принять по табл.10

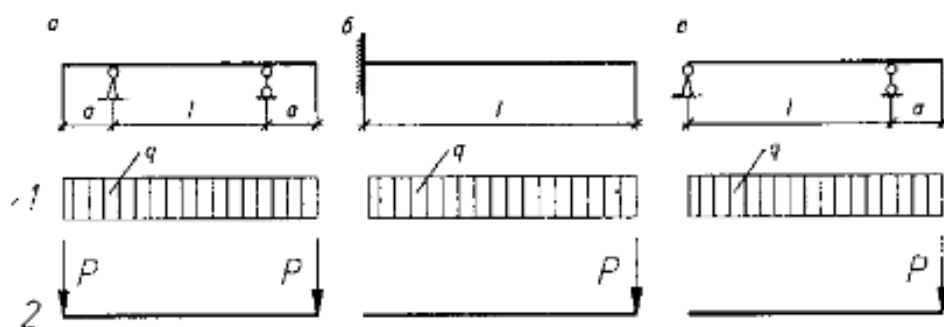


Рис.7. Схемы балок и нагрузок

Таблица 10

№ ва- ри- ан- та	Исходные данные										
	Схема балки	№ схемы нагру- жения	Нагрузка		l, мм	a, мм	h, мм	b, мм	Материал	Сорт древе- си- ны	Усло- вия эксплуа- тации
			p, кН	q, кН/м							
1	а	1	-	10,0	4000	1000	225	150	сосна	2	A1
2	б	1	-	1,0	5000	-	200	125	лиственница	1	A2
3	в	1	-	10,0	3000	800	200	175	пихта	2	A3
4	а	2	15,0	-	4000	1000	225	125	береза	1	B1
5	б	2	6,0	-	3000	-	250	150	кедр	2	B2
6	в	2	20,0	-	4500	800	200	150	ель	1	B3
7	а	1	-	15,0	5000	2000	250	175	сосна	1	B1
8	б	1	-	2,0	3000	-	175	150	лиственница	2	B2
9	в	1	-	8,0	4000	1200	225	125	пихта	1	B3
10	а	1	-	18,0	6000	2500	250	200	ясень	2	B2

Решение (вариант 1). Проверка прочности элемента производится по формулам (8), (9). Предварительно найдем величины, входящие в эти формулы:

$$M_{np} = \frac{q}{2} \left(\frac{l^2}{4} - a^2 \right) = \frac{10}{2} \left(\frac{4^2}{4} - 1^2 \right) = 15 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_{оп} = \frac{qa^2}{2} = \frac{10 \cdot 1^2}{2} = 5 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$Q_{np} = \frac{ql}{2} = \frac{10 \cdot 4}{2} = 20 \text{ кН}; \quad Q_{оп} = qa = 10 \cdot 1 = 10 \text{ кН};$$

$$W_{np} = \frac{bh^2}{6} = \frac{15 \cdot 22,5^2}{6} = 1265,625 \text{ см}^3 \text{ (ослаблений нет);}$$

$$S = \frac{bh^2}{8} = \frac{15 \cdot 22,5^2}{8} = 949,22 \text{ см}^3;$$

$$J = \frac{bh^3}{12} = \frac{15 \cdot 22,5^3}{12} = 14238,281 \text{ см}^4;$$

$R_n = 14 \text{ МПа}$ по табл.6П приложения; $R_{ск} = 1,6 \text{ МПа}$ по табл.6П приложения.

Проверка прочности:

$$\sigma = \frac{M}{W_{np}} = \frac{15 \cdot 10^3}{1265,625} = 11,85 \text{ МПа} < R_n = 14 \text{ МПа};$$

$$\tau = \frac{QS}{Jb} = \frac{20 \cdot 10 \cdot 949,22}{14238,281 \cdot 15} = 0,89 \text{ МПа} < R_{ск} = 1,6 \text{ МПа}.$$

Прочность обеспечена.

Полный прогиб

$$f_0 = \frac{qa}{24EJ_{y_f}} (l^3 - 6a^2l - 3a^3) =$$

$$= \frac{10 \cdot 1 \cdot 10^5}{24 \cdot 10^5 \cdot 14238,281 \cdot 1,2} (4^3 - 6 \cdot 1^2 \cdot 4 - 3 \cdot 1^3) = 0,902 \text{ см};$$

$$f_{np} = \frac{ql^2}{48EJ_{y_f}} \left(\frac{5}{8}l^2 - 3a^2 \right) =$$

$$= \frac{10 \cdot 4^2 \cdot 10^5}{48 \cdot 10^5 \cdot 14238,281 \cdot 1,2} \left(\frac{5}{8}4^2 - 3 \cdot 1^2 \right) = 1,366 \text{ см.}$$

Проверка прогибов:

$$\frac{f}{l} = \frac{1,366}{400} = \frac{1}{293} < \left[\frac{1}{200} \right].$$

Прогиб балки не превышает предельного (табл.18П приложения), установленного СНиП II-25-80.

Задача 3.2.2. Из условия прочности подобрать размеры поперечного сечения балки. Исходные данные принять по табл.11 и рис.7. Сечения принимать согласно сортаменту пиломатериалов.

Таблица 11

№ вариан- та	Исходные данные								
	Схема балки	№ схемы нагру- жения	Нагрузка		l, мм	a, мм	Материал	Сорт древеси- ны	Условия эксплуата- ции
			p, кН	q, кН/м					
1	а	1	-	13,0	4500	1100	ясень	2	В1
2	б	1	-	1,6	4000	-	ель	1	В2
3	в	1	-	12,0	5000	2000	береза	2	В3
4	а	2	8,0	-	6000	1500	пихта	1	В1
5	б	2	4,0	-	5000	-	дуб	2	В2
6	в	2	14,0	-	6000	1200	кедр	1	В3
7	а	1	-	17,0	3500	900	клен	2	А1
8	б	1	-	1,2	5500	-	сосна	1	А2
9	в	1	-	16,0	3000	1000	вяз	2	А3
10	б	2	8,0	-	3000	-	лиственница	1	В1

Решение (вариант 1). Для решения задачи воспользуемся формулой (8). Найдем из нее требуемый момент сопротивления:

$$W_{\text{тр}} = \frac{M}{R_n m_n} = \frac{25,04 \cdot 10^4}{13 \cdot 1,3 \cdot 10} = 1481,66 \text{ см}^3,$$

т.е. $R_n = 13$ МПа (см. табл. 6П приложения);

$m_n = 1,3$ для ясеня (см. табл. 7П приложения);

$$M_{\text{пр}} = \frac{q}{2} \left(\frac{l^2}{4} - a^2 \right) = \frac{13}{2} \left(\frac{4,5^2}{4} - 1,1^2 \right) = 25,04 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{оп}} = \frac{qa^2}{2} = \frac{13 \cdot 1,1^2}{2} = 7,865 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Задаемся шириной сечения $b = 15$ см. Тогда требуемая высота сечения

$$h_{\text{тр}} = \sqrt{6 \frac{W}{b}} = \sqrt{6 \cdot \frac{1481,66}{15}} = 24,34 \text{ см} \approx 25 \text{ см}.$$

Принимаем сечение $b \times h = 15 \times 25$ см (см. табл. 1П приложения).

Момент сопротивления принятого сечения

$$W = \frac{bh^2}{6} = \frac{15 \cdot 25^2}{6} = 1562,5 \text{ см}^3.$$

Проверка прочности:

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{25,04 \cdot 10^3}{1562,5} = 16,03 \text{ МПа} < R_n m_n = 13 \cdot 1,3 = 16,9 \text{ МПа};$$

$$\tau = \frac{QS}{Jb} = \frac{29,25 \cdot 10 \cdot 1171,875}{19531,25 \cdot 15} = 1,17 \text{ МПа} < R_{\text{ск}} m_n = 1,6 \cdot 1,6 = 2,56 \text{ МПа},$$

где Q – максимальная поперечная сила, определяемая по формулам:

$$Q_{\text{пр}} = \frac{ql}{2} = \frac{13 \cdot 4,5}{2} = 29,25 \text{ кН}; \quad Q_{\text{оп}} = qa = 13 \cdot 1,1 = 14,3 \text{ кН};$$

$$S = \frac{bh^2}{8} = \frac{15 \cdot 25^2}{8} = 1171,875 \text{ см}^3;$$

$$J = \frac{bh^3}{12} = \frac{15 \cdot 25^3}{12} = 19531,25 \text{ см}^4;$$

$R_{\text{ск}} = 1,6$ МПа (см. табл. 6П приложения);

$m_n = 1,6$ для ясеня (см. табл. 7П приложения)

Прочность обеспечена.

СОЕДИНЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ

Практическая работа № 3. Контактные соединения (упоры, лобовые врубки)

Контактными называют такие соединения, в которых усилия от одного элемента к другому передаются через соответственно обработанные контактные поверхности. Дополнительно поставленные в таких соединениях механические связи несут обычно функции фиксации элементов или служат аварийными.

Наиболее распространенными контактными соединениями в деревянных конструкциях являются упоры и лобовые врубки. Упоры встречаются в соединениях стоек, в местах примыкания к горизонтальным ригелям, опирания прогонов, балок, ферм на стены и т.д.

В этих случаях расчет соединений сводится к проверке напряжений смятия по контактным поверхностям в деревянном элементе, в котором силы сжатия действуют перпендикулярно к волокнам. Проверка производится по формуле

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{N}{A_{\text{см}}} \leq R_{\text{см}90}, \quad (19)$$

где N – сила сжатия;

$A_{\text{см}}$ – площадь смятия (контакта);

$R_{\text{см}90}$ – расчетное сопротивление древесины смятию поперек волокон.

Если смятие происходит под углом α к волокнам древесины, то вместо $R_{\text{см}90}$ необходимо подставить $R_{\text{см}\alpha}$, величина которого определяется по формуле

$$R_{\text{см}\alpha} = \frac{R_{\text{см}}}{1 + \left(\frac{R_{\text{см}}}{R_{\text{см}90}} - 1 \right) \sin^3 \alpha}. \quad (20)$$

В тех случаях, когда смятие передается нижнему элементу поперек волокон лишь на части длины (при длине незагруженных участков не менее длины площадки смятия и толщины элементов), в формулу (19) вместо $R_{\text{см}90}$ подставляют величину $R_{\text{см}90}^*$, значение которой определяют по формуле

$$R_{\text{см}90}^* = R_{\text{см}90} \left(1 + \frac{8}{l_{\text{см}} + 1,2} \right). \quad (21)$$

Лобовой врубкой называют такое соединение, когда усилие от одного элемента к другому передается под углом по площади взаимного упора без иных рабочих связей. В таких соединениях хотя и ставятся дополнительные рабочие связи в виде болтов, хомутов или скоб, но они не учитываются в основной работе врубки и могут включаться в работу только в случае аварии или при выполнении монтажа.

Правильное решение лобовой врубки показано на рис.12.

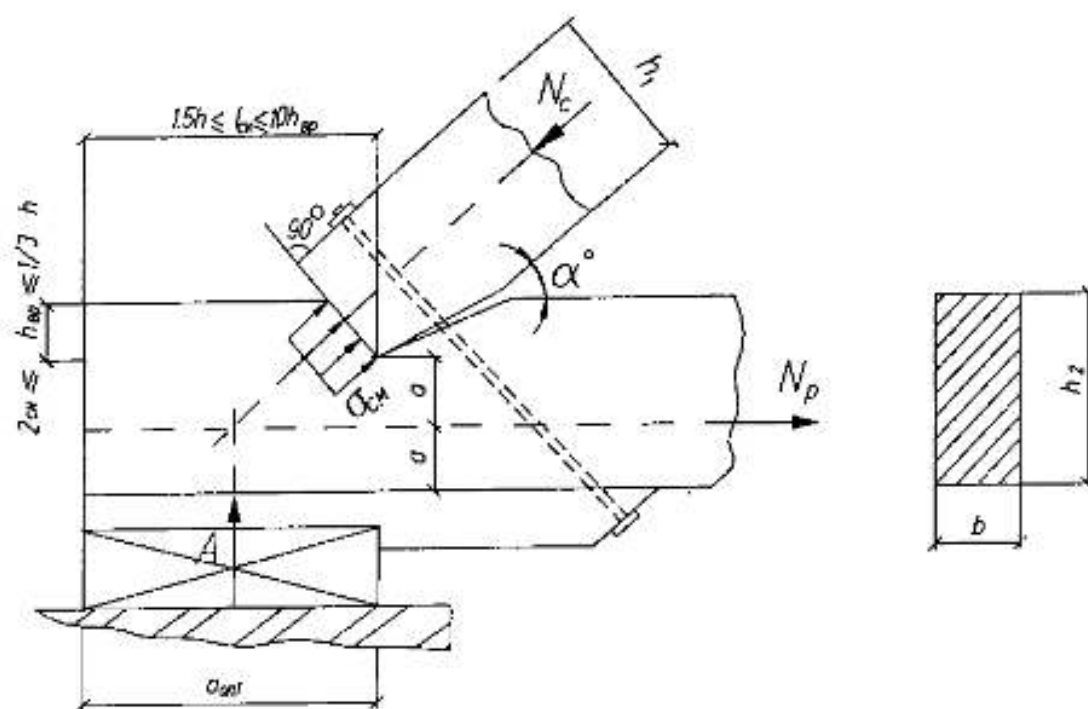


Рис.12. Лобовая врубка

К опасным видам работы лобовой врубки относятся скалывание, смятие и разрыв по ослабленному сечению. Проверка на смятие производится для нижнего элемента по площади контакта по формуле

$$\sigma_{см} = \frac{N_c}{A_{см}} \leq R_{сма}, \quad (22)$$

где $A_{см} = \frac{h_{вр} b}{\cos \alpha}$ - площадь смятия.

$R_{сма}$ определяется по формуле (20).

Проверка этого же элемента на скалывание производится по формуле

$$\tau_{ск} = \frac{N_p}{A_{ск}} \leq R_{ск}^{сп}, \quad (23)$$

где $A_{ск} = bl_{ск}$ – площадь скалывания;

$R_{ск}^{сп}$ – среднее по площади скалывания расчетное сопротивление древесины скалыванию, подсчитывается по формуле

$$R_{ск}^{сп} = \frac{R_{ск}}{1 + \beta \frac{l_{ск}}{e}}. \quad (24)$$

В формуле (24) коэффициент β принимается равным 0,25, как для одностороннего скалывания, а плечо сил скалывания e – половине высоты нижнего пояса.

Проверка прочности ослабленного сечения нижнего элемента производится по формуле

$$\sigma_p = \frac{N_p}{A_{нт}} \leq m_o R_p, \quad (25)$$

где $A_{нт} = A_{бр} - A_{осл} = bh - h_{вр}b$ – площадь ослабленного сечения;

$m_o = 0,8$ – коэффициент, учитывающий наличие ослаблений в растянутом элементе.

Задача 4.1.1. Рассчитать контактное соединение (проверить прочность), изображенное на рис.13 по данным табл.16.

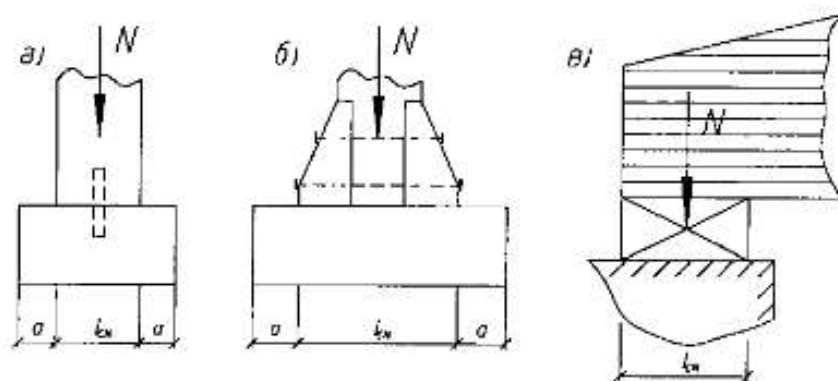


Рис.13. Схемы упоров

Таблица 16

№ вари- анта	Исходные данные						Условия экс- плуатации
	Схема упора	N, кН	$l_{см}$, мм	a, мм	Ширина соединения, мм	Материал упор- ного элемента, сорт	
1	а	130	200	250	150	дуб, 2с	A1
2	б	100	400	100	125	сосна, 1с	A3
3	в	140	175	-	175	клен, 2с	B2
4	а	150	400	200	200	кедр, 1с	Г1
5	б	150	450	200	175	ясень, 2с	B1
6	в	180	200	-	150	лиственница, 2с	Б1
7	а	180	300	350	150	береза, 2с	A1
8	б	170	200	300	200	пихта, 1с	A2
9	в	200	250	-	200	ясень, 2с	B2
10	а	160	350	400	175	ель, 1с	B3

Решение (вариант 1). Проверку прочности соединения производим по формуле (19). Для этого найдем необходимые величины:

площадь смятия $A_{см} = l_{см}b = 20 \cdot 15 = 300 \text{ см}^2$;

расчетное сопротивление (сосна 2 сорт, табл.6П приложения)

$R_{см90} = 1,8 \text{ МПа}$;

коэффициент, учитывающий породу (дуб), $m_n = 2$;

коэффициент, учитывающий условия эксплуатации, $m_v = 1,0$.

Другие условия не оговорены, поэтому их не учитываем.

Поскольку $a = 250 \text{ мм} > l_{см} = 200 \text{ мм}$, то учитываем влияние незагруженных участков на величину $R_{см90}$. В этом случае расчетное сопротивление местному смятию подсчитываем по формуле (21), т.е.

$$\begin{aligned}
 R_{см90}^* &= m_n m_v R_{см90} \left(1 + \frac{8}{l_{см} + 1,2} \right) = \\
 &= 2 \cdot 1,0 \cdot 1,8 \left(1 + \frac{8}{20 + 1,2} \right) = 4,96 \text{ МПа}.
 \end{aligned}$$

Проверяем прочность соединения:

$$\sigma_{см} = \frac{N}{A_{см}} = \frac{1300 \cdot 10}{300} = 4,33 \text{ МПа} < R_{см90}^* = 4,96 \text{ МПа}.$$

Прочность обеспечена.

Задача 4.1.2. Рассчитать лобовую врубку, изображенную на рис.12, по исходным данным табл.17.

Таблица 17

№ вари- анта	Исходные данные							
	N_c , кН	α_0	b , мм	h , мм	$h_{вр}$, мм	$l_{ск}$, мм	Материал, сорт	Условия экс- плуатации
1	90	30	150	200	60	400	сосна, 1с	A1
2	80	35	125	225	70	450	дуб, 2с	A2
3	70	40	150	250	80	500	кедр, 1с	A3
4	60	45	150	275	90	600	клен, 2с	B1
5	100	40	175	250	75	600	лиственница, 1с	B2
6	90	35	150	225	60	550	ясень, 2с	B3
7	100	30	150	200	55	500	пихта, 1с	B1
8	70	25	175	200	65	400	береза, 2с	B2
9	90	45	175	275	80	550	вяз, 1с	B3
10	120	30	200	250	70	550	ель, 1с	A2

Задача 4.1.3. Для врубки, изображенной на рис.12, определить требуемый размер по данным табл.18, учитывая все основные требования к конструированию врубки. Материал брусьев – сосна второго сорта. Условия эксплуатации – нормальные.

Таблица 18

№ вари- анта	Исходные данные								
	N_c , кН	Сечение верхнего пояса		Сечение ниж- него пояса		α_0	$l_{ск}$, мм	$h_{вр}$, мм	Искомый размер
		b_1	h_1	b_2	h_2				
1	105	150	150	150		30	-	-	h_2
2	105	150	150	150	-	30		-	$l_{ск}$
3	105	150	150	150	-	30	-		$h_{вр}$
4	105	150	150	150	-	30	-	-	$a_{оп}$
5	$[N]_{нп}$	150		150	200	35		60	$l_{ск}$
6	$[N]_{вп}$	200	200	200		35	-	60	h_2
7	$[N]_{вп}$	200	200	200	-	35		60	$l_{ск}$
8	$[N]_{вп}$	200	200	200	-	35	-	60	$a_{оп}$
9	120	175	-	175	-	40	-		$h_{вр}$
10	120	175	-	175		40	-	-	h_2
11	120	175	-	175	-	40		-	$l_{ск}$
12	120	175	-	175	-	40	-	-	$a_{оп}$

Примечание. Под символами $[N]_{нп}$ и $[N]_{вп}$ принимать предельную несущую способность "н" – нижнего пояса или "в" – верхнего пояса.

Решение (вариант 1). Для сосны второго сорта при нормальных условиях эксплуатации согласно табл.6П приложения выписываем значения расчетных сопротивлений $R_c = 13$ МПа; $R_{pmo} = 7 \cdot 0,8 = 5,6$ МПа;

$R_{см90} = 3$ МПа; $R_{ск} = 2,1$ МПа; расчетное сопротивление древесины смятию под углом $\alpha = 30^\circ$ будет равно:

$$R_{см30} = \frac{13}{1 + \left(\frac{13}{3} - 1\right) \sin^3 \alpha} = 9,2 \text{ МПа.}$$

Для того чтобы определить требуемую высоту сечения нижнего растянутого бруса, необходимо найти глубину врубки. Требуемую площадь смятия определяем из формулы (5):

$$A_{см}^{тр} = \frac{N_c}{R_{см\alpha}} = \frac{105 \cdot 10^{-3}}{9,2} = 0,0114 \text{ м}^2 = 114 \text{ см}^2,$$

с другой стороны, $A_{см} = \frac{bh_{вр}}{\cos \alpha}$, откуда

$$h_{вр} = \frac{A_{см} \cos \alpha}{b} = \frac{114 \cos 30^\circ}{15} = 6,6 \text{ см.}$$

Из условия прочности нижнего растянутого элемента по ослабленному сечению (25) находим:

$$A_{нт}^{тр} = \frac{N_p}{R_p m_\alpha} = \frac{90,93 \cdot 10^{-3}}{5,6} = 0,0162 \text{ м}^2 = 162 \text{ см}^2,$$

где $N_p = N_c \cos \alpha = 105 \cos 30^\circ = 90,93$ кН – усилие в нижнем элементе.

По известной площади $A_{нт}^{тр}$ находим

$$h_2^{тр} = \frac{A_{нт}^{тр}}{b} + h_{вр} = \frac{162}{15} + 6,6 = 17,4 \text{ см.}$$

В соответствии с сортаментом пиломатериалов ближе к этому размеру брус высотой $h = 175$ мм. Однако принимаем $h = 200$ мм, учитывая требования правильного конструирования лобовых врубок, а именно, чтобы $h_{вр} \leq (1/3)h$. Окончательно принимаем для нижнего пояса брус сечением 150×200 мм (для него $h_{вр} = 6,6 \text{ см} < (1/3)h = 6,666 \text{ см}$).

Практическая работа № 4. Соединения на нагелях.

Нагелями называются гибкие стержни, пластинки или иные вкладыши, препятствующие взаимному сдвигу соединяемых элементов и работающие в основном на изгиб. Нагельные соединения являются безраспорными, что обеспечивается защемлением нагеля в нагельном гнезде.

Нагели бывают пластинчатыми и цилиндрическими. К последним относятся болты, штыри, гвозди, шурупы, глухари. Наибольшее применение в практике строительства получили цилиндрические нагели, которые в зависимости от вида материала могут быть изготовлены из стали, алюминия, стеклопластика, прочных пород дерева – дуба, бука, березы. Цилиндрические нагели чаще всего используют при выполнении узловых и стыковых сопряжений элементов. Общий вид стыкового сопряжения показан на рис.14.

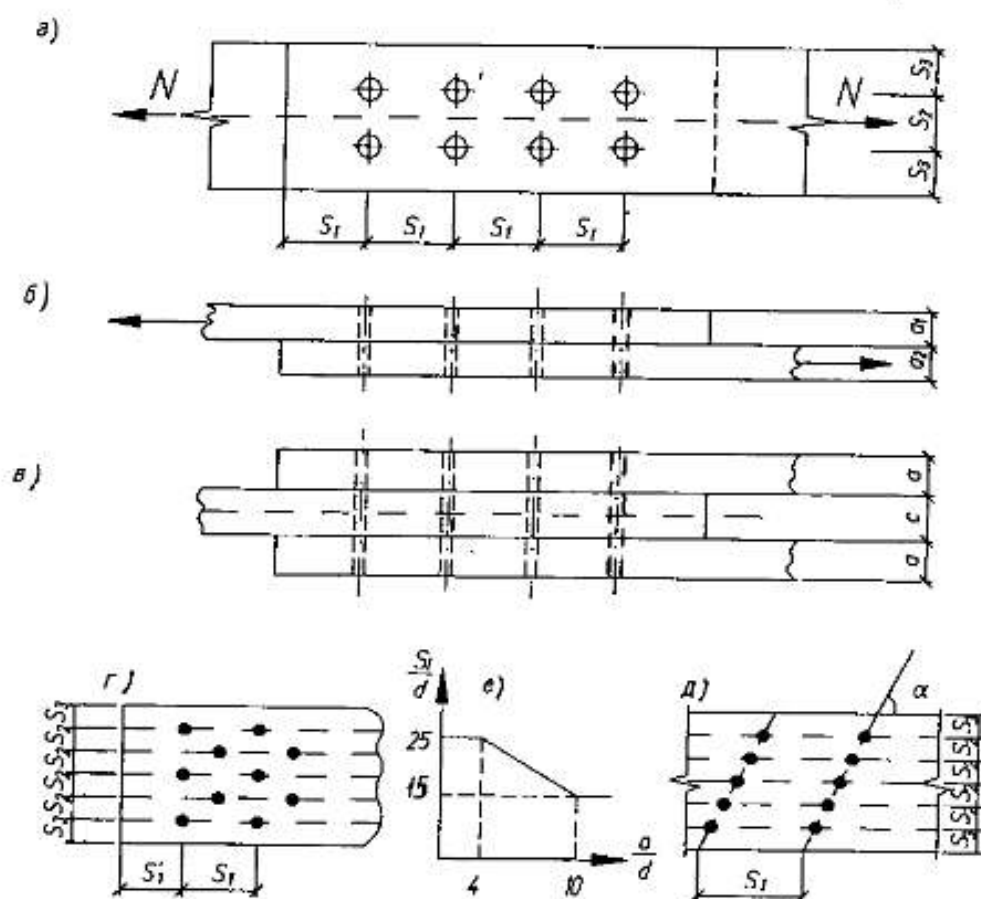


Рис.14. Общий вид стыка на цилиндрических нагелях

Конструируя нагельное соединение, необходимо учитывать следующие требования:

1. Размеры нагелей принимать в соответствии с сортаментом (см. табл.5II приложения).

2. Под цилиндрические нагели (штыри, стержни, болты) отверстия сверлить в пакете после сборки соединения диаметром, равным диаметру нагеля. Гвозди $d_{гв} \leq 6$ мм забивать без рассверловки

отверстий. При $d_{гв} > 6$ мм (а для пород древесины из ольхи, лиственницы, дуба при $d_{гв} > 5$ мм) требуется предварительно рассверливать гнезда диаметром $0,9d_{гв}$, о чем указывается в проекте.

3. Чтобы исключить раскалывание древесины, необходимо соблюдать нормы расстановки нагелей согласно пп. 5.18, 5.19, 5.21, и 5.22 [1].

Расстояния между осями цилиндрических нагелей вдоль волокон древесины S_1 , поперек волокон S_2 и от кромки элемента до первого ряда нагелей S_3 (см. рис.14) должны быть:

для стальных нагелей $S_1 = 7d$; $S_2 = 3,5d$; $S_3 = 3d$;

для алюминиевых и стеклопластиковых нагелей $S_1=6d$; $S_2= 3,5d$; $S_3 = 3d$;

для дубовых нагелей $S_1 = 5d$; $S_2 = 3d$; $S_3 = 2,5d$.

При толщине пакета b меньше $10d$ допускается принимать:

для стальных, алюминиевых и стеклопластиковых нагелей $S_1= 6d$; $S_2 = 3d$; $S_3 = 2,5d$;

для дубовых нагелей $S_1 = 4d$; $S_2 = S_3 = 2,5d$.

Расстояние между осями гвоздей вдоль волокон древесины для пробиваемых элементов должно быть принято согласно графику (см. рис.14,е). Для элементов, не пробиваемых насквозь гвоздями, независимо от их толщины принимают $S_1 \geq 15d$. Расстояние от торца элемента до первого ряда гвоздей во всех случаях должно быть $S_1 \geq 15d$.

Расстояние между гвоздями поперек волокон древесины при прямой расстановке гвоздей должно быть $S_2 \geq 4d$, при шахматной расстановке или расстановке косыми рядами под углом 45° (см. рис.14,г,д) это расстояние может быть уменьшено до $S_2 = 3d$.

Расстояние S_3 во всех случаях принимается не меньше $4d$.

Для шурупов и глухарей при завинчивании их в отверстия диаметром $d = 0,8d_{ш}$ расстановка в соединении принимается следующая: $S_1 = 10d_{ш}$; $S_2 = S_3 = 5d_{ш}$.

4. Диаметр гвоздей следует принимать не более $0,25$ толщины пробиваемых элементов.

5. При определении расчетной длины защемления конца гвоздя не следует учитывать его заостренную часть длиной $1,5d$. Кроме того, из длины гвоздя следует отнимать по 2 мм на каждый шов между соединяемыми элементами.

При свободном выходе гвоздя из пакета расчетную толщину последнего элемента следует уменьшать на $1,5d$.

6. Расчетная длина защемленного гвоздя должна быть не меньше $4d$. Если она меньше, чем $4d$, то гвоздь в работе не учитывается.

7. Для обеспечения плотности нагельного соединения из общего числа нагелей должно быть поставлено с каждой стороны стыка не

меньше 3 болтов (такого же диаметра). В соединениях на гвоздях, шурупах и глухарях плотность обеспечивается без болтов.

8. Нагели следует размещать преимущественно в 2 или 4 ряда. Постановка нагелей по середине ширины доски нежелательна, так как здесь возможны усущенные трещины.

9. При расчете нагельных соединений расчетная несущая способность определяется на один "срез" нагеля как минимальная величина из условия смятия древесины нагельного гнезда в крайнем и среднем (если такой имеется) элементах и изгиба нагеля. "Срез" нагеля – понятие условное, под ним понимается пересечение оси нагеля со швом между сдвигаемыми элементами.

Эти три условия получают непосредственным расчетом по формулам табл.17 [1]. Некоторые данные этой таблицы приведены в табл.19П приложения.

Несущая способность шурупов и глухарей (винтов) определяется по правилам расчета для стальных цилиндрических нагелей с диаметром d , равным диаметру ненарезной части винта, кроме случая, когда заглубление гладкой части винта в древесину менее $2d$. В этом случае расчет следует вести по внутреннему диаметру ослабленного резьбой сечения.

Нагельные соединения со стальными накладками (рис.15) применяют в тех случаях, когда обеспечена необходимая плотность постановки нагелей. С этой целью в них используют шурупы, глухари и болты. Глухие стальные нагели должны иметь заглубление в древесину не менее $5d$.

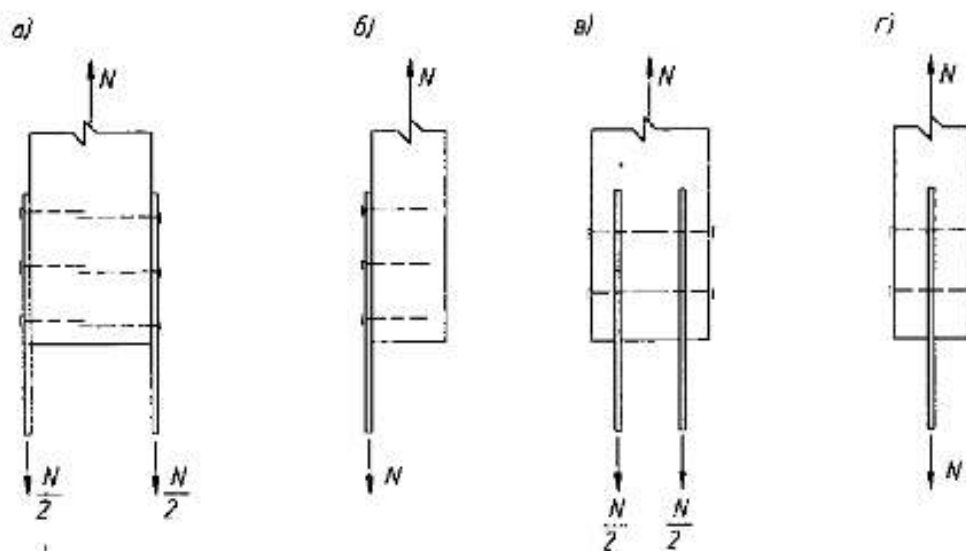


Рис.15. Нагельные соединения со стальными накладками

Соединения со стальными накладками, вставляемыми в прорези деревянного элемента (см. рис.15,в,г), более предпочтительны, так как при прочих одинаковых условиях они обладают большей несущей способностью, чем соединения с накладными стальными полосами (см. рис.15,а,б). Однако такие соединения более сложны в изготовлении и возможны к применению лишь тогда, когда есть условия производить сверловку отверстий одновременно и в древесине, и в металле.

Нагельные соединения со стальными накладками и прокладками рассчитываются согласно общим указаниям, отмеченным выше, причем в расчете из условия изгиба нагеля следует принимать наибольшее значение несущей способности.

Стальные накладки и прокладки следует проверять на растяжение по ослабленному сечению и на смятие под нагелем.

При направлении передаваемого нагелем усилия под углом к волокнам древесины сопротивление смятию в нагельном гнезде изменится, поэтому расчетную несущую способность надо дополнительно умножить:

- а) на коэффициент k_α – при расчете на смятие древесины;
- б) на $\sqrt{k_\alpha}$ – при расчете нагеля на изгиб, причем угол α принимается равным наибольшему из углов смятия нагелем элементов, примыкающих к рассматриваемому шву. Значения k_α приведены в табл.21П приложения.

При $d < 6$ мм (т.е. для гвоздей) $k_\alpha = 1$.

Для элементов из древесины других пород, при других условиях температурно-влажностного режима эксплуатации, наличии только постоянной или кратковременной нагрузки, а также в конструкциях гидротехнических сооружений несущая способность соединения должна быть скорректирована умножением:

на соответствующие коэффициенты m_n , m_a , $m_{\text{н}}$ (см. табл.7П, 8П, 9П приложения) – при расчете из условия смятия древесины элементов;

на корень квадратный из этих коэффициентов – при расчете из условия изгиба нагеля.

Соединения на пластинчатых нагелях в соединениях деревянных конструкций применяются лишь для сплачивания брусьев в составных балках, арках, верхних поясах ферм. Пластинчатые нагели изготавливаются из твердых пород дерева (дуб, бук, береза) с размерами, изображенными на рис.16.

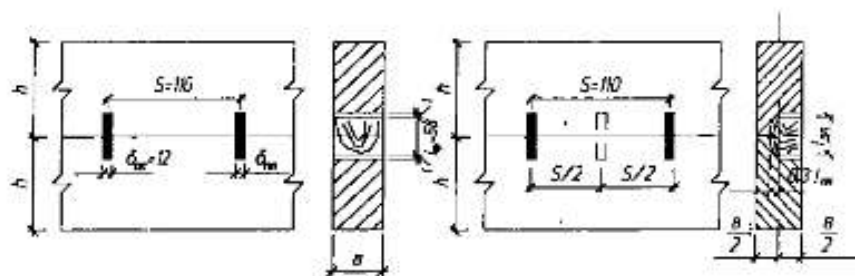


Рис.16. Соединение на пластинчатых нагелях

Сплачивание по высоте более трех брусьев не допускается.

Расчетная несущая способность одного дубового или березового нагеля с размерами, изображенными на рис.16, определяется по формуле

$$T = 0,75b_{пл} \text{ (или } 75b_{пл}, \text{ кгс)}, \quad (26)$$

где $b_{пл}$ – ширина пластинчатого нагеля в см, для сквозных нагелей $b_{пл} = b$, для глухих нагелей $b_{пл} = 0,5b$.

Задача 4.2.1. Рассчитать и сконструировать стык нижнего пояса фермы. Схема стыка представлена на рис.17. Исходные данные взять из табл.19.

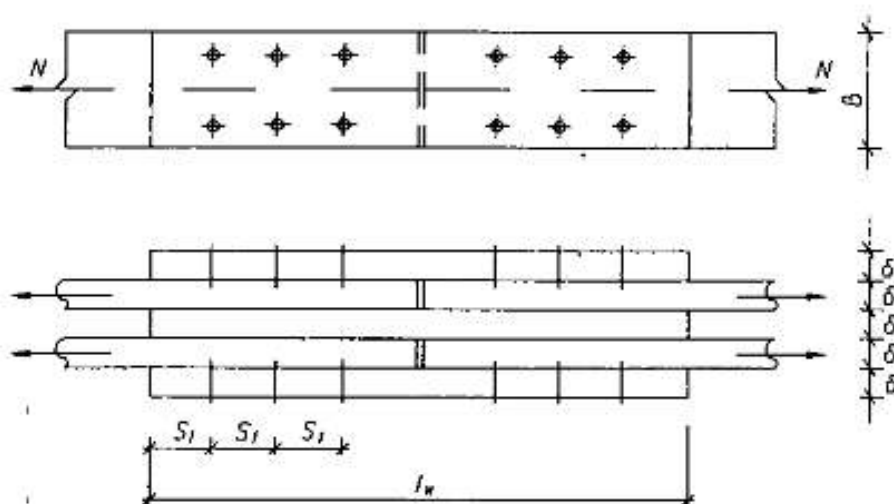


Рис.17. Схема стыка

Таблица 19

№ варианта	Исходные данные для подвариантов				
	А	Б		В	
	N, кН	Материал элемента, сорт	Условия эксплуатации	Материал нагеля	Диаметр нагеля, мм
1	70	сосна, 1с	A1	сталь	10
2	90	ель, 1с	A3	алюминий	12
3	100	лиственница, 1с	B2	стеклопластик	14
4	120	кедр, 1с	B1	сталь	16
5	130	ольха, 1с	B2	алюминий	16
6	140	пихта, 1с	B3	стеклопластик	18
7	150	сосна, 1с	A2	алюминий	20
8	160	лиственница, 1с	B2	сталь	18
9	80	пихта, 1с	A2	дуб	20
10	110	ель, 1с	B2	древесно-слоистый пластик	20

Вариант задачи задается трехзначным числом по подвариантам А, Б и В. Например, 128 – это значит: по А – вариант 1, по Б – вариант 2, по В – вариант 8 или имеем $N = 70$ кН, материал элемента ель, условия эксплуатации – А3, материал нагеля сталь, диаметр 18 мм.

В результате решения задачи должны быть получены сечения поясных досок $b \times \delta$, определено необходимое количество нагелей и произведена их расстановка, определена длина накладок l_n и прокладок (сечение их принять как для поясных досок), проверены напряжения растяжения в ослабленном сечении.

Решение (вариант 111). Исходные данные для варианта 111: $N = 70$ кН, материал элементов – сосна первого сорта, условия эксплуатации – А1, нагели стальные, диаметр нагелей – 10 мм.

Для материала сосны первого сорта, имеющего ослабления в сечении, согласно табл.6П приложения находим $R_p m_0 = 10 \cdot 0,8 = 8$ МПа. Для условий эксплуатации А1 по табл.8П приложения имеем $m_s = 1,0$.

Из формулы (25) расчета растянутого элемента с ослаблениями находим требуемую площадь сечения:

$$A_{нт}^{тр} = \frac{N}{m_0 R_p} = \frac{70 \cdot 10^{-3}}{8} = 0,00875 \text{ м}^2 = 87,5 \text{ см}^2.$$

Пояс состоит из двух досок, поэтому требуемая площадь одной доски будет равна $A_{нт1}^{тр} = 87,5 / 2 \approx 44 \text{ см}^2$.

Сечение ослаблено двумя отверстиями под нагели, поэтому площадь брутто одной доски будет равна $A_{бр1}^{тр} = A_{нт1}^{тр} + 2d\delta$.

Принимаем по сортаменту доски сечением 50×125 мм ($A_{дп1} = 62,5 \text{ см}^2$, $A_{шт1} = 52,5 \text{ см}^2 > 44 \text{ см}^2$). (Близкие по сортаменту сечения 40×125 мм или 50×100 мм не подходят, так как для них $A_{шт1} < A_{шт1}^{тр}$).

Подсчитаем несущую способность нагеля. По табл.19П приложения для симметричного соединения на стальных цилиндрических нагелях, несущая способность одного среза нагеля равна:

– из условия смятия древесины крайнего элемента

$$T_{см,а} = 0,8ad = 0,8 \cdot 5 \cdot 1,0 = 4 \text{ кН};$$

– из условия смятия древесины среднего элемента

$$T_{см,с} = 0,5cd = 0,5 \cdot 5 \cdot 1,0 = 2,5 \text{ кН};$$

– из условия изгиба нагеля

$$T_{и} = 1,8d^2 + 0,02a^2 = 1,8 \cdot 1,0^2 + 0,02 \cdot 5^2 = 2,3 \text{ кН}$$

(но не более $2,5d^2 = 2,5 \text{ кН}$).

За несущую способность среза нагеля принимаем $T_{шт1} = 2,3 \text{ кН}$.
Нагель четырехсрезный, поэтому его несущая способность

$$T_{наг} = 4T_{шт1} = 4 \cdot 2,3 = 9,2 \text{ кН}.$$

Необходимое количество нагелей с каждой стороны стыка должно быть не менее

$$n \geq N/T_{наг} = 70/9,2 = 7,6 \text{ шт.}$$

Принимаем 8 нагелей, располагая их в два ряда.

По длине накладки нагели расставляем с шагом $S_1 = 15d = 15 \cdot 10 = 150$ мм. Тогда длина полунакладки (или полупрокладки) будет равна $l_n/2 = 5S_1 = 5 \cdot 150 = 750$ мм. Полная длина будет в два раза больше, т.е. $l_n = 1500$ мм.

Проверяем возможность расстановки нагелей по высоте сечения пояса. Для этого подсчитаем предельные шаги расстановки нагелей:

$$S_2 = 3,5d = 3,5 \cdot 10 = 35 \text{ мм}; S_3 = 3,0d = 3,0 \cdot 10 = 30 \text{ мм}.$$

Вся высота пояса состоит из $2S_3$ и S_2 , т.е. равна $(2S_3 + S_2) = 2 \cdot 30 + 35 = 95$ мм. Поскольку принят пояс высотой $h_n = 125 \text{ мм} > 95 \text{ мм}$, шаги S_2 и S_3 можно увеличить и принять их равными

$$S_2 = 45 \text{ мм} (> 35 \text{ мм}) \text{ и } S_3 = 40 \text{ мм} (> 30 \text{ мм}).$$

Напряжения в ослабленном сечении пояса можно не проверять, так как для него принято $A_{шт} > A_{шт}^{тр}$.

Задача 4.2.2. Найти предельную нагрузку, которую может воспринять крепление раскоса, примыкающего под углом α к поясу фермы (рис.18). Данные для расчета взять по табл.20 (проверку расстановки нагелей не производить, считая, что она удовлетворяет требованиям СНиП).

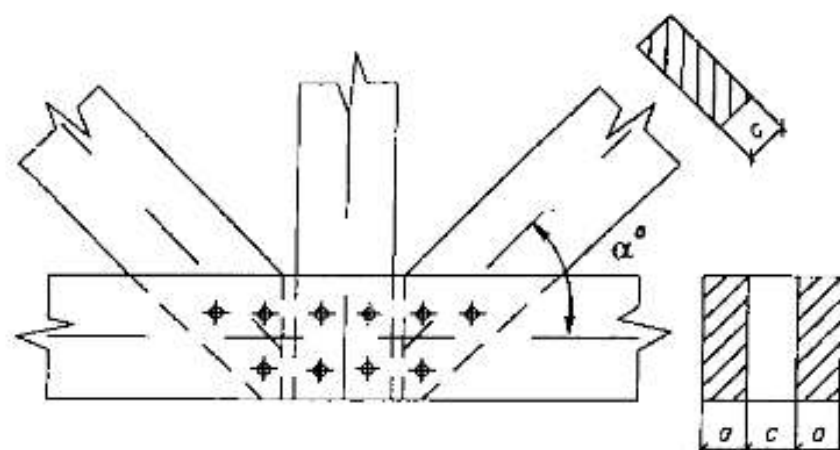


Рис.18. Схема узла

Таблица 20

№ вари- анта	Исходные данные для подвариантов				
	А α°	Б		В	
		Толщина элементов a , мм c , мм		Материал нагеля	Диаметр нагеля, мм
1	60	50	60	сталь	2Ø14
2	45	40	60	алюминий	3Ø12
3	45	60	75	стеклопластик	2Ø16
4	30	40	50	сталь	3Ø14
5	30	50	75	алюминий	2Ø18
6	60	50	50	сталь	3Ø16
7	45	60	60	стеклопластик	3Ø18
8	60	60	50	алюминий	2Ø14
9	50	50	60	стеклопластик	3Ø16
10	40	40	40	сталь	2Ø14

Рекомендации к решению. При решении этих задач, в отличие от предыдущих, необходимо в расчет ввести коэффициент $k\alpha$ (или $\sqrt{k\alpha}$), учитывающий передачу усилия нагелями под углом α к волокнам (табл.21П приложения).

Задача 4.2.3. Найти необходимое число нагелей (гвоздей, болтов или винтов) и произвести их расстановку для крепления стальных накладок по рис.15. Исходные данные взять из табл.21.

Т а б л и ц а 21

№ варианта	Исходные данные					
	Схема по рис.15	N, кН	Сечение элемента, мм	Порода древесины	Условия эксплуатации	Тип нагелей (диаметр, длина)
1	а	24	175 × 175	пихта	A3	гвозди 5×120
2	б	30	150 × 150	сосна	B1	глухари 10×80
3	в	22	200 × 200	береза	A2	болты Ø12
4	г	20	150 × 150	кедр	B2	болты Ø14
5	а	18	175 × 175	лиственница	A1	глухари 8×80
6	б	20	150 × 150	ясень	B3	гвозди 5×100
7	в	18	175 × 175	клен	B3	болты Ø16
8	г	16	250 × 250	вяз	B2	болты Ø16
9	а	22	200 × 200	ель	B1	глухари 10×100
10	б	17	200 × 200	дуб	A2	гвозди 4×100

Решение (вариант 1). Сначала найдем несущую способность одного среза нагеля (гвоздя). Для заданного случая она определяется исходя из работы гвоздя на изгиб и притом по максимальной величине согласно табл.19П приложения, т.е. $4,0d_{гв}^2$. С учетом породы древесины соединяемых элементов и условий эксплуатации несущая способность одного среза гвоздя

$$T_{гв,н} = \sqrt{m_n} \sqrt{m_b} \cdot 4,0d_{гв}^2 = \sqrt{0,8} \sqrt{0,9} \cdot 4,0 \cdot 0,5^2 = 0,848 \text{ кН.}$$

Принимаем стальную накладку толщиной 4 мм, тогда глубина защемления гвоздя

$$\begin{aligned} a_{зщ} &= l_{гв} - t - 0,2 - 1,5d_{гв} = 12,0 - 0,4 - 0,2 - 1,5 \cdot 0,5 = \\ &= 10,65 \text{ см} > 4d_{гв} = 4 \cdot 0,5 = 2 \text{ см (гвоздь защемлен)}. \end{aligned}$$

Несущая способность одного среза гвоздя из условия смятия древесины

$$T_{см} = 0,35ad_{гв}m_n m_b = 0,35 \cdot 10,65 \cdot 0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,9 = 1,34 \text{ кН} > T_{гв,н}.$$

Она заведомо больше, чем из условия изгиба гвоздя, поэтому за расчетную несущую способность среза гвоздя принимаем $T_{гв}^{min} = 0,848 \text{ кН.}$

Гвоздь работает как односрезный, поэтому расчетная несущая способность его будет равна 0,848 кН.

Необходимое количество гвоздей для крепления одной пластины

$$n = \frac{N}{2T_{гв}} = \frac{24}{2 \cdot 0,848} = 14,15.$$

Принимаем 16 гвоздей, расставляя их в два ряда по 8 штук.

Расстояние между осями гвоздей вдоль длины элемента принимаем $S_1 = 15d_{гв} = 15 \cdot 5 = 75$ мм. Расстановка гвоздей показана на рис.19.

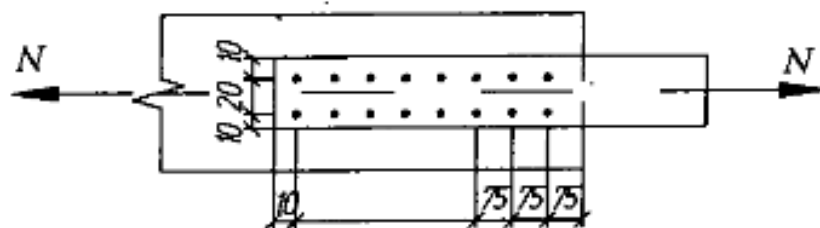


Рис.19. Крепление стальных накладок к деревянному элементу

Проверка прочности стальных накладок по ослабленному сечению:

$$\sigma_p = \frac{N}{2A_{нт}} = \frac{24}{2 \cdot (4 \cdot 0,4 - 2 \cdot 0,5 \cdot 0,4)} = \frac{24 \cdot 10}{2,4} = 100 \text{ МПа} < R = 210 \text{ МПа}.$$

Прочность обеспечена.

ОГРАЖДАЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ

Ограждения стен, покрытий и перекрытий в конструкциях из дерева и пластмасс могут быть выполнены:

- в виде различных настилов, уложенных по прогонам покрытия или ригелям фахверка;

- в виде промышленных щитов, укладываемых на прогоны покрытия или несущие конструкции каркаса здания;

- из крупных промышленных панелей, монтируемых, как правило, на основные несущие конструкции каркаса здания.

В состав ограждающих конструкций в общем случае входят настилы, прогоны, щиты, панели.

Практическая работа № 5. Настилы.

Настилы могут быть выполнены из досок, брусков, листов фанеры, древесно-стружечных плит, стеклопластика и др.

Расчет деревянных настилов производится по схеме двухпролетной балки на два сочетания нагрузок:

- 1) собственный вес и временная нагрузка (снег);
 - 2) собственный вес и сосредоточенный груз $P = 1 \text{ кН}$ с $\gamma_f = 1,2$.
- Проверка прочности настилов осуществляется по формуле

$$\sigma = \frac{M}{W} \leq R_n m_n. \quad (37)$$

Проверка прогибов производится по обычной формуле как для изгибаемого элемента, при этом максимальная величина прогиба для двухпролетной балки подсчитывается по формуле

$$f = \frac{2,13}{384} \frac{q l^4}{EJ}. \quad (38)$$

Сосредоточенный груз P считается приложенным к двум доскам (брускам), если расстояние между осями досок (брусков) менее 150 мм, при расстоянии более 150 мм весь груз прикладывается к одной доске (бруску).

При наличии двойного настила (один из которых защитный) груз P распределяется на ширину рабочего настила, равную 0,5 м.

При расчете прочности настила на действие монтажной нагрузки расчетное сопротивление древесины умножается на коэффициент $m_n = 1,2$.

Значения прогибов и изгибающих моментов в настиле в зависимости от схемы его работы приведены на рис.27.

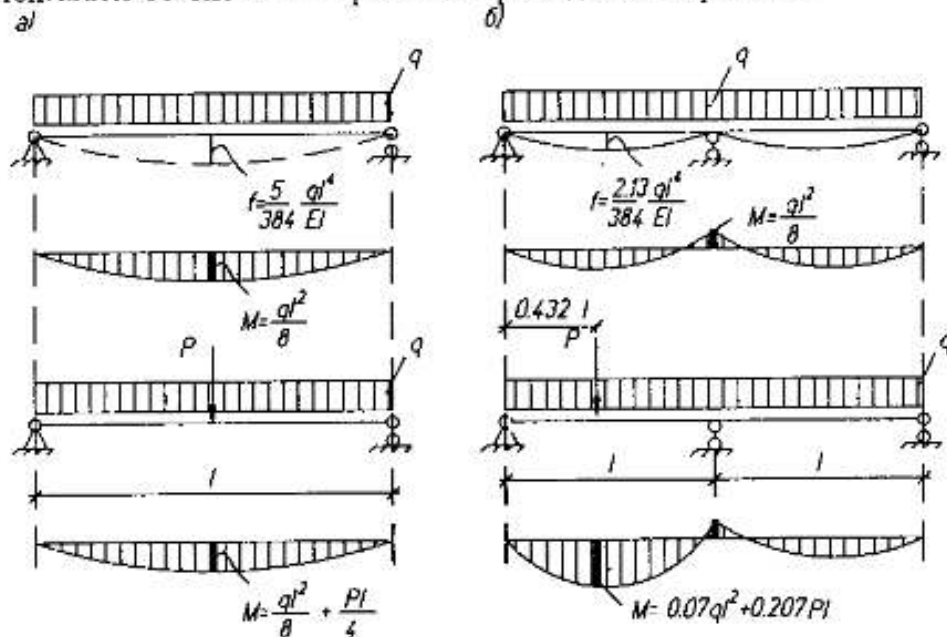


Рис.27. Расчетные схемы настилов:
а – разрезные, б – двухпролетные

Задача 6.1.1. Проверить несущую способность и прогибы рабочих настилов (обрешетки), выполненных из сосновых досок 2-го сорта. Данные для расчетов взять из табл.29 и рис.27. Коэффициенты надежности принять: для постоянной нагрузки $\gamma_f = 1,1$, для временной – $\gamma_{f1} = 1,4$. Шаг несущих конструкций $B = 1,1$ м.

Таблица 29

№ варианта	Исходные данные							
	Условия эксплуатации	Тип настила	Расчетная схема настила (рис.27)	Наличие защитного настила	Сечение досок, мм	Расстояние между досками в свету, мм	Расчетная нагрузка, кН/м ²	
							постоянная	временная
1	A1	разреженный	a	есть	22×150	10	0,26	1,4
2	A2	сплошной	б	нет	19×125	-	0,15	1,6
3	B1	разреженный	б	нет	16×125	15	0,16	1,0
4	B2	сплошной	a	есть	16×150	-	0,12	1,2
5	A3	разреженный	a	есть	32×175	20	0,32	2,0
6	B3	сплошной	б	нет	25×150	-	0,20	1,8
7	A1	разреженный	б	нет	25×150	10	0,20	1,8
8	A2	сплошной	a	нет	32×175	-	0,28	2,0
9	B1	разреженный	a	есть	19×150	15	0,18	1,6
10	B2	сплошной	б	нет	22×150	-	0,18	1,4

Решение (вариант 1). Расчет настила ведем для полосы шириной $B = 1$ м.

Максимальный изгибающий момент при первом сочетании нагрузок (рис.27,а) определяется по формуле

$$M = \frac{ql^2}{8} = \frac{2,246 \cdot 1,1^2}{8} = 0,34 \text{ кН} \cdot \text{м},$$

где $q = (q_n \gamma_f + q_v \gamma_{f1})B = (0,26 \cdot 1,1 + 1,4 \cdot 1,4) \cdot 1 = 2,246 \text{ кН/м}$.

Благодаря наличию защитного настила действие сосредоточенного груза $P = 1 \text{ кН}$ с $\gamma_f = 1,2$ считаем распределенным на ширину 0,5 м рабочего настила. Тогда расчетная сосредоточенная нагрузка, приходящаяся на ширину настила 1 м, равна:

$$P_{\text{расч}} = \frac{P \gamma_f}{0,5} = \frac{1 \cdot 1,2}{0,5} = 2,4 \text{ кН}.$$

Максимальный изгибающий момент при втором сочетании нагрузок (рис.27,а) находим по формуле

$$M = \frac{q_n \gamma_f l^2}{8} + \frac{P_{\text{расч}} l}{4} = \frac{0,26 \cdot 1,1 \cdot 1,1^2}{8} + \frac{2,4 \cdot 1,1}{4} = 0,703 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Очевидно, более невыгодным для проверки прочности настила будет второй случай нагружения.

Момент сопротивления настила

$$W = \frac{bh^2}{6} \frac{100}{b + s_0} = \frac{15 \cdot 2,2^2}{6} \frac{100}{15 + 10} = 48,4 \text{ см}^3,$$

где $\frac{100}{b + s_0}$ – число досок, укладываемых на ширине настила $B = 1 \text{ м}$.

Проверяем прочность:

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W} = \frac{0,703 \cdot 10^3}{48,4} = 14,52 \text{ МПа} < R_n m_n = 13 \cdot 1,2 = 15,6 \text{ МПа},$$

где $R_n = 13 \text{ МПа}$ для сосны 2-го сорта по табл.6П приложения;

$m_n = 1,2$ – коэффициент, учитывающий кратковременность действия сосредоточенной нагрузки.

Прочность достаточна.

Момент инерции настила

$$J = \frac{bh^3}{12} \frac{100}{b + s_0} = \frac{15 \cdot 2,2^3}{12} \frac{100}{15 + 10} = 53,24 \text{ см}^4.$$

Прогиб настила

$$f = \frac{5}{384} \frac{q'' l^4}{EJ} = \frac{5 \cdot 1,66 \cdot 1,1^4 \cdot 10^5}{384 \cdot 10^5 \cdot 53,24} = 0,54 \text{ см},$$

где $q'' = q_n + q_{zp} = 0,26 + 1,4 = 1,66 \text{ кН/м}$.

Проверка прогиба:

$$\frac{f}{l} = \frac{0,54}{110} = \frac{1}{204} < \left[\frac{1}{150} \right].$$

Прогиб настила не превышает предельного (табл.18П приложения).

Задача 6.1.2. Из условия прочности подобрать сечение рабочего настила под кровлю из рулонного материала или волнистых асбестоцементных листов. Исходные данные взять из табл.30.

Таблица 30

№ варианта	Пролет, мм	Исходные данные		Материал настила, сорт	Длина асбестоцементных листов	Схема работы настила
		постоянная	временная			
1	1000	0,25	1,6	сосна, 2с	1200	двухпролетный
2	800	0,20	1,4	пихта, 3с	-	двухпролетный
3	1750	0,29	1,8	лиственница, 3с	1750	однопролетный
4	900	0,24	1,9	осина, 2с	-	однопролетный
5	1200	0,38	2,6	береза, 3с	1750	двухпролетный
6	1000	0,24	1,7	дуб, 2с	-	двухпролетный
7	1100	0,52	3,6	ель, 1с	1200	однопролетный
8	1100	0,22	1,5	вяз, 1с	-	однопролетный
9	1100	0,46	3,2	клен, 2с	1750	двухпролетный
10	1200	0,18	1,2	кедр, 2с	-	двухпролетный

Решение (вариант 1). Настил под асбестоцементную кровлю принимаем в виде обрешетки из брусков. Шаг обрешетки назначаем таким образом, чтобы лист опирался на три бруска и при этом не менее чем 100 мм оставалось на нахлестку листов. Для данного варианта получаем шаг обрешетки

$$B = \frac{1200 - 200}{2} = 500 \text{ мм.}$$

Расчет ведем на одну обрешетину, для которой погонные нагрузки будут равны:

$$g = 0,25 \cdot 0,5 = 0,125 \text{ кН/м;}$$

$$p = 1,6 \cdot 0,5 = 0,8 \text{ кН/м.}$$

Максимальные изгибающие моменты при сочетании нагрузок:

а) постоянная + временная

$$M = \frac{(g + p)l^2}{8} = \frac{(0,125 + 0,8) \cdot 1^2}{8} = 0,116 \text{ кН} \cdot \text{м;}$$

б) постоянная + $P = 1,2$ кН

$$M = 0,07ql^2 + 0,207Pl = 0,07 \cdot 125 \cdot 1^2 + 0,207 \cdot 1,2 \cdot 1,0 = \\ = 0,09 + 0,248 = 0,256 \text{ кНм.}$$

Требуемый момент сопротивления обрешетины

$$W_{\text{тр а}} = \frac{0,116 \cdot 10^{-3}}{13} = 0,00000892 \text{ м}^3 = 8,92 \text{ см}^3;$$

$$W_{\text{тр б}} = \frac{0,257 \cdot 10^{-3}}{1,2 \cdot 13} = 0,00001647 \text{ м}^3 = 16,47 \text{ см}^3.$$

В соответствии с сортаментом принимаем брусок сечением 32×60 мм ($W = 19,2 \text{ см}^3 > W_{\text{тр}}$).

Практическая работа № 6. Панели.

В конструктивном отношении панели можно разделить на два типа: ребристые и со сплошным срединным слоем. Ребристые панели состоят из несущих ребер и обшивок (одной или двух). В зависимости от назначения ребристые панели могут быть утепленными и холодными. В утепленных панелях между двумя обшивками закладывают утеплитель, как правило, из негорючего или трудногорючего материала.

Обшивки выполняют из прочных листовых материалов: фанеры, стеклопластика, древесно-стружечных плит и др. Для изготовления ребер используют доски, бруски, фанерные швеллеры.

Панели со сплошным срединным слоем состоят из двух обшивок и надежно приклеенного к ним срединного слоя из пенопласта. По контуру панели устраивают обрамление из твердого листового материала или досок. При этом обрамление и обшивки соединяются между собой только податливыми связями (гвоздями, шурупами, болтами), вследствие чего обрамление не включается в общую работу панели. В таких панелях нормальные напряжения воспринимаются только обшивками. Для обшивок принимаются тонкие и прочные листовые материалы: сталь толщиной 0,5 - 1,2 мм, алюминий толщиной 0,8 - 1,5 мм, стеклопластик толщиной 1 - 2,5 мм, асбестоцемент толщиной 6 - 10 мм и др.

Панели изготавливают обычно под пролеты $l = 3 - 6$ м. Высота панелей принимается в пределах $(1/25 - 1/35) l$. Ширина панелей, как правило, согласуется с размерами листов обшивки, в соответствии с требованиями ГОСТов на материалы.

Количество продольных несущих ребер определяют в основном по условию расчета на местный изгиб в поперечном направлении верхней обшивки при действии расчетной сосредоточенной нагрузки $P = 1,2$ кН. Определяющей формулой при этом является следующая:

$$[C] \leq 1333 R_n \delta^2, \quad (39)$$

где $[C]$ – предельный шаг расстановки ребер, м;

δ – толщина обшивки, м;

R_n – расчетное сопротивление материала обшивки в поперечном, по отношению к панели, направлении, МПа.

При расчете ребристых панелей необходимо выполнить следующие проверки:

– прочности верхней обшивки

$$\sigma_c = \frac{M}{W_{пр}^{во}} \leq m_c R_c; \quad (40)$$

– прочности растянутой обшивки

$$\sigma_p = \frac{M}{W_{пр}^{но}} \leq m_o R_p; \quad (41)$$

– устойчивости верхней обшивки

$$\sigma_c = \frac{M}{W_{пр}^{во}} \leq \varphi R_c; \quad (42)$$

где φ – коэффициент продольного изгиба;

– прочности ребер по нормальным напряжениям

$$\sigma = \frac{M}{J_{пр}} (y - \delta_2) \leq R_p \text{ или } \sigma = \frac{M}{J_{пр}} (h - y - \delta_1) \leq R_p; \quad (43)$$

– прочности ребер по касательным напряжениям

$$\tau = \frac{QS_{пр}^{нс}}{J_{пр} \sum b_p} \leq R_{ск}; \quad (44)$$

– прочности клеевых швов на скалывание

$$\tau = \frac{QS_{пр}^{об}}{J_{пр} \sum b_p} \leq R_{ск}^{ш}; \quad (45)$$

(при расчете клефанерных панелей в формуле (45) за $R_{ск}^w$ принимают расчетное сопротивление скалыванию фанеры $R_{ск}^f$);

– прогибов

$$\frac{f}{l} = \frac{5}{384} \frac{q l^3}{B J_{пр}} \leq \left[\frac{f}{l} \right].$$

При пользовании формулами (40)-(45) очень важным этапом является подсчет геометрических характеристик $J_{пр}$, $W_{пр}^{во}$, $W_{пр}^{но}$, $S_{пр}^{пе}$, $S_{пр}^{об}$. При этом, прежде чем их подсчитывать, необходимо найти положение нейтральной оси приведенного поперечного сечения. Расстояние y от произвольно выбранной оси x_1 (обычно принимают за нее нижнюю грань панели) до нейтральной оси определяют по формуле

$$y = \frac{S_{прx1}}{A_{пр}}, \quad (46)$$

где $A_{пр}$ – приведенная площадь сечения, в общем случае она равна:

$$A_{пр} = A_p + \frac{E_{во}}{E_p} A_{во} + \frac{E_{но}}{E_p} A_{но};$$

$S_{прx1}$ – приведенный статический момент сечения относительно оси x_1 , подсчитывается по формуле

$$S_{прx1} = S_p + \frac{E_{во}}{E_p} S_{во} + \frac{E_{но}}{E_p} S_{но}.$$

Зная положение нейтральной оси x , геометрические характеристики сечения подсчитывают, как

$$\left. \begin{aligned} J_{пр} &= J_p + \frac{E_{во}}{E_p} J_{во} + \frac{E_{но}}{E_p} J_{но}; \\ S_{пр}^{пе} &= J_p + \frac{E_{во}}{E_p} S_{во}; \\ S_{пр}^{об} &= \frac{E_{но}}{E_p} S_{но}; \\ W_{пр}^{во} &= \frac{J_{пр}}{h - y} + \frac{E_p}{E_{во}}; \\ W_{пр}^{но} &= \frac{J_{пр}}{y} + \frac{E_p}{E_{но}}. \end{aligned} \right\} \quad (47)$$

В формулах (47) приведение сделано к материалу ребра, хотя при расчете панели геометрические характеристики могут быть приведены также к материалу верхней или нижней обшивки.

Неравномерность распределения нормальных напряжений по ширине обшивки учитывается введением в расчет приведенной ширины, которая подсчитывается по формуле

$$b_{np} = \Sigma b_p + k \Sigma b_o, \quad (48)$$

где Σb_p – суммарная ширина ребер;

Σb_o – суммарное расстояние в свету между ребрами;

k – коэффициент, принимаемый в зависимости от отношения l/c (для фанеры $k = 0,9$ при $l/c \geq 6$).

При расчете панелей со сплошным срединным слоем рекомендуются следующие формулы:

– для проверки прочности растянутой обшивки

$$\sigma_p = \frac{M}{W} \leq R_p m_o, \quad (49)$$

где $W = b\delta(h_p + \delta)$ – момент сопротивления (для симметричного сечения);

– для проверки прочности сжатой обшивки

$$\sigma_c = \frac{M}{W} \leq [\sigma_c], \quad (50)$$

где $[\sigma_c]$ – предельные напряжения сжатия для верхней обшивки, подсчитываются с учетом начальной погиби листов по формулам:

если обшивки выполнены из неметаллических материалов

$$[\sigma_c] = \frac{R}{1 + 6 \frac{\omega}{\delta}}; \quad (51)$$

если обшивки выполнены из металлических листов

$$[\sigma_c] = R_c \left[\sqrt{1 + 4 \left(\frac{\omega}{\delta} \right)^2} - 2 \frac{\omega}{\delta} \right]; \quad (52)$$

– для проверки прочности срединного слоя

$$\sigma_c = \frac{E''}{E_{об}} \cdot \frac{h - \delta}{h + \delta} \sigma_c \leq R_c^n (R_p^n); \quad (53)$$

$$\tau = \frac{Q}{h_n} \leq R_{\text{ср}}^n; \quad (54)$$

$$\sigma_s = \sqrt{\sigma_c^2 + 4\tau^2} \leq R_c^n(R_p^n); \quad (55)$$

– для проверки прогибов

$$\frac{f}{l} = \frac{5}{384} \frac{q^n l^3}{D} \leq \left[\frac{f}{l} \right], \quad (56)$$

где $D = \frac{1}{k} EJ$ – жесткость панели $\left[J = b\delta \frac{(h_p + \delta)^2}{2} \right];$

$k = 1 + 9,6 \frac{EJ}{G_n h l^2}$ – коэффициент, учитывающий податливость срединного слоя.

Более подробное разъяснение расчетных формул с уточнением коэффициентов и представлением графиков для их определения при расчете панелей приведено в [7].

Практическое использование формул (39)-(47) показано на примере расчета ребристой клефанерной панели.

Пример. Произвести проверку несущей способности и жесткости клефанерной панели (рис.29) при следующих исходных данных:

расчетный пролет $l = 5,92$ м;

нормативная нагрузка $q^n = 2,25$ кН/м;

расчетная нагрузка $q = 2,8$ кН/м;

верхняя обшивка выполнена из семислойной фанеры марки ФСФ толщиной $\delta_1 = 8$ мм;

нижняя обшивка – из пятислойной фанеры марки ФСФ толщиной $\delta_2 = 6$ мм;

ребра – из сосновых досок 2-го сорта.

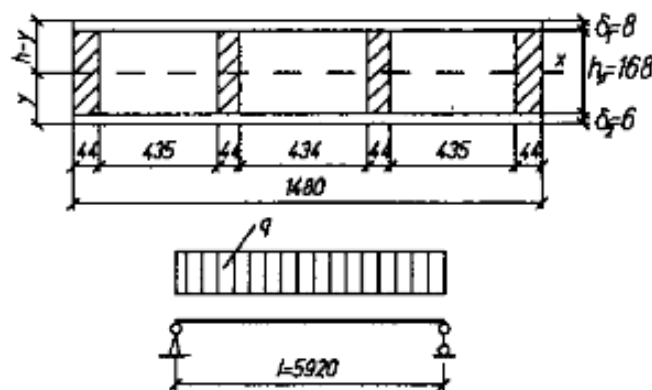


Рис.29. Поперечное сечение и расчетная схема панели

Решение. Расчетные характеристики материалов (по табл.6П, 13П, 14П приложения):

верхняя обшивка

$R_{фр} = 14$ МПа, $R_{фс} = 12$ МПа, $R_{фн} = 6,5$ МПа, $R_{фск} = 0,8$ МПа, $E_{ф} = 9000$ МПа;

нижняя обшивка

$R_{фр} = 14$ МПа, $R_{фс} = 13$ МПа, $R_{фск} = 0,8$ МПа, $E_{ф} = 9000$ МПа;

ребра

$R_{н} = 13$ МПа, $R_{ск} = 1,6$ МПа, $E_{др} = 10000$ МПа.

Расчетные усилия в панели:

$$M = \frac{ql^2}{8} = \frac{2,8 \cdot 5,92^2}{8} = 12,2 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$Q = \frac{ql}{2} = \frac{2,8 \cdot 5,92}{2} = 8,3 \text{ кН}.$$

Приведенная ширина обшивки панели:

$$b_{пр} = \Sigma b_p + k \Sigma b_o = 4 \cdot 4,4 + 0,9 \cdot 130,4 = 134,96 \text{ см}.$$

Расчетные площади:

верхней обшивки $A_{во} = 0,8 \cdot 134,96 = 107,97 \text{ см}^2$;

нижней обшивки $A_{но} = 0,6 \cdot 134,96 = 80,98 \text{ см}^2$;

продольных ребер $A_p = 4,4 \cdot 16,8 \cdot 4 = 295,68 \text{ см}^2$.

Приведенная (к материалу фанеры) площадь поперечного сечения

$$\begin{aligned} A_{пр} &= A_{во} + \frac{E_p}{E_{ф}} A_p + A_{но} = \\ &= 107,97 + \frac{10000}{9000} 295,68 + 80,98 = 517,48 \text{ см}^2 \end{aligned}$$

В дальнейшем отношение модулей упругости древесины и фанеры обозначим $\eta = \frac{E_p}{E_{ф}} = \frac{10000}{9000} = 1,11$.

Приведенный статический момент всего сечения относительно оси, проходящей через нижнюю грань нижней обшивки, равен:

$$\begin{aligned} S_{пр x1} &= S_{во} + S_{но} + \eta S_p = 107,97 \cdot 17,8 + 80,98 \cdot 0,3 + \\ &+ 1,11 \cdot 295,68 \cdot 9,0 = 4900,003 \text{ см}^3. \end{aligned}$$

Находим положение нейтральной оси (от нижней грани обшивки) по формуле

$$y = \frac{S_{\text{пр.г.1}}}{A_{\text{пр}}} = \frac{4900,003}{517,48} = 9,47 \text{ см}; h - y = 18,2 - 9,47 = 8,73 \text{ см}.$$

Приведенный момент инерции относительно нейтральной оси

$$\begin{aligned} J_{\text{пр}} &= J_{\text{по}} + J_{\text{но}} + \eta J_{\text{по}} + \eta J_{\text{р}} = 107,97(8,73 - 0,4)^2 + \\ &+ 80,98(9,47 - 0,3)^2 + (1,11 \cdot 4,4 \cdot 16,8^3) / 12 + \\ &+ 1,11 \cdot 295,68(9,47 - 0,6 - 8,4)^2 = 16285,75 \text{ см}^4. \end{aligned}$$

Моменты сопротивления верхней и нижней обшивок равны:

$$\begin{aligned} W_{\text{пр}}^{\text{в}} &= \frac{J_{\text{пр}}}{h - y} = \frac{16285,75}{8,77} = 1856,948 \text{ см}^3; \\ W_{\text{пр}}^{\text{н}} &= \frac{J_{\text{пр}}}{y} = \frac{16285,75}{9,47} = 1719,720 \text{ см}^3. \end{aligned}$$

Проверяем прочность нижней обшивки:

$$\sigma = \frac{M}{W_{\text{пр}}^{\text{н}}} = \frac{12,2 \cdot 10^3}{1719,720} = 7,094 \text{ МПа} < R_{\text{ф.р}} m_o = 14 \cdot 0,6 = 8,4 \text{ МПа}.$$

Прочность обеспечена.

Проверяем устойчивость верхней обшивки:

$$\sigma = \frac{M}{W_{\text{пр}}^{\text{в}}} = \frac{12,2 \cdot 10^3}{1856,948} = 6,57 \text{ МПа} > \varphi R_{\text{ф.с}} = 0,423 \cdot 12 = 5,076 \text{ МПа},$$

где $\varphi = 1250 / (b_o / \delta_{\text{ф}})^2 = 1250 / 54,375^2 = 0,423$ при $b_o / \delta_{\text{ф}} = 43,5 / 0,8 = 54,375 > 50$.

Устойчивость не обеспечена.

Прочность верхней обшивки на местный изгиб проверяем по формуле

$$\sigma = \frac{6Pa}{8b\delta^2} = \frac{6 \cdot 1,2 \cdot 47,9 \cdot 10}{8 \cdot 100 \cdot 0,8^2} = 6,74 \text{ МПа} < R_{\text{ф.н}} m_n = 6,5 \cdot 1,2 = 7,8 \text{ МПа},$$

где $a = b_o + b_p = 43,5 + 4,4 = 47,9 \text{ см};$

$b = 100 \text{ см}$ – ширина расчетной полосы;

$m_n = 1,2$ для временной монтажной нагрузки.

Прочность обеспечена.

Проверяем прочность ребер:
по нормальным напряжениям

$$\sigma = \frac{M}{J_{\text{пр}}} (y - \delta_2) \eta = \frac{12,2 \cdot 10^3}{16285,75} (9,47 - 0,6) \cdot 1,11 = 7,37 \text{ МПа} \leq R_{\text{н}} = 13 \text{ МПа};$$

$$\sigma = \frac{M}{J_{\text{пр}}} (h - y - \delta_1) \eta = \frac{12,2 \cdot 10^3}{16285,75} (18,2 - 9,47 - 0,8) \cdot 1,11 =$$

$$= 6,6 \text{ МПа} < R_{\text{н}} = 13 \text{ МПа};$$

по касательным напряжениям

$$\tau = \frac{Q S_{\text{пр}}^{\text{нс}}}{J_{\text{пр}} \sum b_p} = \frac{8,3 \cdot 10 \cdot 1038,36}{16285,75 \cdot 4 \cdot 4,4} = 0,3 \text{ МПа} < R_{\text{ск}} = 1,6 \text{ МПа},$$

где $S_{\text{пр}}^{\text{нс}} = S_{\text{вс}} + \eta S_p = 107,97(8,73 - 0,4) +$
 $+ 1,11 \cdot 295,68(9,47 - 0,6 - 8,4) = 1038,36 \text{ см}^3$

Прочность ребер обеспечена.

Проверяем прочность клеевых швов на скалывание:

$$\tau = \frac{Q S_{\text{пр}}^{\text{об}}}{J_{\text{пр}} \sum b_p} = \frac{8,3 \cdot 10 \cdot 899,39}{16285,75 \cdot 4 \cdot 4,4} = 0,26 \text{ МПа} < R_{\text{ск}}^{\text{ф}} = 0,8 \text{ МПа},$$

где $S_{\text{пр}}^{\text{об}} = 107,97(8,73 - 0,4) = 899,39 \text{ см}^3$.

Прочность обеспечена.

Прогиб плиты

$$f = \frac{5}{384} \frac{q l^4}{E J_{\text{пр}}} = \frac{5 \cdot 2,25 \cdot 5,92^4 \cdot 10^3}{384 \cdot 9 \cdot 10^4 \cdot 16285,75} = 2,45 \text{ см}.$$

Относительный прогиб плиты составляет

$$\frac{f}{l} = \frac{2,45}{592} = \frac{1}{242} > \left[\frac{f}{l} \right] = \frac{1}{250}.$$

Прогиб плиты превышает предельно допустимый (табл.18П приложения).

Задача 6.3.1. Сделать требуемые проверки для клефанерной панели шириной $B = 1500$ мм, изображенной на рис.30. Исходные данные принять по табл.32.

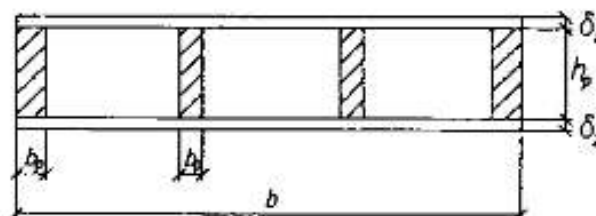


Рис.30. Поперечное сечение панели

Таблица 32

№ вари- анта	Исходные данные						Что требуется проверить	
	Про- лет, мм	Нагрузка, кН/м		Сечение ребра $b_p h_p$, мм	Толщина обшивки, мм			Коли- чество ребер
		расчет- ная	нор- матив- ная		верх- ней δ_1	ниж- ней δ_2		
1	3000	4,0	3,6	40×144	6	6	5	прочность растянутой обшивки
2	3500	3,8	2,8	44×144	7	7	4	прочность ребер на изгиб
3	4000	3,4	2,4	44×169	8	8	4	прочность ребер на скалывание
4	4500	3,0	2,2	44×169	9	9	4	устойчивость верхней обшивки
5	5000	2,45	1,8	44×144	10	10	4	прогиб
6	5500	2,35	2,0	44×169	12	12	3	прочность верхней обшивки на местный изгиб
7	6000	2,0	1,6	35×194	8	8	5	прочность верхней обшивки
8	5000	2,8	2,2	35×168	9	9	3	прочность клеевых швов
9	3000	3,8	3,0	44×144	10	10	3	устойчивость верхней обшивки
10	4000	3,6	2,7	35×144	7	7	5	прогиб

Задача 6.3.2. (контрольная). Запроектировать клефанерную панель покрытия. Материал ребер – сосна 2-го сорта; обшивки – березовая фанера марки ФСФ. Исходные данные принять по табл.33.

Таблица 33

№ варианта	Исходные данные для подвариантов				
	А Длина панели, мм	Б Нагрузка, кН/м		В Толщина обшивки, мм	
		нормативная	расчетная	верхней	нижней
1	3000	1,1	1,6	8	-
2	4000	1,2	1,8	-	8
3	4500	1,4	2,0	8	8
4	5000	1,5	2,2	9	-
5	6000	1,2	1,8	10	10
6	5500	1,4	1,9	-	10
7	4700	1,6	2,2	10	-
8	4200	1,7	2,3	9	9
9	3500	1,7	2,5	8	6
10	3200	1,2	1,9	6	6

Вариант задачи задается трехзначной цифрой, аналогично задачам предыдущих тем. В результате выполнения задачи должно быть получено сечение панели и произведена его проверка, при этом нужно стремиться к минимальным отходам материалов, исходя из сортамента пиломатериалов (см. табл.1П приложения), сор-

этом нужно стремиться к минимальным отходам материалов, исходить из сортамента пиломатериалов (см. табл.1П приложения), сортамента фанеры (см. табл.2П приложения) и припусков на механическую обработку (см. табл.1, 2). Запасы прочности не должны превышать 20 %.

Задача 6.3.3. Запроектировать панель со сплошным срединным слоем. Исходные данные принять по табл.34 и рис.31.

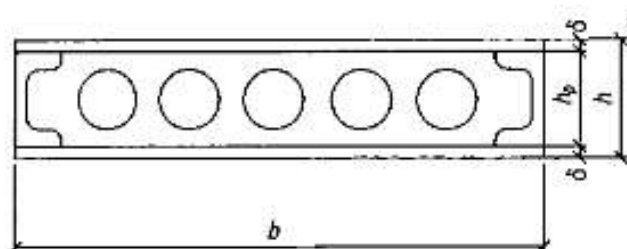


Рис.31. Поперечное сечение панели

Таблица 34

№ варианта	Исходные данные для подвариантов				
	А		В		
	Пролет, мм	Нагрузка, кН/м		Материал обшивок	Материал среднего слоя
		нормативная	расчетная		
1	3000	1,2	1,8	сталь	ФРП-1 ($\gamma=60 \text{ кг/м}^3$)
2	6000	1,4	1,9	алюминий	ПХВ-1 ($\gamma=100 \text{ кг/м}^3$)
3	5500	1,6	2,2	стеклопластик(кастВ)	ПСБ-Т ($\gamma=40 \text{ кг/м}^3$)
4	4000	1,7	2,3	стеклопластик полиэф.	ПСБ-Т ($\gamma=60 \text{ кг/м}^3$)
5	5000	1,4	2,0	асбестоцемент	ПС-4 ($\gamma=40 \text{ кг/м}^3$)
6	4200	1,2	1,8	фанера бакелиз.	ФРП-1 ($\gamma=60 \text{ кг/м}^3$)
7	3500	1,5	2,2	асбестоцемент	ПХВ-1 ($\gamma=100 \text{ кг/м}^3$)
8	4500	1,1	1,6	сталь	ПСБ-Т ($\gamma=40 \text{ кг/м}^3$)
9	3200	1,7	2,5	алюминий	ПСБ-Т ($\gamma=60 \text{ кг/м}^3$)
10	4700	1,2	1,9	сталь	ПС-4 ($\gamma=40 \text{ кг/м}^3$)

Условия и результат решения задачи такие же, как для задачи 6.3.2.

КЛЕЕННЫЕ БАЛКИ.

Клеенные балки могут быть склеены из досок (клеедощатые) и из досок и фанеры (клеефанерные). Для изготовления используют доски толщиной не более 50 мм и шириной не более 200 мм с влажностью древесины менее 15 %. Доски перед склеиванием фрезеруют, поэтому при компоновке поперечного сечения балки необходимо учитывать припуски на механическую обработку досок (см. разд. 2).

Практическая работа № 7. Клеедощатые балки

Типы клеедощатых балок показаны на рис. 34.

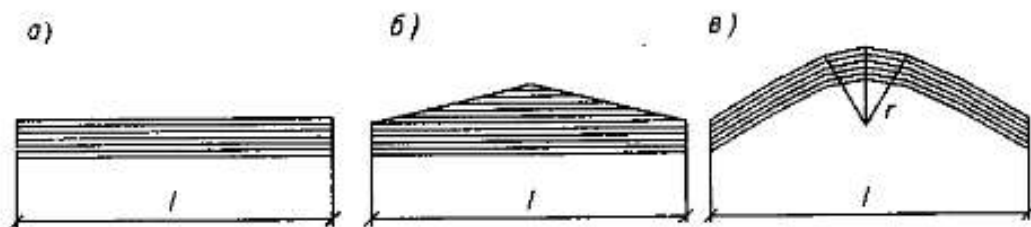


Рис. 34. Клеедощатые балки

Балки представляют пакет склеенных между собою досок, укладываемых плашмя. Для склеивания используют фенолформальдегидные или резорциновые клеи. Толщина клеевого шва в расчетах не учитывается, поскольку очень мала ($\approx 0,1$ мм).

Поперечное сечение клеедощатых балок принимают в основном прямоугольным (рис. 35), как более технологичное, хотя могут быть изготовлены балки и более рациональных форм сечений (например двутавровых).

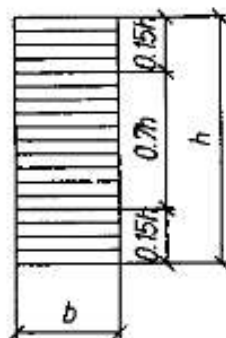


Рис. 35. Поперечное сечение клееных балок

Допускается сочетать по высоте сечения балки древесину двух сортов, используя в средней зоне более низкий сорт, а в крайних зонах на $0,15h$ более высокий, по которому назначают расчетные сопротивления (R_c, R_p, R_w).

Расчет клеждатых балок производят как балок цельного сечения (см. подразд. 3.2), но при этом необходимо учитывать ряд специфических коэффициентов m_b, m_{cl}, m_{gn} , которые вводятся к расчетному сопротивлению древесины и значения которых приведены в табл.10П, 11П, 12П приложения.

Для балок, изображенных на рис.34,б, опасное сечение при действии равномерно распределенной нагрузки находится на расстоянии x от опоры, которое подсчитывается по формуле

$$x = \frac{lh_{оп}}{2h}, \quad (62)$$

величина изгибающего момента в этом сечении

$$M_x = \frac{qx}{2}(l-x). \quad (63)$$

Для гнутоклееных балок (см. рис.34,в) необходимо дополнительно выполнять проверку прочности на действие радиальных растягивающих напряжений по формуле

$$\frac{(\sigma_0 + \sigma_1)h_1}{2r_1} \leq R_{p90}, \quad (64)$$

где σ_0 – нормальное напряжение в крайнем волокне растянутой зоны;

σ_1 – нормальное напряжение в промежуточном волокне сечения, где определяются радиальные растягивающие напряжения;

h_1 – расстояние между крайним и рассматриваемым волокнами;

r_1 – радиус кривизны линии, проходящей через центр тяжести части эпюры нормальных растягивающих напряжений, заключенной между крайним и рассматриваемым волокнами;

R_{p90} – расчетное сопротивление древесины растяжению поперек волокон.

Для максимальной величины растягивающих напряжений (по нейтральной линии) вместо формулы (64) можно пользоваться формулой

$$\sigma_p^{\max} = \frac{1,5M'}{bhr_0}, \quad (65)$$

где r_0 – радиус кривизны линии, проходящей выше на $(1/3)h$ нейтральной оси (радиус кривизны по нейтральной оси принимать не менее 300 толщин склеиваемых досок).

Задача 8.1.1. Проверить прочность, устойчивость и прогиб изображенной на рис.34 клеодошчатой однопролетной балки, склеенной из досок толщиной 35 мм (в чистоте). Исходные данные для расчета взять из табл. 37.

Таблица 37

№ вари- анта	Исходные данные						Материал, сорт
	Схема балки по рис.34	Про- лет, м	Нагрузка, кН/м ²		Сечение, мм		
			нормативная	расчетная	h	b	
1	а	9	12,3	15,0	700	142	сосна, 2с
2	б	10	10,0	12,2	770	142	лиственница, 2с
3	в	11	13,2	15,8	910	168	кедр, 2с
4	а	12	12,3	15,0	980	168	ясень, 2с
5	б	11	13,8	14,6	945	144	лиственница, 2с
6	в	10	12,1	13,8	875	142	пихта, 1с
7	а	9	14,0	17,5	805	144	ель, 1с
8	б	9	14,2	16,7	735	168	пихта, 2с
9	в	9	13,5	15,2	840	144	ель, 1с
10	а	10	10,8	13,4	665	142	кедр, 2с

Решение (вариант 2). Опасное сечение в балке находится на расстоянии от опоры, равном (см. формулу (62)):

$$x = \frac{lh_{\text{оп}}}{2h} = \frac{10 \cdot 385}{2 \cdot 770} = 2,5 \text{ м},$$

где $h_{\text{оп}} = 385$ мм – высота балки на опоре (принята конструктивно не менее $h/2$).

Изгибающий момент в сечении x (формула 63)

$$M_x = \frac{qx}{2}(l-x) = \frac{12,2 \cdot 2,5}{2}(10 - 2,5) = 114,375 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Высота балки в сечении x

$$h_x = h_{\text{оп}} + \frac{2(h - h_{\text{оп}})}{l}x = 385 + \frac{2(770 - 385)}{10} \cdot 2,5 = 577,5 \text{ мм}.$$

Момент сопротивления балки в сечении x

$$W_x = \frac{bh^2}{6} = \frac{14,2 + 57,75^2}{10} = 7893 \text{ см}^3.$$

Проверка прочности балки:

$$\sigma = \frac{M_x}{W_x} = \frac{144,375 \cdot 10^3}{7893} = 14,5 \text{ МПа} < m_n m_b m_{cl} R_u = \\ = 1,2 \cdot 0,99 \cdot 1,0 \cdot 13 = 15,44 \text{ МПа}.$$

где коэффициенты m_n, m_b, m_{cl} приняты по табл.7П, 10П, 11П приложения (по данным задачи).

Прочность по нормальным напряжениям обеспечена.

Проверяем прочность балки на действие касательных напряжений. Максимальная поперечная сила

$$Q = \frac{ql}{2} = \frac{12,2 \cdot 10}{2} = 61 \text{ кН}.$$

Для опорного сечения (где действует Q_{\max}) имеем

$$J = \frac{bh_{\text{оп}}^3}{12} = \frac{14,2 \cdot 38,5^3}{12} = 67428 \text{ см}^4;$$

$$S = \frac{bh_{\text{оп}}^2}{8} = \frac{14,2 \cdot 38,5^2}{8} = 2631 \text{ см}^3;$$

Проверка прочности по касательным напряжениям:

$$\tau = \frac{QS}{Jb} = \frac{61 \cdot 2631 \cdot 10}{67528 \cdot 14,2} = 1,6 \text{ МПа} > m_n m_{cl} R_{ск} = 1 \cdot 1 \cdot 1,5 = 1,5 \text{ МПа}.$$

Прочность не обеспечена. Для проверки устойчивости подсчитаем коэффициент φ_x по формуле (11). При отсутствии связей по верхним поясам балок $l_p = 10$ м, тогда

$$\varphi_x = 140 \frac{b^2}{l_p h} k_\Phi = 140 \frac{14,2^2}{1000 \cdot 77} 1,13 = 0,414.$$

Изгибающий момент в середине пролета

$$M = \frac{ql^2}{8} = \frac{12,2 \cdot 10^2}{8} = 152,5 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Момент сопротивления сечения в середине пролета

$$W = \frac{bh^2}{6} = \frac{14,2 \cdot 77^2}{6} = 14032 \text{ см}^3.$$

Проверка устойчивости:

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{152,5 \cdot 10^3}{14032} = 10,868 \text{ МПа} > \varphi_m m_\eta m_\delta m_{\epsilon_{cl}} R_m =$$

$$= 0,414 \cdot 1,2 \cdot 0,91 \cdot 1 \cdot 13 = 5,88 \text{ МПа.}$$

Устойчивость балок при отсутствии связей не обеспечена. Необходимо поставить связи. Ставим их с шагом 5 м, тогда $l_p = 5000$ мм, коэффициент φ_m будет равен 0,828 и условие устойчивости будет выполнено, так как

$$\sigma = 10,868 \text{ МПа} < 0,828 \cdot 1,2 \cdot 0,91 \cdot 1 \cdot 13 = 11,8 \text{ МПа.}$$

Проверку прогиба балки производим по формуле

$$\frac{f}{l} = \frac{f_0}{lk_{\text{ж}}} \left(1 + \alpha \frac{h^2}{l^2} \right) = \frac{0,0024}{0,575} \left(1 + 17,3 \frac{770^2}{10000^2} \right) =$$

$$= 0,0046 = \frac{1}{218} > \left[\frac{1}{300} \right],$$

где $\frac{f_0}{l} = \frac{5}{384} = \frac{q^* l^3}{EJ} = \frac{5 \cdot 10 \cdot 10^3 \cdot 10^6}{384 \cdot 10^4 \cdot \frac{14,2 \cdot 77^3}{12}} = 0,0024;$

$$k_{\text{ж}} = 0,15 + 0,85 (k_{\text{оп}}/h) = 0,15 + 0,85 \cdot 0,5 = 0,575;$$

$$\alpha = 15,4 + 3,8 (k_{\text{оп}}/h) = 15,4 + 3,8 \cdot 0,5 = 17,3.$$

Жесткость балки не обеспечена.

Задача 8.1.2. Запроектировать клеодошатую балку покрытия согласно рис.34 и данным табл.38.

Таблица 38

№ вари- анта	Исходные данные для подвариантов					
	А Схема балки по рис 34	Пролет, м	Б Нагрузка, кН/м		В Материал, сорт Условия эксплу- атации	
			нормативная	расчетная		
1	а	12	12,2	14,6	сосна, 2с	А1
2	б	12	13,1	15,0	ель, 2с	А2
3	в	10	13,4	15,8	кедр, 2с	А3
4	а	9	14,2	15,8	лиственница, 2с	Б1
5	б	9	14,8	15,6	кедр, 2с	Б2
6	в	12	12,8	13,9	сосна, 2с	Б3
7	а	10	13,6	15,5	ель, 1с	В1
8	б	10	14,2	15,2	лиственница, 1с	В2
9	в	9	14,1	16,0	лиственница, 2с	В3
10	а	9	14,4	16,0	кедр, 2с	Б3

Вариант задачи задается трехзначной цифрой аналогично задачам предыдущих тем. В результате выполнения задачи должно быть получено сечение, отвечающее требованиям прочности, устойчивости и жесткости (прогибам).

Практическая работа № 8. Клеефанерные балки

Клеефанерные балки могут быть с плоской и с волнистой фанерной стенкой.

Балки с плоской фанерной стенкой могут быть односкатными и двускатными, с прямолинейным, ломаным или круговым очертанием верхнего пояса (рис.36).

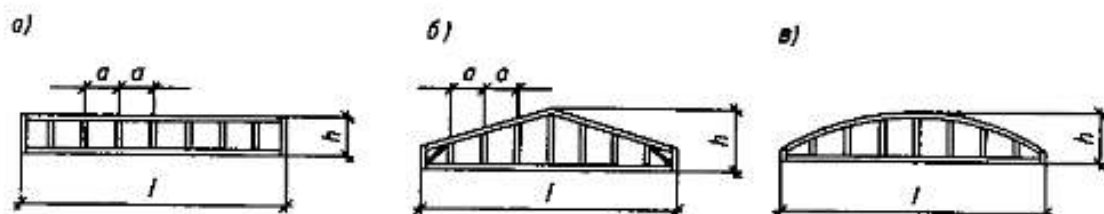


Рис.36. Клеефанерные балки

Поперечное сечение таких балок принимается двутавровым или коробчатым (рис.37).

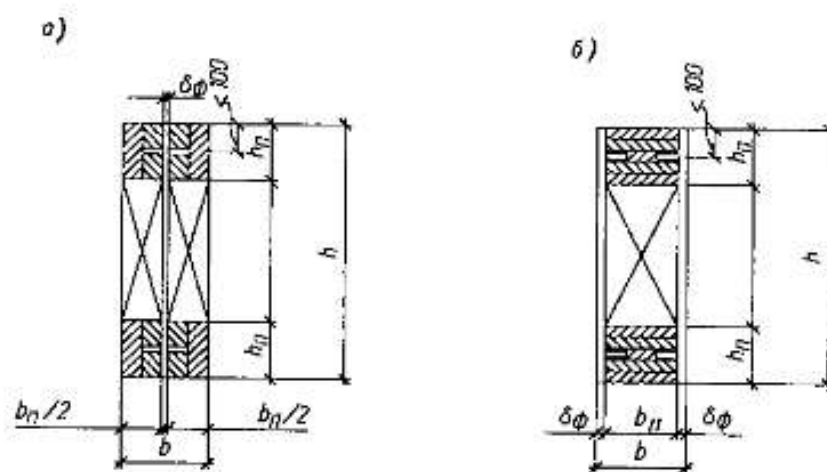


Рис.37. Поперечное сечение балок

Для поясов используются доски такие же, как и для клеенчатых балок. В качестве стенки применяется клееная водостойкая фанера марки ФСФ сорта не ниже В/В и толщиной не менее 8 мм. Направление волокон рубашки фанеры принимается вдоль длины балки. Размеры стандартных листов фанеры и их толщины приведены в табл. 2П приложения.

Для обеспечения устойчивости фанерной стенки по длине балки с шагом $(1/8 - 1/10)l$ ставятся ребра жесткости, которые располагаются, как правило, в местах стыкования листов фанеры.

Балки с волнистой фанерной стенкой (рис.38) выполняются одностенчатыми и двухстенчатыми. Устойчивость фанерной стенки в таких балках обеспечивается путем придания фанере волнистого очертания, ребра жесткости ставятся лишь на опорах, для восприятия опорных реакций.

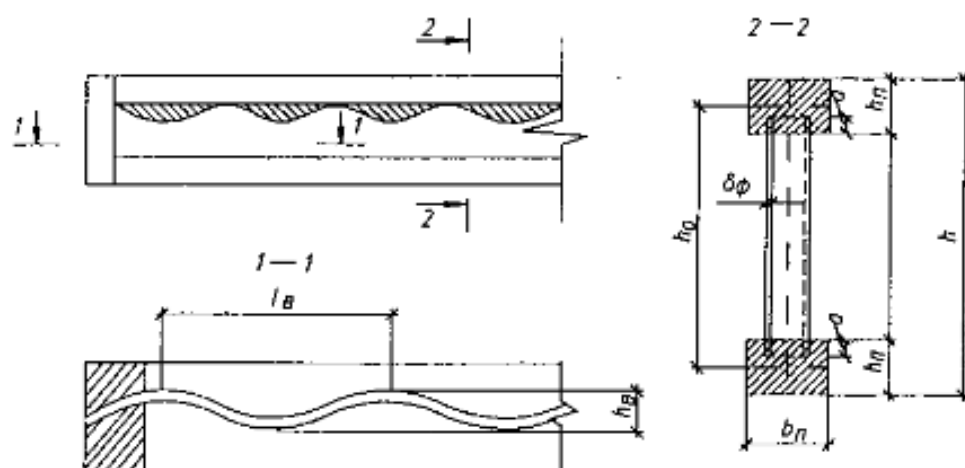


Рис.38. Балка с волнистой стенкой

При назначении размеров балки и ее элементов необходимо руководствоваться следующими рекомендациями:

$$h = \left(\frac{1}{10} - \frac{1}{15} \right) l, \quad h_v \geq \frac{1}{3} b_n, \quad \frac{h_n}{l_v} = \frac{1}{12} - \frac{1}{18}, \quad \delta_\phi \geq 6 \text{ мм.}$$

Пояса балок выполняются из цельных и клееных брусьев, при этом размер h_n составляет примерно $(1/5 - 1/6)h$, а $b_n \approx (2 - 2,85)h_n$.

Расчет балок с плоской фанерной стенкой производится по приведенным геометрическим характеристикам:

$$J_{np} = J_{др} + \frac{E_{\phi}}{E_{др}} J_{\phi};$$

$$S_{np} = S_{др} + \frac{E_{\phi}}{E_{др}} S_{\phi};$$

$$W_{np} = \frac{2J_{np}}{h}.$$

При расчете клефанерных балок с плоской фанерной стеной необходимо:

1. Проверить прочность растянутого нижнего пояса по формуле

$$\sigma_p = \frac{M}{W_{np}} \leq R_p. \quad (66)$$

2. Проверить устойчивость верхнего сжатого пояса по формуле

$$\sigma_c = \frac{M}{W_{np}} \leq R_{\phi_y}, \quad (67)$$

где ϕ_y – коэффициент продольного изгиба пояса балки из плоскости, определяется по расчетной длине, равной расстоянию между точками раскрепления (связями).

Опасное сечение в двухскатной балке (см. рис.36,6) находится на расстоянии x от опоры.

$$x = \gamma \left[\sqrt{1 + \frac{1}{\gamma}} - 1 \right],$$

где $\gamma = h_o / \operatorname{tg} \alpha$;

h_o – расстояние между осями поясов на опоре;

α – угол наклона верхнего пояса балки.

3. Проверить прочность фанерной стенки на срез:

$$\tau = \frac{QS_{np}^{nc}}{J_{np} \sum \delta_{ср \phi}} \leq R_{ср}^{\phi}. \quad (68)$$

4. Проверить прочность фанеры на скалывание между шпонами:

$$\tau = \frac{QS_{np}^n}{J_{np} \sum h_n} \leq R_{сн}^{\phi}. \quad (69)$$

5. Проверить прочность фанеры на действие главных растягивающих напряжений:

$$\sigma_{гз} = \frac{\sigma}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + \tau^2} \leq R_{ра}^{\Phi}. \quad (70)$$

6. Проверить устойчивость фанерной стенки:

$$\frac{\sigma}{\sigma_{кр}} + \frac{\tau}{\tau_{кр}} \leq 1, \quad (71)$$

где $\sigma_{кр} = k_6 \left[\frac{100\delta_{\Phi}}{a} \right]^2$ – критические нормальные напряжения;

$\tau_{кр} = k_7 \left[\frac{100\delta_{\Phi}}{a_{расч}} \right]$ – критические касательные напряжения.

Коэффициенты k_6 и k_7 принимаются по графикам [1, прил.5, рис.18,19].

7. Проверить прогибы:

$$\frac{f}{l} \leq \left[\frac{f}{l} \right], \quad (72)$$

где прогиб f подсчитывается по формуле

$$f = \frac{f_0}{k} \left(1 + c \frac{h^2}{l^2} \right), \quad (73)$$

здесь k – коэффициент, учитывающий переменность высоты сечения балки, принимается по [1, прил.4, табл.3];

c – коэффициент, учитывающий влияние поперечных сил на величину прогиба, принимается по [1, прил.4, табл.3];

f_0 – прогиб, подсчитанный как для балки постоянной высоты сечения, равной h в середине пролета, от действия только изгибающих моментов (для свободно опертой балки, нагруженной равномерно распределенной нагрузкой, $f_0 = (5q^*l^4)/(384EJ)$).

Расчет клефанерных балок с волнистой стенкой производится без учета работы стенки и с учетом ее податливости. Коэффициент податливости подсчитывается по формуле

$$B = \frac{\pi^2 ES^n}{Gl^2 h} = 165 \frac{S^n}{l^2 h}. \quad (74)$$

Расчетные геометрические характеристики определяются по формулам

$$J_{расч} = \frac{J}{1+B}, \quad W_{расч} = \frac{W}{1+B(h_0/h)}, \quad W = \frac{2J}{h_0}, \quad (75)$$

где J – момент инерции, подсчитывается как для цельного сечения, но без учета фанерной стенки, т.е. только для поясов.

Проверка прочности нижнего и устойчивости верхнего поясов производится по формулам (66) и (67).

Фанерная стенка рассчитывается на устойчивость по формуле

$$\tau = \frac{QS^{\pi}}{J \sum \delta_{\phi}} \leq \varphi_{в.ф} R_{ср}, \quad (76)$$

где $\varphi_{в.ф}$ – коэффициент продольного изгиба для волнистой фанеры,

$$\varphi_{в.ф} = \frac{k_1 k_2}{\lambda_{в.ф}^2}. \quad (77)$$

В формуле (77) коэффициенты k_1 и k_2 принимаются по [5], а гибкость $\lambda_{в.ф}$ подсчитывается по формуле

$$\lambda_{в.ф} = \frac{(h - h_n)^2}{h_n \delta_{\phi}}. \quad (78)$$

Проверка прогибов балки производится по формуле (72).

Задача 8.2.1. Выполнить соответствующие проверки для клеефанерных балок, изображенных на рис.37, 38. Пояса балок выполнены из сосновых досок второго сорта. Стенка – из клееной березовой фанеры марки ФСФ. Условия эксплуатации нормальные. Исходные данные принять из табл.39.

Требуемые проверки с 1 по 10 задаются по каждому варианту. Поэтому вариант задачи задается двухзначной цифрой: первая цифра означает номер варианта балки, а вторая – что требуется проверить.

Т а б л и ц а 39

№ ва- ри- ан- та	Исходные данные								Что требуется проверить
	Про- лет, м	Нагрузка, кН/м		Размеры сечений, мм				Тип балок (рис.)	
		нор- матив- ная	рас- чет- ная	h	$\delta_{\text{ф}}$	b_n	h_n		
1	9	8,0	9,1	750	8	140	120	37а	прочность растянутого пояса
2	12	7,4	8,6	1200	12	210	190	37а	устойчивость верхнего пояса
3	8	8,4	9,8	600	9	108	95	37а	прочность стенки
4	15	7,0	8,6	1500	12	276	240	37а	устойчивость стенки
5	10	7,8	8,8	900	10	175	140	37а	прогиб
6	7,5	8,5	9,6	600	6	115	90	38	прочность растянутого пояса
7	9	7,8	9,0	750	7	135	110	38	устойчивость верхнего пояса
8	8	8,2	9,4	650	8	120	95	38	устойчивость стенки
9	10	7,0	8,8	900	10	140	120	38	прочность стенки
10	11	6,9	8,4	1100	10	190	165	38	прогиб

Практическая работа № 9. Усиление деревянных конструкций

Задача 12.1. Нижний, растянутый пояс фермы получил дефект, потерял несущую способность и требует усиления. Усиление выполнено с помощью стального хомута (рис.45). Подобрать диаметр хомута и количество нагелей для крепления накладок при условии полного восстановления несущей способности пояса. Исходные данные взять из табл.51.

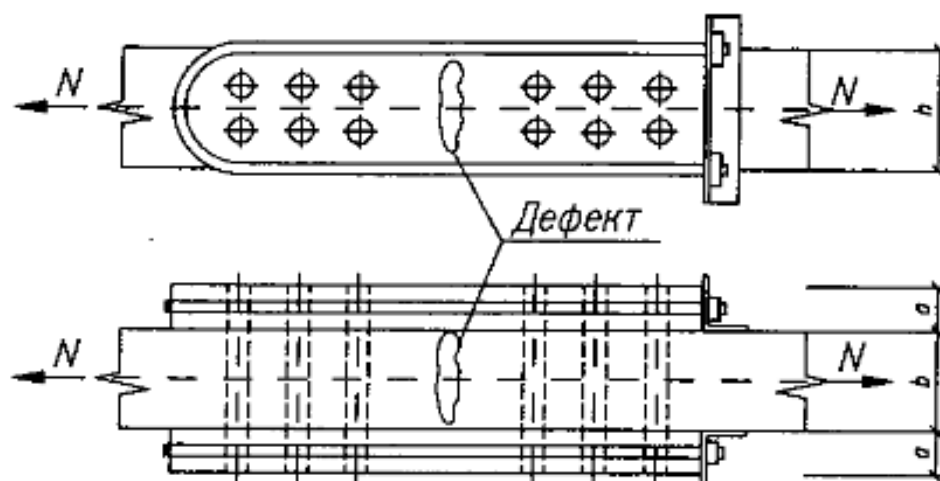


Рис.45. Усиление растянутого нижнего пояса

Таблица 51

№ варианта	Исходные данные				
	h , мм	b , мм	a , мм	Диаметр нагеля	Материал пояса
1	150	150	60	14	сосна, 1с
2	175	150	75	16	лиственница, 1с
3	175	175	75	16	пихта, 1с
4	200	175	75	18	кедр, 1с
5	225	200	60	16	пихта, 2с
6	250	200	60	18	сосна, 2с
7	225	175	60	20	пихта, 1с
8	225	200	75	14	лиственница, 2с
9	250	200	75	20	сосна, 2с
10	250	175	60	18	ель, 1с

Примечание. При решении задач использовать материал разделов 3 и 4

Задача 12.2. Центральнo-сжатая колонна сечением $h \times b$ мм и высотой H была запроектирована под условие эксплуатации группы A_1 . После реконструкции здания условия эксплуатации изменились и стали с режимом по группе, указанной в табл.52. Требуется усилить колонну с восстановлением ее несущей способности до первоначальной величины. Исходные данные взять из табл.52.

Таблица 52

№ варианта	Исходные данные для подвариантов							
	А						Б	В
	h , мм	b , мм	H , мм	Расчетные длины		Материал, сорт	Новая группа эксплуатации	Увеличение нагрузки n , %
				l_{ax}	l_{ay}			
1	200	100	4000	H	$0,5H$	сосна, 2с	В2	-
2	200	150	4500	H	H	лиственница, 2с	-	40
3	175	100	3000	$0,8H$	H	кедр, 2с	В3	-
4	225	100	3500	$0,65H$	$0,8H$	пихта, 2с	-	25
5	225	150	4000	H	$0,65H$	береза, 2с	Г1	-
6	250	150	4500	$0,8H$	H	вяз, 1с	-	45
7	200	175	5000	$0,65H$	$0,8H$	клен, 2с	Г2	-
8	225	175	4000	H	$0,65H$	ель, 1с	-	30
9	200	200	5500	$0,8H$	H	лиственница, 2с	Г3	-
10	250	200	6000	$0,65H$	$0,8H$	сосна, 2с	-	35

Примечание. Вариант задачи можно задавать 2- или 3-значным числом. В первом случае учитывается только один фактор для необходимости усиления колонны, т.е. или изменение условий эксплуатации (по условиям задачи 12.2), или увеличение расчетной нагрузки (по условиям задачи 12.3). Во втором случае учитывается и то, и другое.

Задача 12.3. По данным задачи 12.2 учесть, что нагрузка на колонну после реконструкции здания увеличилась на n (%), а условия эксплуатации остались прежние. Необходимо произвести усиление колонны и выполнить расчеты усиленной колонны.

Решение (вариант 1). Несущая способность колонны определяется как минимальная величина силы из расчета устойчивости колонны в плоскости x и y , т.е.

$$N_x = \varphi_x R_c A, \quad N_y = \varphi_y R_c A.$$

Необходимые величины для их подсчета:

$R_c = 13$ МПа – как для сосны 2-го сорта, табл.6П приложения;

$A = bh = 10,0 \cdot 20,0 = 200$ см²;

$$\lambda_x = \frac{l_{ox}}{0,289h} = \frac{4000}{0,289 \cdot 200} = 69,2 < 70;$$

$$\varphi_x = 1 - 0,8 \left(\frac{\lambda_x}{100} \right)^2 = 1 - 0,8 \left(\frac{69,2}{100} \right)^2 = 0,617;$$

$$\lambda_y = \frac{l_{oy}}{0,289b} = \frac{0,5 \cdot 4000}{0,289 \cdot 100} = 69,2;$$

$$\varphi_y = \varphi_x = 0,617.$$

Несущая способность колонны

$$N = 0,617 \cdot 13 \cdot 200 \cdot 10^3 = 1604 \text{ кН.}$$

При изменении условий эксплуатации с группы А1 на группу В2 необходимо расчетное сопротивление умножить на коэффициент $m_b = 0,85$. Тогда несущая способность колонны будет равна:

$$N = \varphi_x m_b R_c A = 0,617 \cdot 0,85 \cdot 13 \cdot 200 \cdot 10^3 = 1364 \text{ кН.}$$

Колонну нужно усилить на дополнительную нагрузку $\Delta N = 1604 - 1364 = 240 \text{ кН}$, причем это сделать нужно в двух плоскостях, так как $N_x = N_y$.

Усиливаем колонну путем прикрепления к ней дополнительного элемента сечением $60 \times 200 \text{ мм}$. Крепление осуществляем болтами диаметром 16 мм с шагом расстановки по длине колонны, равным 500 мм (рис.46).

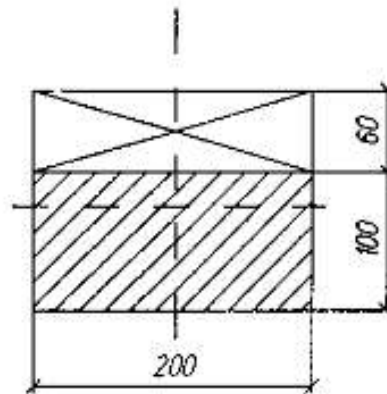


Рис.46. Поперечное сечение усиленной колонны

Усиленную колонну рассчитываем как составной стержень на податливых связях (см. разд.5). Для него имеем:

$$\mu = \sqrt{1 + k_c \frac{b h n_c}{l_c^2 n_c}} = \sqrt{1 + 0,078 \frac{16 \cdot 20 \cdot 1}{2^2 \cdot 4}} = 1,6,$$

где $k_c = \frac{1}{5d^2} = \frac{1}{5 \cdot 1,6^2} = 0,078$ (см. табл. 22II приложения);

$n_c = 4$ — количество срезов болтов на 1 пог. м.

Приведенная гибкость стержня (при $l_1 = 500 \text{ мм} > 78 \cdot 7,60 = 420$)

$$\lambda_{пр} = \sqrt{(\mu\lambda)^2 + \lambda_1^2} = \sqrt{(1,6 \cdot 43,2)^2 + 28,8^2} = 74,9,$$

где $\lambda = \frac{l_{vy}}{0,289b_1} = \frac{200}{0,289 \cdot 16} = 43,2$;

$$\lambda_1 = \frac{l_1}{0,289\delta} = \frac{50}{0,289 \cdot 6} = 28,8.$$

Коэффициент φ при $\lambda_{пр} > 70$

$$\varphi = \frac{3000}{\lambda^2} = \frac{3000}{74,9^2} = 0,535.$$

Проверка несущей способности:

$$\frac{N}{A_1} = \frac{1604}{20 \cdot 16} = 5,01 \text{ МПа} < \varphi_y R_c m_b = 0,535 \cdot 13 \cdot 0,85 = 5,9 \text{ МПа}.$$

Устойчивость в плоскости оси y обеспечена.

Проверка устойчивости усиленной колонны в плоскости оси x :

$$\frac{N}{A_1} = \frac{1604}{20 \cdot 16} = 5,01 \text{ МПа} < \varphi_x R_c m_b = 0,617 \cdot 13 \cdot 0,85 = 6,81 \text{ МПа},$$

где $\varphi_x = 1 - 0,8(69,2/100)^2 = 0,617$, определен по гибкости

$$\lambda_x = \frac{l_{ox}}{0,289h} = \frac{4000}{0,289 \cdot 200} = 69,2.$$

Устойчивость колонны обеспечена.

Задача 12.4. Шарнирно опертая клеодощатая балка постоянного по длине поперечного сечения $b \times h$, пролетом L изгибается под действием равномерно-распределенной нагрузки. С целью повышения несущей способности балка усиливается шпренгелем. Эксцентриситет продольного усилия $e = 0$ (рис.47а). Рассчитать элементы усиления, если предельную нагрузку на балку нужно

увеличить в n раз. Балка склеена из досок толщиной 35 мм. Исходные данные принять из табл.53.

При решении задач необходимо воспользоваться формулами, приведенными на рис.47.

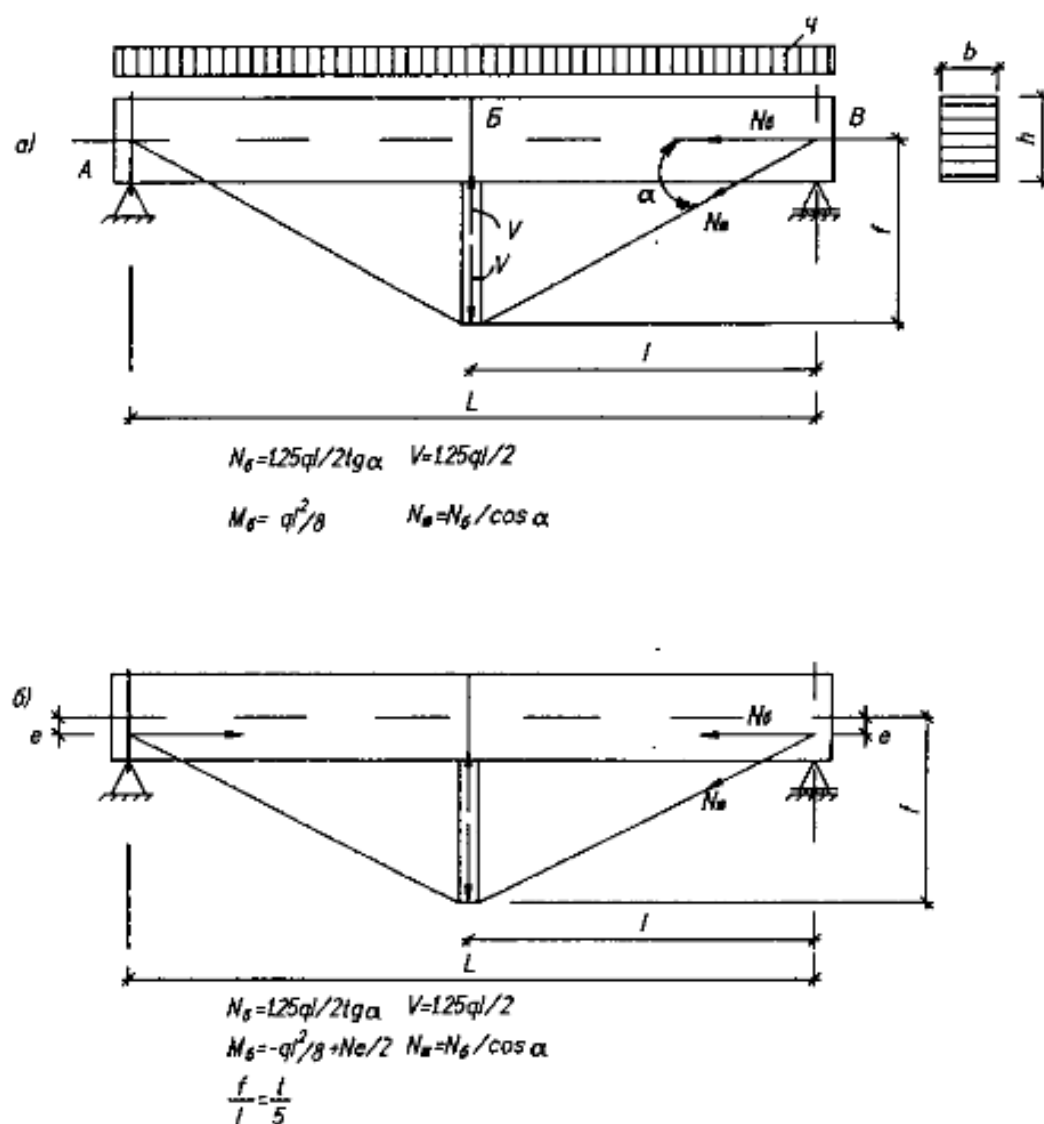


Рис. 47. Усиление балки шпренгелем

Таблица 53

№ варианта	Исходные данные					n	Схема балки по рис. 47
	L, мм	h, мм	b, мм	Материал	e, мм		
1	9000	595	142	сосна, 2с	-	2,0	а
2	11000	875	238	лиственница, 2с	300	2,5	б
3	9500	650	168	пихта, 1с	-	3,0	а
4	10500	805	192	сосна, 2с	250	3,0	б
5	10000	700	192	ель, 1с	-	1,5	а
6	10000	735	168	лиственница, 2с	200	1,5	б
7	10500	770	168	кедр, 1с	-	2,5	а
8	9500	630	142	кедр, 2с	150	2,0	б
9	11000	840	238	лиственница, 1с	-	3,5	а
10	9000	560	142	сосна, 1с	100	3,5	б

Задача 12.5. По данным условий задачи 12.4 усиление сделать шпренгелем, в котором предусматривается наличие эксцентриситета e (см. табл.53). Выполнить расчет элементов усиления.

Решение (вариант 1). До усиления несущая способность балки составляет:

$$[M] = R_n m_\delta m_{cl} W = R'_n W = 12,09 \cdot 8373 \cdot 10^{-6} = \\ = 0,10129 \text{ МН} \cdot \text{м} = 101,29 \text{ кН} \cdot \text{м},$$

где $R_n = 13 \text{ МПа}$ – принято по табл.6П приложения для сосны 2-го сорта;

$m_\delta = 0,93$ – принято по табл.10П приложения для $h = 595 \text{ мм}$;

$m_{cl} = 1,0$ – принято по табл.11П приложения для $m_{cl} = 35 \text{ мм}$;

$$R'_n = 13 \cdot 0,93 \cdot 1,0 = 12,09 \text{ МПа};$$

$$W = \frac{bh^2}{6} = \frac{14,2 \cdot 59,5^2}{6} = 8373 \text{ см}^3.$$

Из условия, что $M = (qL^2)/8$, находим предельную нагрузку, которую может выдержать балка:

$$[q] = \frac{8[M]}{L^2} = \frac{8 \cdot 101,29}{9^2} = 10,004 \text{ кН/м}.$$

После установки шпренгеля изменится схема балки. Она будет работать как двухпролетная балка с пролетом, равным $l = L/2 = 9/2 = 4,5 \text{ м}$. По условиям задачи нагрузка увеличивается вдвое:

$$q = 2[q] = 2 \cdot 10,004 = 20,008 \text{ кН/м}.$$

Геометрические параметры шпренгельной системы:

$$\frac{f}{l} = \frac{1}{5}; f = \frac{L}{5} = \frac{9000}{5} = 1800 \text{ мм};$$

$$\alpha = \arctg \frac{f}{l} = \frac{1800}{4500} = 21,8^\circ; \sin \alpha = 0,371;$$

$$\cos \alpha = 0,928; \operatorname{tg} \alpha = 0,4.$$

Усилия в элементах шпренгеля равны:

$$V = \frac{1,25ql}{2} = \frac{1,25 \cdot 20,008 \cdot 4,5}{2} = 56,27 \text{ кН};$$

$$N_6 = \frac{1,25ql}{2 \operatorname{tg} \alpha} = \frac{1,25 \cdot 20,008 \cdot 4,5}{2 \cdot 0,4} = 140,68 \text{ кН};$$

$$N_{ш} = \frac{1,25ql}{2 \sin \alpha} = \frac{1,25 \cdot 20,008 \cdot 4,5}{2 \cdot 0,371} = 151,68 \text{ кН}.$$

Максимальный изгибающий момент при условии работы балки по двухпролетной схеме будет над средней опорой (стойкой):

$$M = \frac{ql^2}{8} = \frac{20,008 \cdot 4,5^2}{8} = 50,645 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Подсчитаем коэффициент ζ :

$$\zeta = 1 - \frac{\lambda^2}{3000} \frac{N_6}{AR'_c} = 1 - \frac{26,17^2}{3000} \cdot \frac{140,68 \cdot 10}{844,9 \cdot 12,09} = 0,968,$$

где

$$\lambda = \frac{l}{0,289h} = \frac{4500}{0,289 \cdot 59,5} = 26,17;$$

$$A = bh = 14,2 \cdot 59,5 = 844,9 \text{ см}^2.$$

Проверку прочности сечения балки проводим по формуле для сжато-изогнутых стержней:

$$\begin{aligned} \frac{N_6}{A} + \frac{M}{\zeta W} &= \frac{140,68 \cdot 10}{844,9} + \frac{50,645 \cdot 10^3}{0,968 \cdot 8373} = 1,66 + 6,25 = \\ &= 7,91 \text{ МПа} < R'_c = 12,09 \text{ МПа}. \end{aligned}$$

Прочность обеспечена.

Растягивающее усилие в нижнем поясе (шпренгеле) равно $N_{ш} = 151,68$ кН. По нему найдем требуемую площадь сечения стержня (сталь класса АII):

$$A_{тр} = \frac{N_{ш}}{\gamma R m_0} = \frac{151,68 \cdot 10}{280 \cdot 0,8} = 6,77 \text{ см}^2,$$

где $m_0 = 0,8$ – коэффициент ослабления стержня нарезкой.

Принимаем стержень (см. табл. 5П приложения) диаметром 30 мм ($A_{ср} = 7,06 \text{ см}^2$; $A_{нт} = 5,06 \text{ см}^2$).

Стойку шпренгеля проверяем на сжатие с учетом устойчивости. Предварительно, из конструктивных соображений, принимаем сечение стойки 150×150 мм (по сортаменту).

Для этой стойки найдем величины

$$\lambda = \frac{1800}{0,289 \cdot 150} = 41,5 < 70;$$

$$\varphi = 1 - 0,8(41,5/100)^2 = 0,86.$$

Проверка устойчивости:

$$\frac{V}{A} = \frac{56,27 \cdot 10}{15 \cdot 15} = 2,5 \text{ МПа} < \varphi R_r = 0,86 \cdot 13 = 11,1 \text{ МПа}.$$

Устойчивость обеспечена.

Проверяем напряжения смятия под стойкой:

$$\sigma_{см} = \frac{V}{A_{см}} = \frac{56,27 \cdot 10}{14,2 \cdot 15} = 2,6 \text{ МПа} < R_{см90} = 3 \text{ МПа}.$$

Прочность обеспечена.

Список использованных источников

1. Конструкции из дерева и пластмасс : практикум / Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Северо-Кавказский федеральный университет» ; авт.-сост. С.В. Скориков, А.И. Гаврилова и др. - Ставрополь : СКФУ, 2015. - 238 с. : ил. - Библиогр.: с. 193-194. ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=458030>
2. Конструкции из дерева и пластмасс : практикум / Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Северо-Кавказский федеральный университет» ; авт.-сост. С.В. Скориков, А.И. Гаврилова и др. - Ставрополь : СКФУ, 2015. - 238 с. : ил. - Библиогр.: с. 193-194. ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=458030>
3. Семенов, К.В. Конструкции из дерева и пластмасс: Деревянные конструкции : учебное пособие / К.В. Семенов, М.Ю. Кононова ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный политехнический университет. - СПб. : Издательство Политехнического университета, 2013. - 133 с. : схем., ил., табл. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-7422-4182-9; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=362994>
4. Дмитриев, П. Арочные и рамные конструкции из цельной и клееной древесины : учебное пособие / П. Дмитриев, В. Жаданов ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет». - Оренбург : ОГУ, 2014. - 170 с. - ISBN 978-5-7410-0714-3 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=259165>
5. Покрытие по треугольным металлодеревянными фермам с клеёным верхним поясом и построечными конструкциями ограждения: Расчёт и конструирование : методические указания / Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» (ННГАСУ), Инженерно-строительный факультет, Кафедра конструкций из дерева и др. - Н. Новгород : ННГАСУ, 2011. - 54 с. : схем., табл. - Библиогр.: с. 46. ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=427473>
6. Справочник современного проектировщика / Г.Б. Вержбовский, Ю.А. Веселев, В.В. Лагутин, Э.Б. Лукашевич ; под общ. ред. Л.Р. Маиляна. - 7-е изд. - Ростов-н/Д : Феникс, 2011. - 544 с. : ил., схем., табл. - (Строительство и дизайн). - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-222-17699-3 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=271604>
7. Калугин, А.В. Деревянные конструкции: учеб. пособие для вузов — Изд. 2-е, испр. и доп. — М.: Изд-во Ассоц. строит. вузов, 2008. — 288с. — 3 экз.

Нормативные документы:

Градостроительный кодекс Российской Федерации.

Федеральный закон от 27.12.2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании».

СНиП 3.03.01-87. «Несущие и ограждающие конструкции»

Программное обеспечение и интернет ресурсы:

1. www.stroyinform.ru
2. window.edu.ru

Приложения.

Таблица 1П
Сортамент пиломатериалов (ГОСТ 8486 - 86*Е)

Толщина, мм	Ширина, мм								
	75	100	125	150	175	200	225	250	275
16	75	100	125	150	-	-	-	-	-
19	75	100	125	150	175	-	-	-	-
22	75	100	125	150	175	200	225	-	-
25	75	100	125	150	175	200	225	250	275
32	75	100	125	150	175	200	225	250	275
40	75	100	125	150	175	200	225	250	275
44	75	100	125	150	175	200	225	250	275
50	75	100	125	150	175	200	225	250	275
60	75	100	125	150	175	200	225	250	275
75	75	100	125	150	175	200	225	250	275
100	-	100	125	150	175	200	225	250	275
125	-	-	125	150	175	200	225	250	-
150	-	-	-	150	175	200	225	250	-
175	-	-	-	-	175	200	225	250	-
200	-	-	-	-	-	200	225	250	-
250	-	-	-	-	-	-	-	250	-

Примечание. При необходимости могут быть изготовлены брусковые заготовки с размерами, получаемыми путем распиловки досок на несколько равных частей, согласно ГОСТ 9685-61*.

Таблица 2П
Сортамент и плотность фанеры

Наименование материала	Размеры, мм			Плотность, кгс/м ³	ГОСТ
	длина	ширина	толщина		
Строительная фанера марок ФСФ и ФК	2440	1525	1,5; 2; 2,5	700	3916-69
	2440	1220	3		
	2135	1525	4		
	1830	1220	5		
	1525	1525	6,7,8,9,10		
		1220	12		
		725			
	1220	1220	15,18,19		
		725			
	1500	1200	5		
		1500	7		
Бакелитированная фанера марки ФСБ	4400	1500	10	1010	11539-65
	4900	1250	12		
	5000	1200	14		
	5600	1500	16		
		1200			

Примечание. Подчеркнутые размеры листов рекомендуются к широкому применению.

Продолжение приложения

Таблица 3П

Сортамент фанерных труб

Наименование изделия	Внутренний диаметр, мм	Толщина стенки, мм
Фанерные трубы в звеньях длинной 1,4 - 1,5 м и с укрупнением до 3 - 7 м	50	6,5
	100	8,0
	50	11,0
	200	11,0
	250	13,0
	300	13,0

Таблица 4П

Сортамент фанерных швеллеров

Поперечное сечение профиля	Геометрические характеристики							
	№ профиля	h, мм	b, мм	δ , мм	A, см ²	z_0 , см	J_{x_0} , см ⁴	J_{y_0} , см ⁴
	10	100	60	10	20	2,0	253	62
	12	120	60	10	22	1,86	398	67
	12a	120	80	10	26	2,65	519	152
	14	140	80	10	24	1,65	584	71
	14a	140	80	10	28	2,5	753	169
	16	160	80	10	30	2,37	1040	171
	19	190	80	10	33	2,21	1579	182
	22	220	80	10	36	2,06	2259	191
	25	250	80	10	39	1,94	3096	199
	30	300	80	12	53	1,77	5863	252

Продолжение приложения

Таблица 3П

Рекомендуемый сортмент болтов

Диаметр, мм		Площадь сечения, см ²		Размеры квадратных шайб стяжных болтов, мм	
по стержню	по нарезке	по стержню	по нарезке	ширина	толщина
12	9,7	1,13	0,74	45	4
16	13,4	2,01	1,41	55	4
20	16,7	3,14	2,18	70	5
24	20,1	4,52	3,16	90	7
27	23,1	5,72	4,18	100	8
30	25,4	7,06	5,06	-	-
36	30,8	10,17	7,44	-	-

Рекомендуемый сортмент гвоздей

Диаметр, мм	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6
Длина, мм	70; 80	80; 90	100; 110	125	150	175	200

Рекомендуемый сортмент шурупов с потайной и полукруглой головкой

Диаметр, мм	Длина, мм
2	7, 10, 13
3	10, 13, 16, 20, 25, 30
4	13, 16, 20, ..., 60 с градацией через 5 мм
5	13, 16, 20, ..., 70 с градацией через 5 мм
6	20, ..., 100 с градацией через 5 мм
8	50, ..., 100 с градацией через 5 мм
10	80, 90, 100 с градацией через 5 мм

Сортмент глухарей (винты для дерева)

Диаметр, мм	6	8	10	12	16	20
Длина, мм	35	-	-	-	-	-
	40	40	40	-	-	-
	50	50	50	-	-	-
	65	65	65	65	-	-
	-	80	80	80	80	-
	-	-	100	100	100	-
	-	-	120	120	120	120
	-	-	-	140	140	140
	-	-	-	-	160	160
	-	-	-	-	180	180
	-	-	-	-	-	200
	-	-	-	-	-	225
	-	-	-	-	-	250

Продолжение приложения

Таблица 6П
Расчетные сопротивления сосны и ели

Напряженное состояние и характеристика элементов	Обозначение	Расчетные сопротивления, МПа (кгс/см ²) для сортов древесины		
		1	2	3
1	2	3	4	5
1. Изгиб, сжатие и смятие вдоль волокон:				
а) элементы прямоугольного сечения (за исключением указанных в подпунктах "б", "в") высотой до 50 см	$R_{из}, R_c, R_{см}$	$\frac{14}{140}$	$\frac{13}{130}$	$\frac{8,5}{85}$
б) элементы прямоугольного сечения шириной свыше 11 до 13 см при высоте сечения свыше 11 до 50 см	$R_{из}, R_c, R_{см}$	$\frac{15}{150}$	$\frac{14}{140}$	$\frac{10}{100}$
в) элементы прямоугольного сечения шириной свыше 13 см при высоте сечения свыше 13 до 50 см	$R_{из}, R_c, R_{см}$	$\frac{16}{160}$	$\frac{15}{150}$	$\frac{11}{110}$
г) элементы из круглых лесоматериалов без врезок в расчетном сечении	$R_{из}, R_c, R_{см}$	-	$\frac{16}{160}$	$\frac{10}{100}$
2. Растяжение вдоль волокон:				
а) неклееные элементы	R_d	$\frac{10}{100}$	$\frac{7}{70}$	-
б) клееные элементы	R_d	$\frac{12}{120}$	$\frac{9}{90}$	-
3. Сжатие и смятие по всей площади поперек волокон	$R_{с90}, R_{см90}$	$\frac{1,8}{18}$	$\frac{1,8}{18}$	$\frac{1,8}{18}$
4. Смятие поперек волокон местное:				
а) в опорных частях конструкций, лобовых врубках и узловых примыканиях элементов	$R_{см90}$	$\frac{3}{30}$	$\frac{3}{30}$	$\frac{3}{30}$
б) под шайбами при углах смятия от 90 до 60	$R_{см90}$	$\frac{4}{40}$	$\frac{4}{40}$	$\frac{4}{40}$
5. Скалывание вдоль волокон:				
а) при изгибе неклееных элементов	$R_{ск}$	$\frac{1,8}{18}$	$\frac{1,6}{16}$	$\frac{1,6}{16}$
б) при изгибе клееных элементов	$R_{ск}$	$\frac{1,6}{16}$	$\frac{1,5}{15}$	$\frac{1,5}{15}$
в) в лобовых врубках для максимального напряжения	$R_{ск}$	$\frac{2,4}{24}$	$\frac{2,1}{21}$	$\frac{2,1}{21}$
г) местное в клеевых соединениях для максимального напряжения	$R_{ск}$	$\frac{2,1}{21}$	$\frac{2,1}{21}$	$\frac{2,1}{21}$

Продолжение приложения

Окончание табл. 6П

1	2	3	4	5
6. Скалывание поперек волокон:				
а) в соединениях наклеенных элементов	$R_{ск90}$	$\frac{1}{10}$	$\frac{0,8}{8}$	$\frac{0,6}{6}$
б) в соединениях клееных элементов	$R_{ск90}$	$\frac{0,7}{7}$	$\frac{0,7}{7}$	$\frac{0,6}{6}$
7. Растяжение поперек волокон элементов из клееной древесины	R_{p90}	$\frac{0,35}{3,5}$	$\frac{0,3}{3}$	$\frac{0,25}{2,5}$

Таблица 7П

Переходные коэффициенты m_n

Древесные породы	Коэффициент m_n для расчетных сопротивлений		
	растяжению, изгибу, сжатию и смятию вдоль волокон R_p, R_b, R_c, R_{cm}	сжатию и смятию поперек волокон R_{c90}, R_{cm90}	скалыванию $R_{ск}$
Хвойные			
1. Лиственница, кроме европейской и японской	1,2	1,2	1
2. Кедр сибирский, кроме кедрa Красноярского края	0,9	0,9	0,9
3. Кедр Красноярского края, сосна вејмута	0,65	0,65	0,65
4. Пихта	0,8	0,8	0,8
Твердые лиственные			
5. Дуб	1,3	2	1,3
6. Ясень, клен, граб	1,3	2	1,6
7. Акация	1,5	2,2	1,8
8. Береза, бук	1,1	1,6	1,3
9. Вяз, ильм	1	1,6	1
Мягкие лиственные			
10. Ольха, липа, осина, тополь	0,8	1	0,8

Примечание. Коэффициенты m_n , указанные в таблице для конструкций опор воздушных линий электропередач, изготавливаемых из не пропитанной антисептиками лиственницы (при влажности $\leq 25\%$), умножаются на коэффициент 0,85.

Продолжение приложения
Таблица 8П

Значение коэффициентов m_b

Условия эксплуатации (по [1, табл.1])	Коэффициент m_b	Условия эксплуатации (по [1, табл.1])	Коэффициент m_b
A1, A2, B1, B2	1	B2, B3, Г1	0,85
A3, B3, B1	0,9	Г2, Г3	0,75

Таблица 9П

Значение коэффициентов m_n

Нагрузка	Коэффициент m_n	
	для всех видов сопротивлений, кроме смятия поперек волокон	для смятия поперек волокон
1. Ветровая, монтажная, кроме указанной в разд. 3	1,2	1,4
2. Сейсмическая Для опор воздушных линий электропередачи	1,4	1,6
3. Гололедная, монтажная, ветровая при гололеде, от тяжения проводов при температуре ниже среднегодовой При обрыве проводов и тросов	1,45	1,6
	1,9	2,2

Таблица 10П

Значение коэффициентов m_6

Высота сечения, см	30 и менее	60	70	80	100	120 и более
Коэффициент m_6	1	0,96	0,93	0,90	0,85	0,8

Таблица 11П

Значение коэффициентов m_{cl}

Толщина слоя, мм	19 и менее	26	33	42
Коэффициент m_{cl}	1,1	1,05	1	0,95

Таблица 12П

Значение коэффициентов $m_{гн}$

Напряженное состояние	Обозначение расчетных сопротивлений	Коэффициент $m_{гн}$ при отношении r_k/a			
		150	200	250	300 и более
Сжатие и изгиб	R_c, R_n	0,8	0,9	1	1
Растяжение	R_p	0,6	0,7	0,8	1

Примечание: r_k – радиус кривизны гнутой доски или бруска;
 a – толщина гнутой доски или бруска в радиальном направлении.

Продолжение приложения

Таблица 13П

Расчетные сопротивления строительной фанеры

Вид фанеры	Расчетные сопротивления, МПа (кгс/см ²)				
	растяже- нию в плоскости листа $R_{фр}$	сжатию в плос- кости листа $R_{фс}$	изгибу из плос- кости листа $R_{фн}$	скальва- нию в плоскос- ти листа $R_{фск}$	срезу пер- пендикуля- рно плос- кости листа $R_{фср}$
1	2	3	4	5	6
1. Фанера клееная березовая марки ФСФ, сортов В ВВ, В/С, ВВ/С:					
а) семислойная толщиной 8 мм и более:					
вдоль волокон наружных слоев	$\frac{14}{140}$	$\frac{12}{120}$	$\frac{16}{160}$	$\frac{0,8}{8}$	$\frac{6}{60}$
поперек волокон наружных слоев	$\frac{9}{90}$	$\frac{8,5}{85}$	$\frac{6,5}{65}$	$\frac{0,8}{8}$	$\frac{6}{60}$
под углом 45° к волокнам	$\frac{4,5}{45}$	$\frac{7}{70}$		$\frac{0,8}{8}$	$\frac{9}{90}$
б) пятислойная толщиной 5-7 мм:					
вдоль волокон наружных слоев	$\frac{14}{140}$	$\frac{13}{130}$	$\frac{18}{180}$	$\frac{0,8}{8}$	$\frac{5}{50}$
поперек волокон наружных слоев	$\frac{6}{60}$	$\frac{7}{70}$	$\frac{3}{30}$	$\frac{0,8}{8}$	$\frac{6}{60}$
под углом 45° к волокнам	$\frac{4}{40}$	$\frac{6}{60}$	-	$\frac{0,8}{8}$	$\frac{9}{90}$
2. Фанера клееная из древесины лиственницы марки ФСФ, сортов В/ВВ и ВВ/С, семислойная, толщиной 8 мм и более:					
вдоль волокон наружных слоев	$\frac{9}{90}$	$\frac{17}{170}$	$\frac{18}{180}$	$\frac{0,6}{6}$	$\frac{5}{50}$
поперек волокон наружных слоев	$\frac{7,5}{75}$	$\frac{13}{130}$	$\frac{11}{110}$	$\frac{0,5}{5}$	$\frac{5}{50}$
под углом 45° к волокнам	$\frac{3}{30}$	$\frac{5}{50}$		$\frac{0,7}{7}$	$\frac{7,5}{75}$

Продолжение приложения

Окончание табл. 13П

1	2	3	4	5	6
3. Фанера бакелизированная марки ФБС, толщиной 7 мм и более:					
вдоль волокон наружных слоев	$\frac{32}{320}$	$\frac{28}{280}$	$\frac{33}{330}$	$\frac{1,8}{18}$	$\frac{11}{110}$
поперек волокон наружных слоев	$\frac{24}{240}$	$\frac{23}{230}$	$\frac{25}{250}$	$\frac{1,8}{18}$	$\frac{12}{120}$
под углом 45° к волокнам	$\frac{16,5}{165}$	$\frac{21}{210}$	-	$\frac{1,8}{18}$	$\frac{16}{160}$

Примечание. Расчетное сопротивление смятию и сжатию перпендикулярно плоскости листа для березовой фанеры марки ФСФ $R_{ф с 90} = R_{ф см 90} = 4$ МПа (40 кгс/см²) и марки ФБС $R_{ф с 90} = R_{ф см 90} = 8$ МПа (80 кгс/см²).

Таблица 14П

Модули упругости $E_{ф}$, модули сдвига $G_{ф}$ и коэффициенты Пуассона $\nu_{ф}$ для строительной фанеры

Вид фанеры	Модуль упругости $E_{ф}$, МПа кгс/см ²	Модуль сдвига $G_{ф}$, МПа кгс/см ²	Коэффициент Пуассона $\nu_{ф}$
1	2	3	4
1. Фанера клееная березовая марки ФСФ, сортов В/ВВ, В/С, ВВ/С, семислойная и пятислойная:			
вдоль волокон наружных слоев	$\frac{9000}{90000}$	$\frac{750}{7500}$	0,085
поперек волокон наружных слоев	$\frac{6000}{60000}$	$\frac{750}{7500}$	0,065
под углом 45° к волокнам	$\frac{2500}{25000}$	$\frac{3000}{30000}$	0,6
2. Фанера клееная из древесины лиственницы марки ФСФ, сортов В, ВВ и ВВ/С, семислойная, толщиной 8 мм и более:			
вдоль волокон наружных слоев	$\frac{7000}{70000}$	$\frac{800}{8000}$	0,07
поперек волокон наружных слоев	$\frac{5500}{55000}$	$\frac{800}{8000}$	0,06
под углом 45° к волокнам	$\frac{2000}{20000}$	$\frac{2200}{22000}$	0,6

Продолжение приложения

Окончание табл. 14П

1	2	3	4
3. Фанера бакелизированная марки ФБС, толщиной 7 мм и более:			
вдоль волокон наружных слоев	$\frac{12000}{120000}$	$\frac{1000}{10000}$	0,085
поперек волокон наружных слоев	$\frac{8500}{85000}$	$\frac{1000}{10000}$	0,065
под углом 45° к волокнам	$\frac{3500}{35000}$	$\frac{4000}{40000}$	0,7

Примечание. Коэффициент Пуассона ν_{ϕ} указан для направления, перпендикулярного оси, вдоль которой определен модуль упругости E_{ϕ} .

Таблица 15П

Расчетные характеристики фанерных профилей
и некоторых конструкционных пластмасс

Наименование и марка материала	Расчетные сопротивления, МПа				Модули, МПа	
	растя- жению R_p	сжатию R_c	изгибу R_x	скаль- ванию $R_{ск}/R_{ср}$	упру- гости E	сдвига G
1. Фанерные трубы мар- ки Ф-1:						
Ø 50-150	25	25	20	-	8100	-
Ø 200-300	25	25	15	-	7300	-
2. Фанерные профили:						
вдоль волокон наружных слоев	14	11,5	16	0,6/3,5	11000	750
поперек волокон наружных слоев	5	5	-	0,8/5	500	750
3. Стеклопластики:						
КАСТ - В	110	45	55	30	19000	-
СВАМ (1:1)	160	140	250	50	24000	-
АГ - 4С (1:1)	220	90	110	-	15000	5,70
полиэфирный	15	15	15	9	3000	-
4. Древесно-слоистый пластик марки ДСП-Б, толщиной 15-60 мм	109	80	130	7	15000	
5. Винипласт	14	14	20	8,5	1600	

Продолжение приложения

Таблица 16П
Геометрические характеристики поперечных сечений

Сечение	Площадь инерции $A, \text{см}^2$	Радиус инерции $r_x, \text{см}$	Момент инерции $J, \text{см}^4$	Момент сопротив- ления $W,$ см^3	Статический момент полусечения $S, \text{см}^3$
	bh	$0,289h$	$\frac{bh^3}{12}$	$\frac{bh^2}{6}$	$\frac{bh^2}{8}$
	$\frac{\pi d^2}{4}$	$\frac{d}{4}$	$\frac{\pi d^4}{64}$	$\frac{\pi d^3}{32}$	$\frac{d^3}{12,5}$
	$0,695d^2$	$0,236d$	$0,039d^4$	$0,09d^3$	$0,07d^3$
	$0,76d^2$	$0,246d$	$0,046d^4$	$0,098d^3$	$0,08d^3$
	$0,74d^2$	$0,231d$	$0,039d^4$	$0,09d^3$	$0,07d^3$
	$0,77d^2$	$0,244d$	$0,046d^4$	$0,098d^3$	$0,08d^3$
	$\pi d\delta$	$0,353d$	$\frac{\pi d^3\delta}{64}$	$\frac{\pi d^2\delta}{32}$	

Продолжение приложения

Таблица 17П

Коэффициенты продольного изгиба для некоторых материалов

Материал	λ_1	ϕ при $\lambda > \lambda_1$	ϕ при $\lambda < \lambda_1$
Фанера строительная	70	$\frac{2500}{\lambda^2}$	$1 - \left(\frac{\lambda}{100}\right)^2$
Фанерные профили	60	$\frac{2150}{\lambda^2}$	$1 - 1,12 \left(\frac{\lambda}{100}\right)^2$
Фанерные трубы	70	$\frac{2390}{\lambda^2}$	$1 - 1,046 \left(\frac{\lambda}{100}\right)^2$
Стеклопластики:			
СВАМ (1:1)	40	$\frac{1260}{\lambda^2}$	$1 - \left(\frac{\lambda}{100}\right)^2 \left(1 - \frac{R_y}{R_t}\right)$
АГ - 4С (1:1)	40	$\frac{1230}{\lambda^2}$	R_y - условный предел пропорциональности
КАСТ - В	62	$\frac{3120}{\lambda^2}$	R_y - условный предел текучести
Винипласт	38	$\frac{790}{\lambda^2}$	-

Таблица 18П

Предельные деформации (прогибы) элементов
зданий и сооружений

Элементы конструкций	Предельные прогибы в долях пролета, не более
1. Балки междуэтажных перекрытий	1 / 250
2. Балки чердачных перекрытий	1 / 200
3. Покрытия (кроме ендов):	
а) прогоны, стропильные ноги	1 / 200
б) балки консольные	1 / 150
в) фермы, клееные балки (кроме консольных)	1 / 300
г) плиты	1 / 250
д) обрешетки, настилы	1 / 150
4. Несущие элементы ендов	1 / 400
5. Пясли и элементы фахверка	1 / 250

Примечания: 1. При наличии штукатурки прогиб элементов перекрытий только от длительной временной нагрузки не должен превышать 1 / 350 пролета. 2. При наличии строительного подъема предельный прогиб клееных балок допускается увеличивать до 1 / 200 пролета.

Продолжение приложения

Таблица 19П

Расчетная несущая способность для цилиндрических нагелей

Схемы соединений	Напряженное состояние соединений	Расчетная несущая способность T на один шов сплачивания (условный срез), кН (кгс)	
		гвоздя, стального, алюминиевого, стеклопластикового нагеля	дубового нагеля
1. Симметричные соединения	а) Смятие в средних элементах б) Смятие в крайних элементах	$0,5cd$ ($50cd$) $0,8ad$ ($80ad$)	$0,3cd$ ($30cd$) $0,5ad$ ($50ad$)
2. Несимметричные соединения	а) Смятие во всех элементах равной толщины, а также в более толстых элементах односрезных соединений б) Смятие в более толстых средних элементах двухсрезных соединений при $a \leq 0,5c$ в) Смятие в более тонких крайних элементах при $a \leq 0,25c$ г) Смятие в более тонких элементах односрезных соединений и в крайних элементах при $c > a > 0,35c$	$0,35cd$ ($35cd$) $0,24cd$ ($25cd$) $0,8ad$ ($80ad$) $k_{\text{н}}ad$	$0,2cd$ ($20cd$) $0,14cd$ ($14cd$) $0,5ad$ ($50ad$) $k_{\text{н}}ad$
3. Симметричные и несимметричные соединения	а) Изгиб гвоздя б) Изгиб нагеля из стали С 38/23 в) Изгиб нагеля из алюминиевого сплава Д16 - Т г) Изгиб нагеля из стеклопластика АГ - 4С д) Изгиб нагеля из древесно-слоистого пластика ДСНБ е) Изгиб дубового нагеля	$2,5d^2 + 0,01a^2$ ($250d^2 + a^2$), но не более $4d^2$ ($400d^2$) $1,8d^2 + 0,02a^2$ ($180d^2 + 2a^2$), но не более $2,5d^2$ ($250d^2$) $1,6d^2 + 0,02a^2$ ($160d^2 + 2a^2$), но не более $2,2d^2$ ($220d^2$) $1,45d^2 + 0,02a^2$ ($145d^2 + 2a^2$), но не более $1,8d^2$ ($180d^2$) $0,8d^2 + 0,02a^2$ ($80d^2 + 2a^2$), но не более d^2 ($100d^2$)	- $0,45d^2 + 0,02a^2$ ($45d^2 + 2a^2$), но не более d^2 ($100d^2$)

Продолжение приложения
Таблица 20П

Значения коэффициентов k_n для односрезных соединений

Вид нагеля	Значение коэффициента k_n соединений при a/c						
	0,35	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Гвоздь, стальной, алюминиевый и стеклопластиковый нагель	$\frac{0,8}{80}$	$\frac{0,58}{58}$	$\frac{0,48}{48}$	$\frac{0,43}{43}$	$\frac{0,39}{39}$	$\frac{0,37}{37}$	$\frac{0,35}{35}$
Дубовый нагель	$\frac{0,5}{50}$	$\frac{0,5}{50}$	$\frac{0,44}{44}$	$\frac{0,38}{38}$	$\frac{0,32}{32}$	$\frac{0,26}{26}$	$\frac{0,2}{20}$

Примечание В знаменателе указаны значения k_n для T в кгс.

Таблица 21П

Значения коэффициентов k_a для нагельных соединений

Угол, град	Коэффициент k_{α}				для дубовых нагелей
	для стальных, алюминиевых и стеклопластиковых нагелей диаметром, мм				
	12	16	20	24	
30	0,95	0,9	0,9	0,9	1
60	0,75	0,7	0,65	0,6	0,8
90	0,7	0,6	0,55	0,5	0,7

Примечания: 1. Значение k_a для промежуточных углов определяется интерполяцией. 2. При расчете односрезных соединений для более толстых элементов, работающих на смятие под углом, значения k_a следует умножать на дополнительный коэффициент 0,9 при $c/a < 1,5$ и на 0,75 при $c/a \geq 1,5$.

Таблица 22П

Значения коэффициентов k_c

Вид связей	Коэффициент k_c при	
	центральной сжатии	сжатии с изгибом
1. Гвозди	$\frac{1}{10d^2}$	$\frac{1}{5d^2}$
2. Стальные цилиндрические нагели:		
а) диаметром $\leq 1/7$ толщины соединяемых элементов	$\frac{1}{5d^2}$	$\frac{1}{2,5d^2}$
б) диаметром $> 1/7$ толщины соединяемых элементов	$\frac{1,5}{ad}$	$\frac{3}{ad}$
3. Дубовые цилиндрические нагели	$\frac{1}{d^2}$	$\frac{1,5}{d^2}$
4. Дубовые пластинчатые нагели	-	$\frac{1,4}{\delta b_n}$
5. Клеи	0	0

Примечание Диаметры d гвоздей и нагелей, толщину a элементов, ширину b_n , и толщину δ пластинчатых нагелей следует принимать в см

Окончание приложения

Таблица 23П

Значения коэффициентов k_w и $k_{ж}$

Обозначение коэффициентов	Число слоев в элементе	Значение коэффициентов для расчета изгибаемых элементов при пролетах, м,			
		2	4	6	9 и более
k_w	2	0,7	0,85	0,9	0,9
	3	0,6	0,8	0,85	0,9
	10	0,4	0,7	0,8	0,85
$k_{ж}$	2	0,45	0,65	0,75	0,8
	3	0,25	0,5	0,6	0,7
	10	0,07	0,2	0,3	0,4

Примечание. Для промежуточных значений величины пролета и числа слоев коэффициенты определяются интерполяцией.