

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

И. В. ХОМЯКОВА

КОНСТРУКЦИИ ИЗ ДЕРЕВА И ПЛАСТМАСС

Учебно-методическое пособие – локальный электронный методический материал по практическим занятиям для студентов, обучающихся в бакалавриате по направлению подготовки 08.03.01 Строительство

Калининград
2022

УДК 72 (076)

Рецензент

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры строительства
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»
Л. В. Узунова

Хомякова, И. В.

Конструкции из дерева и пластмасс: учеб.- метод. пособие – локальный электронный методический материал по практическим занятиям для студентов бакалавриата по направлению подготовки 08.03.01 Строительство / **И. В. Хомякова.** – Калининград: ФГБОУ ВО «КГТУ», 2022. – 104 с.

Учебно-методическое пособие по практическим занятиям – локальный электронный методический материал для проведения практических занятий по дисциплине «Конструкции из дерева и пластмасс» для студентов, обучающихся по направлению подготовки 08.03.01 Строительство. Содержит задания и рекомендации по изучению теоретического материала, а также примеры расчета конструкций на различные напряженно – деформированные состояния.

Табл. 31, рис. 42, список лит. – 5 наименований

Учебно-методическое пособие по практическим занятиям рекомендовано к использованию в учебном процессе методической комиссией института морских технологий, энергетики и строительства ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» 25.11.2022 г., протокол № 03

УДК 72 (076)

© Федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Калининградский государственный
технический университет», 2022 г.
© Хомякова И. В., 2022 г.

Оглавление

Введение	4
1 Практическое занятие № 1	5
1.1. Задания для практического занятия №1	5
1.2. Примеры выполнения практического занятия №1	10
1.3. Справочный материал для выполнения практического занятия №1	21
2 Практическое занятие № 2	26
2.1. Задания для практического занятия №2	26
2.2. Примеры выполнения практического занятия №2	30
2.3. Справочный материал для выполнения практического занятия №2	43
2.4. Методические рекомендации к практическим занятиям №1, №2	44
3. Практическое занятие № 3	46
3.1. Задания для практического занятия №3	46
3.2. Примеры выполнения практического занятия №2	50
3.3. Справочный материал для выполнения практического занятия №3	61
3.4. Методические рекомендации к практическому занятию №3	63
4. Практическое занятие № 4	65
4.1. Задания для практического занятия №4	66
4.2. Примеры выполнения практического занятия №4	67
4.3. Справочный материал для выполнения практического занятия №4	76
4.4. Методические рекомендации к практическому занятию №4	77
5. Практическое занятие №5	78
5.1. Задания для практического занятия №5	79
5.2. Примеры выполнения практического занятия №5	79
5.3. Методические рекомендации к практическому занятию №5	83
6. Практическое занятие №6	84
6.1. Задания для практического занятия №6	85
6.2. Пример расчета клеодошатай фермы	85
6.3. Методические рекомендации к практическому занятию №6	97
7. Самостоятельная работа студента	98
8. Текущий контроль	100
Список рекомендуемых источников	103

Введение

Цель дисциплины «Конструкции из дерева и пластмасс»: формирование у обучающихся начальных знаний о зданиях, сооружениях и их конструкциях; умений выбрать требуемый материал для конструкции зданий и сооружений.

Задачи изучения дисциплины «Конструкции из дерева и пластмасс» сформировать у студентов теоретические знания, навыки и компетенции при решении современных проблем при проектировании конструкций из дерева и пластмасс, в частности:

- путем применения основных понятий, методов и способов расчета современных конструкций из дерева и пластмасс;
- за счет использования в теории и на практике современных подходов и тенденций к расчету и проектированию конструкций из дерева и пластмасс.

Цель практических занятий: приобретение студентом практических навыков расчета и конструирования деревянных конструкций, а также умение работать с нормативной литературой.

В результате выполнения практических заданий студент должен:

- Знать: методы расчета деревянных и пластмассовых конструкций на все виды напряженно-деформированного состояния
- Уметь: запроектировать элементы из дерева и пластмасс минимальной расчетной стоимости, конструировать инженерные здания и сооружения из конструкций из дерева и пластмасс, эксплуатируемые и возводимые в особых условиях.
- Владеть: современными методами и способами расчета и конструирования конструкций из дерева и пластмасс.

Содержание практикума

Практическое занятие №1 Расчет элементов цельного сечения на центральное растяжение, центральное сжатие, поперечный и косой изгиб;

Практическое занятие №2 Расчет элементов цельного сечения на внецентренное сжатие и внецентренное растяжение. Расчет элементов составного сечения на продольный и поперечный изгиб.

Практическое занятие №3 Соединения деревянных элементов;

Практическое занятие №4 Расчет клеодощатых, клефанерных балок;

Практическое занятие №5 Расчет ограждающих конструкций;

Практическое занятие №6 Расчет треугольной металлодеревянной фермы.

1. Практическое занятие № 1

Тема: Расчет элементов цельного сечения на центральное растяжение, центральное сжатие, поперечный и косой изгиб

Цель практического занятия: приобретение студентом практических навыков расчета и конструирования центрально-растянутых, центрально-сжатых, изгибаемых элементов цельного и составного сечений.

В результате данного практического занятия студент должен:

- **знать** методы расчета деревянных конструкций на простейшие напряженно-деформированные состояния;
- **уметь** пользоваться нормативной и технической литературой при расчете деревянных конструкций цельного и составного сечений.

1.1. Задания для практического занятия №1

Задания для расчета центрально растянутых элементов цельного сечения

Исходные данные для расчета элементов цельного сечения на центральное растяжение

Таблица 1.1

№ варианта	Исходные данные для конструкции											
	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>h₁</i>	<i>N</i> , кН	№ рис.	Порода древесины	<i>t-w</i>	Сорт	Опред-ть
	мм											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	200	150	120	300	15	12	-	а	тополь	1	1	N
2	-	-	-	25	-		56	б	сосна	2	2	F _{расч.}
3	250	150	225	150	10	15	85	а	ель	3	1	σ
4	275	100	-	15	15	15	-	а	береза	3	1	N
5	-	-	300	100	-	-	46	а	пихта	2	1	F _{расч.}
6	175	150	-	30	-	-	68	б	дуб	2	2	σ
7	200	125	300	250	14	15	-	а	ясень	1	2	N

8	-	-	30	15	15	18	55	а	кедр	1	1	$F_{расч.}$
9	250	10	-	25	-	-	76	б	вяз	1	1	σ
10	250	12	12	25	12	15	-	а	клен	2	2	N
11	-	-	-	25	-	-	60	б	пихта	3	1	$F_{расч.}$
12	125	10	-	19	-	-	70	б	сосна	2	1	σ
13	150	10	18	15	18	15	80	а	ель	1	1	N
14	-	-	17	-	-	-	90	а	береза	2	1	$F_{расч.}$
15	200	15		14	-	-	100	а	пихта	1	1	Σ
16	100	10	-	30			-	б	кедр	1	2	N
17	125	10		50			-	б	пихта	2	3	N
18	175	15	-	55	-		80	б	кедр	1	2	σ
19	175	15	15	15	10	18	90	а	листвен	2	1	σ
20	250	15		90	-	-	-	а	береза	3	2	σ

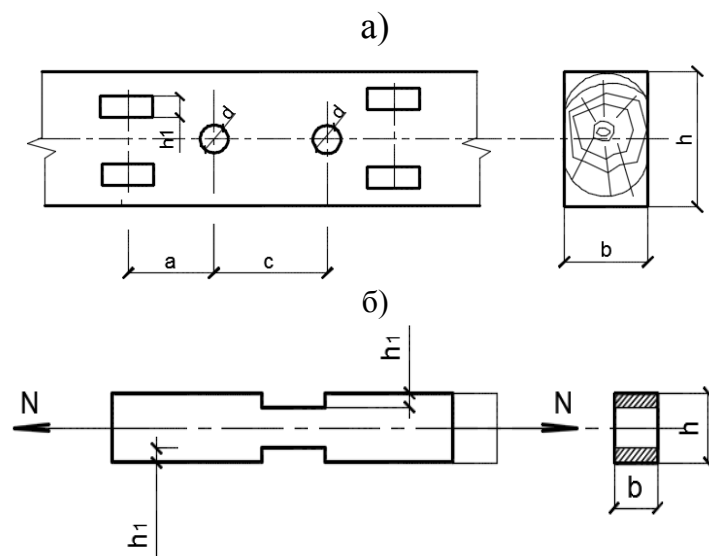


Рис. 1.1. К расчету центрально-растянутого элемента.

Задания для расчета центрально сжатых элементов цельного сечения

Таблица 1.2 – Исходные данные для расчетов элементов цельного сечения на центральное сжатие

№ варианта	Исходные данные											
	l, м	h, мм	b, мм	d, мм	h ₁ , мм	t-w*/ сорт	Порода древесины	Условия закрепления		№ рис.	N, кН	Вычислить
								х-х	у-у			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	3,0	200	150		40	3/3	пихта	3-Ш	3-Ш	а	-	N
2	4,0	225	150		24	2/2	сосна	3-О	3-О	а	-	N
3	5,0	-	-	180	18	1/2	ель	Ш-Ш	Ш-Ш	в	-	N
4	6,0	250	150		28	3/3	кедр	Ш-3	Ш-3	б	-	N
5	6,0	-	-	200	20	2/2	пихта	3-О	3-О	в	-	N
6	3,0	200	175		24	1/3	дуб	Ш-Ш	Ш-Ш	а	-	N
7	4,0	225	175		20	3/2	граб	Ш-Ш	Ш-Ш	б	-	N
8	5,0	-	-	250	24	3/3	береза	Ш-3	Ш-3	в	-	N
9	6,0	250	175		22	1/3	вяз	3-3	3-О	а	-	N
10	3,0	-	-	150	20	2/2	ясень	Ш-Ш	Ш-Ш	в	-	N
11	5,0	225	150		20	2/1	сосна	3-Ш	3-Ш	а	120	Уст-ть
12	4,0	-	-	185	20	1/1	пихта	Ш-Ш	Ш-Ш	в	150	Уст-ть
13	3,5	185	125	-	15	2/3	береза	3-3	3-О	б	130	Уст-ть
14	4,5	185	185		25	2/2	сосна	3-Ш	3-Ш	б	140	Уст-ть
15	5,0	-	-	200	30	1/2	дуб	Ш-Ш	Ш-Ш	в	125	Уст-ть
16	6,0	250	180		28	2/2	ель	3-Ш	3-Ш	а	133	Уст-ть
17	5,0	-	-	185	28	1/1	дуб	Ш-Ш	Ш-Ш	в	154	Уст-ть
18	5,0	220	200	-	30	1/2	кедр	3-3	3-3	а	125	Уст-ть
19	4,5	250	200	-	22	1/3	ольха	3-Ш	Ш-Ш	а	134	Уст-ть
20	6,5	225	150	-	28	2/3	пихта	3-3	3-О	в	89	Уст-ть

t-w* - температурно-влажностные условия. В графе «Схема закрепления» буквы означают закрепление: Ш - шарнирное; 3 – жесткая заделка; О – свободное, в графе «Вычислить» - уст-ть означает устойчивость.

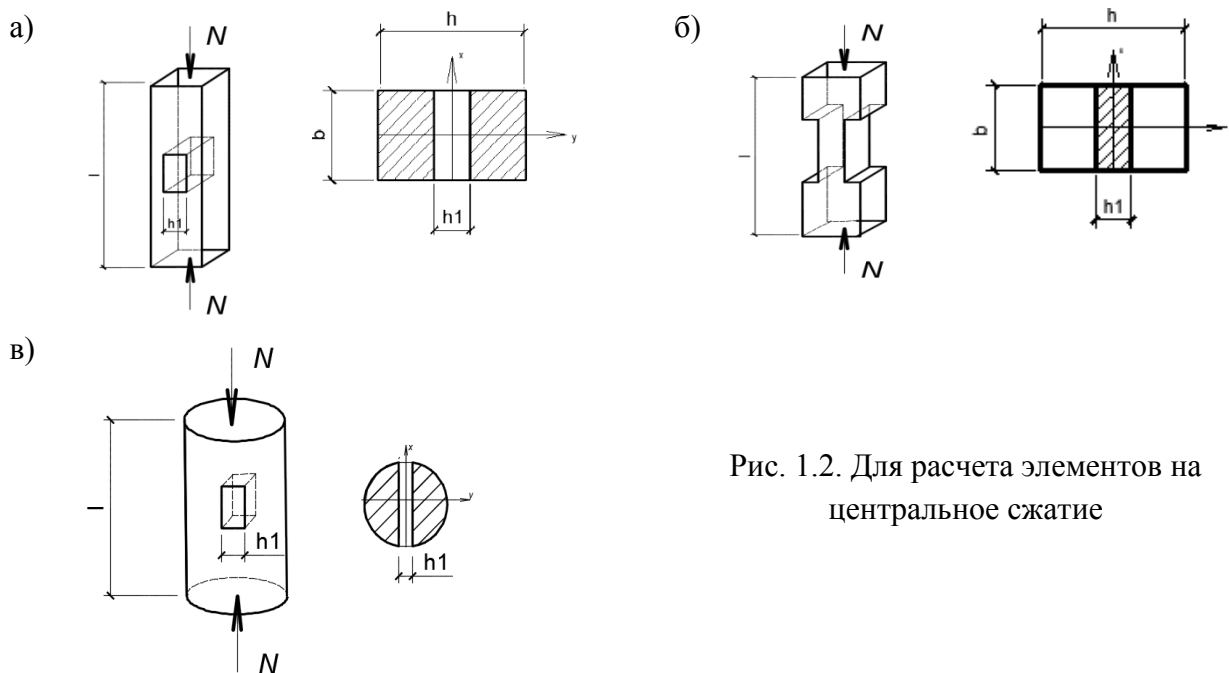


Рис. 1.2. Для расчета элементов на центральное сжатие

Задания для расчета изгибаемых элементов

Задание: произвести расчет изгибаемого элемента по 2-м группам предельных состояний

Таблица 1.3 – Исходные данные для расчетов элементов цельного сечения на изгиб

№ вар-та	Исходные данные								
	Схема балки	Нагрузка		l, м	a, м	b, м	Порода	Сорт	t-w условия
		N, кН	q, кН/м						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	а	15	-	5,0	-	-	пихта	1	2
2	б	18	-	5,5	2,5	3	сосна	2	2
3	в	-	10	4,5	-	-	ясень	2	2
4	г	-	10	5,0	-	-	береза	1	2
5	д	3,5	-	3,0	-	-	ель	2	3
6	е	-	2,0	2,5	-	-	сосна	1	1
7	б	25	-	4,5	2,5	2	тополь	1	2
8	д	5,0	-	2,0	-	-	вяз	1	3
9	а	11	-	4,5	-	-	бук	2	2
10	в	-	10	4,5	-	-	ясень	2	2
11	г	-	25	4,5	-	-	береза	2	2
12	а	9	-	5,5	-	-	акация	2	2
13	б	15	-	6	3,5	2,5	сосна	3	1
14	д	4,0	-	2,5	-	-	сосна	3	1
15	е	-	1,5	1,85	-	-	пихта	2	3
16	б	16	-	3,8	1,5	2,3	пихта	3	2

17	1.4Д	4,8	-	6,0	-	-	ель	3	1
18	1.4а	13	-	6,0	-	-	бук	1	1
19	1.4В	-	10	5,0	-	-	сосна	3	2
20	1.4В	-	12	4,3	-	-	пихта	1	2

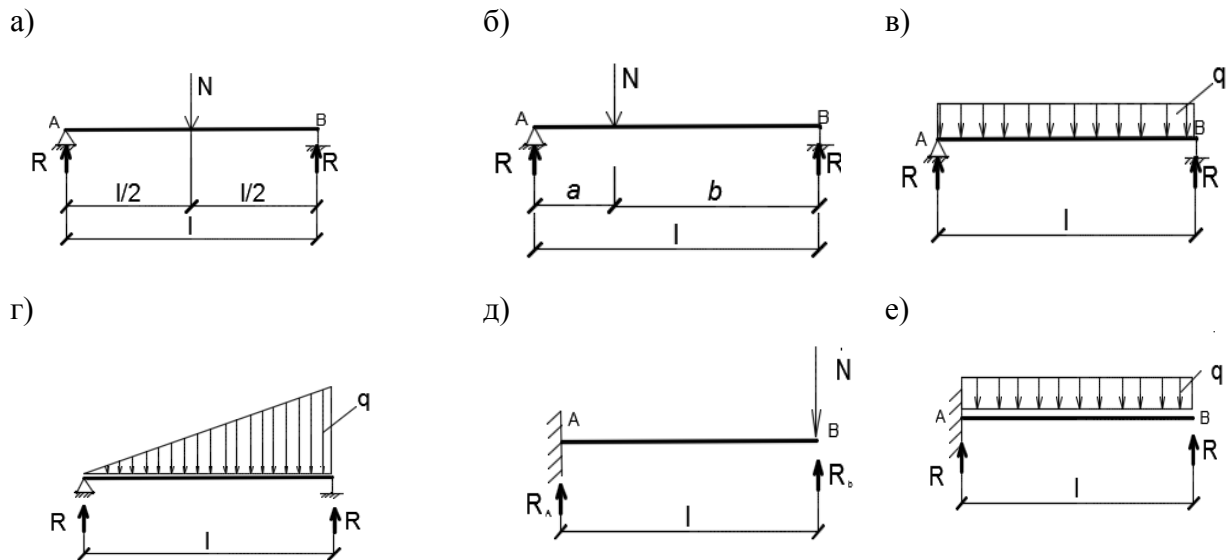


Рис. 1.3. Для расчетов элементов на изгиб

Задания для расчета косоизгибаемых элементов

Задание: произвести расчет изгибаемого элемента по 2-м группам предельных состояний

Таблица 1.4 – Исходные данные для расчетов элементов цельного сечения на косо изгиб

№ вар.	Исходные данные								
	Схема	L, м	α^0	h, мм	b, мм	Порода	Сорт/t-w	q, кН/м	N, кН
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1.5б	4,0	30	200	125	сосна	2/1	-	6,0
2	1.5а	3,0	30	200	175	береза	1/2	3,0	-
3	1.5б	3,0	35	200	150	ясень	2/2	-	8,0
4	1.5а	4,0	35	225	125	ель	1/3	4,0	-
5	1.5б	3,0	25	225	150	ель	3/1	-	10,0
6	1.5а	4,0	25	225	150	дуб	2/2	5,0	-

7	1.5б	4,0	20	250	125	вяз	1/1	-	12,0
8	1.5а	5,0	20	250	150	клен	1/2	6,0	-
9	1.5б	5,0	15	250	175	пихта	1/3	-	14,0
10	1.5б	5,0	15	250	200	граб	2/2	7,0	-

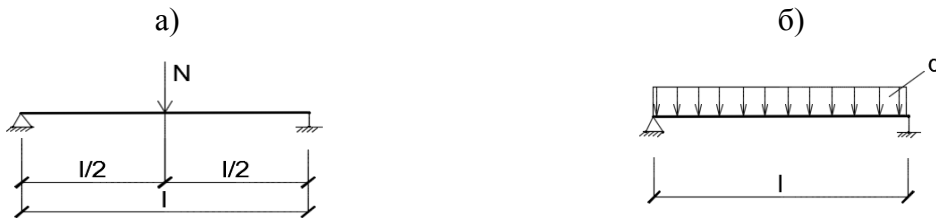


Рис. 1.4. К расчету элементов на кривой изгиб

Практическое занятие выполняется в следующем порядке:

1. Сначала необходимо схематично нарисовать расчетное сечение элемента, затем определить коэффициенты, учитывающие породу древесины, температурно-влажностные условия; вычислить расчетное сопротивление по таблицам Приложения.
2. Затем, в зависимости от того, что надо определить (см. таблицу заданий), определить площадь поперечного сечения с учетом и без учета ослаблений; прочность элемента, несущую способность.
3. В изгибаемых элементах все расчеты производить по двум группам предельных состояний.

1.2. Примеры выполнения практического занятия №1

Расчёт деревянных элементов цельного сечения на центральное растяжение

Прочность центрально-растянутых элементов определяется:

$$\frac{N}{F_{расч}} \leq R_p \cdot m_{дл} \cdot \Pi m_i, \quad (1.1)$$

где N - расчетная продольная сила;

R_p – расчетное сопротивление древесины растяжению (табл.1.5);

$F_{расч}$ – площадь расчетного поперечного сечения.

$m_{дл}$ – коэффициент длительной прочности, соответствующий режиму длительной прочности загрузки (табл. 1.6).

Πm_i – произведение коэффициентов условий работы.

Ослабления в расчетном сечении растянутого элемента учитываются коэффициентом $m_0=0,8$.

$F_{расч}=F_{бр} - F_{нт}$ - площадь поперечного сечения нетто.

Ослабления в растянутом элементе считаются совмещенными в одном расчетном сечении, если расстояние между ними меньше 200 мм.

Ослабление может быть в теле растянутого элемента или ослабления, выходящие на кромку растянутого элемента.

Задача 1.1.

Дано: Сечение элемента $b \times h = 100 \times 150$ мм; $t-w$ условия – 1; порода древесины - пихта; $c = 250$ мм; $a = 180$ мм; $d = 15$ мм; $h_1 = 7,5$ мм; сорт 1. Определить несущую способность растянутого элемента (рис.1.5).

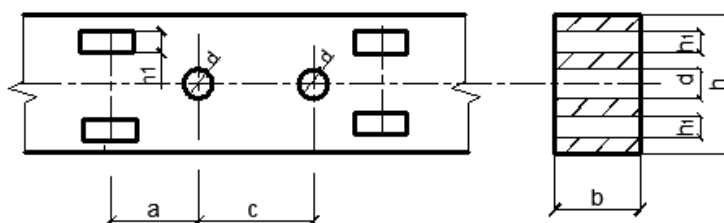


Рис. 1.5. Центально растянутый элемент с ослаблениями в его теле (к задаче 1.1)

Решение

Так как элемент имеет ослабления (т.е. расстояние $a < 200$ мм), то элемент имеет три ослабления в расчетном сечении.

Несущая способность элемента, исходя из формулы (1.1), определяется:

$$N = R_p F_{нт} m_{дл} m_0 m_n m_e$$

где, $m_{дл}$ – коэффициент длительности нагружения. равный 0,66 (табл. 1.6);

m_0 – коэффициент, учитывающий наличие ослаблений, равен 0,8;

m_n – переходный коэффициент, для пихты – 0,8 (табл. 1.7);

m_e – коэффициент, учитывающий условия эксплуатации равен 1 (табл. 1.8)

$R_p = 15 \text{ МПа} = 150 \text{ кг/см}^2$ - расчетное сопротивление древесины (сосны, ели) (табл. 1.5).

Для вычисления $F_{нт}$ выбираем самый неблагоприятный участок, где на расстоянии до 200 мм друг от друга имеются ослабления .

$$F_{нт} = F_{бр} - F_{осл};$$

$$F_{нт} = b \times h - (2 \times (h_1 \times b) + d \times b) = 15,0 \times 10,0 - (2 \times (0,75 \times 10,0) + 1,5 \times 10,0) = 120 \text{ см}^2.$$

Тогда несущая способность растянутого элемента будет равна:

$$N = 150 \times 0,66 \times 120 \times 0,8 \times 0,8 \times 1 = 7603 \text{ кг} = 76,03 \text{ кН}.$$

Задача 1.2

Дано: Сечение элемента $b \times h = 150 \times 200$ мм; $N = 159$ кН; $c = 60$ мм;

$R_p = 15 \text{ МПа}$; $t-w$ условия – 1; порода древесины – вяз; сорт 1. Определить прочность растянутого элемента (рис.1.6).

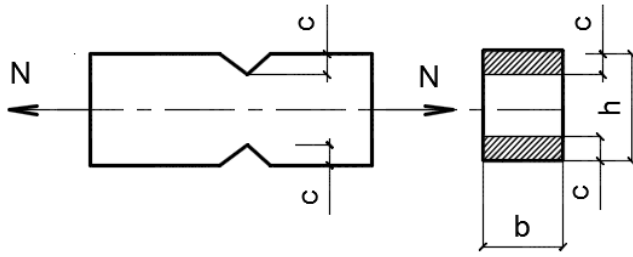


Рис. 1.6. Центральнo растянутый элемент с ослаблениями, выходящими на кромку (к задаче 1.2)

Решение

Площадь ослабления равна:

$$F_{нт} = F_{бр} - F_{осл} = 150 \times 200 - 2 \times (30 \times 150) = 21000 \text{ мм}^2.$$

по формуле (1.2) с учетом ослаблений и дополнительных коэффициентов:

$$\frac{N}{F_{расч}} \leq R_p \cdot m_{дл} \cdot m_0 \cdot m_n \cdot m_ε = \frac{159000}{21000} \leq 15 \cdot 0,8 \cdot 0,66 \cdot 1 \cdot 1;$$

$$7,57 \text{ МПа} \leq 7,92 \text{ МПа}$$

Условие прочности выполняется.

Расчёт деревянных элементов цельного сечения на центральное сжатие

Деревянные элементы цельного сечения, работающие на центральное сжатие, рассчитываются:

1. по прочности

$$\frac{N}{F_{нт}} \leq R_c \cdot m_{дл} \cdot \Pi m_i. \quad (1.2)$$

2. на устойчивость

$$\frac{N}{F_{расч} \cdot \varphi} \leq R_c \cdot m_{дл} \cdot \Pi m_i. \quad (1.3)$$

где $F_{нт}$ – площадь нетто поперечного сечения элемента;

$F_{расч}$ - расчетная площадь сечения;

N - расчетная продольная сила;

φ – коэффициент продольного изгиба, определяемый в зависимости от гибкости элемента.

R_c – расчетное сопротивление древесины сжатию.

Расчетная площадь сечения определяется:

$F_{расч} = F_{бр}$, если $F_{осл} \leq 25\% F_{бр}$ (для случая по рис.1.2а);

$F_{расч} = 4/3 F_{нт}$, если $F_{осл} > 25\% F_{бр}$ (для случая по рис.1.2а);

$F_{расч} = F_{нт}$, когда ослабления выходят на кромку сжатого элемента (рис.1.2б).

Коэффициент φ определяется по формулам:

$$\varphi = 1 - 0,8(\lambda/100)^2; \quad (1.4)$$

при гибкости $\lambda \leq 70$

$$\varphi = 3000/\lambda^2 \quad (1.5)$$

при $\lambda > 70$

Гибкость элемента рассчитывается по формулам:

$$\lambda_x = l_0/r_x; \quad (1.6)$$

$$\lambda_y = l_0/r_y. \quad (1.7)$$

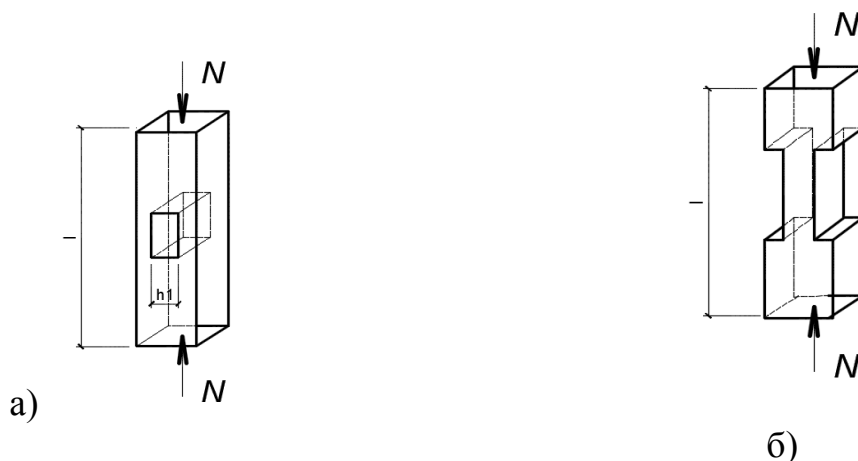


Рис. 1.7. Централно – сжатый стержень: а) с ослаблением в теле элемента; б) с ослаблениями, выходящими на кромку.

где l_0 – расчетная длина элемента, определяемая как

$$l_0 = l \mu_0; \quad (1.8)$$

r – радиус инерции сечения равный:

$$r = \sqrt{\frac{I}{F}}; \quad (1.9)$$

μ_0 – коэффициент приведенной длины (для деревянных конструкций), принимаемый 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 подсчитать по формулам: $r_x = 0,29h$; $r_y = 0,29b$.

При значениях $l > 7b$, центрально-сжатые элементы на прочность не рассчитываются, рассчитываются только на устойчивость.

При $l \leq 7b$ сжатые элементы рассчитываются только на прочность.

Задача 1.3 Дано: $b \times h = 150 \times 200$ мм; $l = 4500$ мм; $t-w$ условия – 2; порода древесины - клен; сорт 2; $h_1 = 35$ мм; условия закрепления III-III. Определить несущую способность центрально-сжатого стержня (рис. 1.7а).

Решение

Несущая способность центрально-сжатого стержня с учетом его устойчивости рассчитывается исходя из формулы (1.3):

$$N = \varphi F_{рас} m_{дл} m_n m_в R_c,$$

где

$$m_n = 1,3 \text{ (табл. 1.7);} \quad m_в = 0,9 \text{ (табл. 1.8);}$$

$$R_c = 19,5 \text{ МПа (табл. 1.5);} \quad m_{дл} = 0,66 \text{ (табл. 1.6).}$$

Поскольку сечение ослаблено отверстием, находящимся в теле сжатого элемента, то площадь ослабления определяем в процентном отношении к площади брутто:

$$F_{бр} = h b = 200 \times 150 = 30000 \text{ мм}^2$$

$$F_{осл} = h_1 b = 35 \times 150 = 5250 \text{ мм}^2; \quad 5250 \cdot 100 / 30000 = 17,5\% \leq 25\% F_{бр},$$

следовательно, расчетная площадь равна $F_{расч} = F_{бр}$.

Определяем гибкость элемента :

$$\lambda_y = \mu_0 l / 0,289 b = 1,0 \times 4500 / 0,289 \times 15 = 103,9 < [\lambda];$$

$$\lambda_x = \mu_0 l / 0,289 h = 1 \times 4500 / 0,289 \times 20 = 78$$

Расчет ведем по наибольшей гибкости: $\lambda_x = 103,9$.

Для гибкости $\lambda > 70$ определяем коэффициент φ по формуле (1.5):

$$\varphi = 3000 / \lambda^2 = 3000 / 103,9^2 = 0,3$$

Тогда несущая способность стержня будет равна:

$$N = 0,3 \times 30000 \times 0,66 \times 1,3 \times 0,9 \times 19,5 = 135521 \text{ Н} = 135,5 \text{ кН.}$$

Задача 1.4 Дано: $N = 139 \text{ кН}$; $b \times h = 120 \times 180$ мм; $l = 4200$ мм; $t-w$ условия – 2; порода древесины - клен; сорт 2; $h_1 = 35$ мм; условия закрепления III - 3. Определить устойчивость центрально-сжатого стержня (рис. 1.7а.).

Решение

Воспользуемся формулой (1.3):

$$\sigma = \frac{N}{F_{расч} \cdot \varphi} \leq R_c \cdot m_{дл} \cdot m_n \cdot m_в$$

$$m_n = 1,3 \text{ (табл. 1.7);} \quad m_в = 0,9 \text{ (табл. 1.8);} \quad m_{дл} = 0,66 \text{ (табл. 1.6).}$$

Определяем расчетную площадь сечения $F_{расч}$ и коэффициент продольного изгиба φ :

$$F_{осл} = h_1 b = 35 \times 120 = 4200 \text{ мм}^2;$$

$$F_{бр} = 120 \cdot 180 = 21600 \text{ мм}^2; \quad F_{осл} < 25\%, \text{ следовательно,} \quad F_{расч} = F_{бр}.$$

Определяем гибкость элемента:

$$\lambda_x = \mu_0 l / 0,289 h = 1 \times 420 / 0,289 \times 18 = 80,7;$$

$$\lambda_y = \mu_0 l / 0,289 b = 0,65 \times 420 / 0,289 \times 12 = 78,7.$$

Для дальнейших расчетов принимаем значение большей гибкости, т.е. 80,7.

Так как $\lambda > 70$, то коэффициент φ определяем по формуле (1.5):

$$\varphi = 3000 / 80,7^2 = 0,5$$

Проверяем прочность сжатого элемента :

$$\sigma = \frac{N}{F_{расч} \cdot \varphi} = \frac{139000}{21600 \cdot 0,5} = 12,8 \leq 19,5 \cdot 0,66 \cdot 1,3 \cdot 0,9 = 15,1 \text{ МПа}$$

Задача 1.5. Дано: $N=130\text{кН}$, $l=4500\text{мм}$, $F_{осл}=0,18F_{бр}$; $h_l=25$, $t-w - 2$, порода древесины – пихта. Способ закрепления-Ш-Ш. Подобрать размеры поперечного сечения центрально-сжатого стержня (рис. 1.2в).

Решение:

Для решения задачи зададимся произвольным значением гибкости $\lambda=120$ и приближенным значением коэффициента $\varphi_{np}=0,4$.

Требуемые: радиус инерции стойки $r_{mp} = \frac{l_0}{\lambda} = \frac{1 \cdot 450}{[120]} = 3,75 \text{ см};$

диаметр среднего сечения, определяемый по радиусу инерции:

$$d_{cp} = 4 \cdot r_{mp} = 4 \cdot 3,75 = 15 \text{ см};$$

площадь среднего сечения:

$$F^{mp} \leq \frac{N}{R_c \cdot m_{ол} \cdot m_n \cdot m_g} = \frac{13000}{195 \cdot 0,66 \cdot 0,4 \cdot 0,8 \cdot 0,9} = 351 \text{ см}^2.$$

где,

$m_n = 0,8$ для пихты (1.7); $m_g = 0,9$ (табл.1.8); $R_c = 19,5 \text{ МПа} = 195 \text{ кг/см}^2$ (табл. 1.5); $m_{ол} = 0,66$ (табл.1.6).

По сортаменту пиломатериалов подбираем бревно $d=22\text{см}$, площадь сечения его равна $F=380,1\text{см}^2$, что больше $F^{mp}=351\text{см}^2$.

Определяем площадь ослабления: $F_{осл} = 0,18 F_{бр} = 0,18 \cdot 380,1 = 68,4\text{см}^2$, что меньше 25%. Тогда: $F_{рас} = F_{бр}$;

Определяем гибкость: $\lambda = \mu_0 l / 0,25d = 1 \cdot 450 / 0,25 \cdot 22 = 81,8 > 70$;

$$\varphi = 3000 / \lambda^2 = 3000 / 81,8^2 = 0,44 > \varphi_{np} = 0,18.$$

Следовательно, принятое сечение удовлетворяет условию устойчивости.

Расчёт деревянных элементов цельного сечения на изгиб

Рассчитывают по 2-м группам предельных состояний. По первой группе производится расчет изгибаемых элементов на прочность:

а) по нормальным напряжениям:

$$\sigma = \frac{M}{W_{нт}} \leq R_u, \quad (1.10)$$

б) по касательным напряжениям:

$$\tau = \frac{QS'}{I_{бр} b_{рас}} \leq R_{ск}, \quad (1.11)$$

в) на устойчивость плоской формы деформирования производится:

$$\frac{M}{\varphi_M \cdot W_{бр}} \leq R_u, \quad (1.12)$$

где
$$\varphi_M = 140 \frac{b^2}{l_{рас} \cdot h} \cdot k_\phi, \quad (1.13)$$

По второй группе предельных состояний прогиб деревянных изгибаемых элементов должен удовлетворять условию:

$$\frac{f}{l} \leq [f], \quad (1.14)$$

где M – расчетный изгибающий момент в проверяемом сечении;

Q – расчетная поперечная сила;

$J_{бр}$ – момент инерции брутто поперечного сечения элемента относительно нейтральной оси;

$W_{нт}$ – момент сопротивления нетто проверяемого сечения;

S' – статический момент брутто сдвигаемой части сечения относительно нейтральной оси;

$h, b_{рас}$ – высота расчетная ширина поперечного сечения;

k_ϕ – коэффициент, учитывающий форму эпюры изгибающих моментов (табл.1.15)

$R_u; R_{ск}$ – расчетные сопротивления материала изгибу и скалыванию соответственно.

$[f]$ – предельный прогиб (табл. 1.18).

По известному моменту сопротивления определяется сечение элемента

$$W = \frac{bh^2}{6}, \quad \text{откуда } h = \sqrt{\frac{6W}{b}} \quad (\text{для прямоугольного сечения});$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{32W}{\pi}} \text{ (для круглого сечения).}$$

Задача 1.6. Дано: $q - 5 \text{ кН/м}$; $l - 4000 \text{ мм}$; $b \times h - 150 \times 225 (h) \text{ мм}$, порода древесины сосна, сорт 1, t - w режим - 1.

Проверить прочность по нормальным и касательным напряжениям и прогиб балки цельного прямоугольного сечения (рис. 1.3г).

Максимальный изгибающий момент в сечении балки равен:

$$M = 0,0642ql^2 = 0,0642 \cdot 5 \cdot 4^2 = 5,13 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

Момент сопротивления равен $W = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{15 \cdot 22,5^2}{6} = 1265,6 \text{ см}^3$

Определяем прочность по нормальным напряжениям по (1.10):

$$\sigma = \frac{M}{W_{нт}} = \frac{51300}{1265,6} = 40,58 \leq 195 \cdot 0,66 = 128,7 \text{ кг} / \text{см}^2 = 12,8 \text{ МПа}.$$

Условие прочности по нормальным напряжениям выполняется.

Определяем прочность по касательным напряжениям по формуле (1.11).

Поперечная сила: $Q = \frac{ql}{6} = \frac{5 \cdot 4}{6} = 3,3 \text{ кН}$;

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

Момент инерции: $I = \frac{bh^3}{12} = \frac{15 \cdot 22,5^3}{12} = 14238,3 \text{ см}^4$.

Прочность балки:

$$\tau = \frac{QS}{I_{бр} b_{рас}} = \frac{330 \cdot 949,2}{14238,3 \cdot 15} = 1,5 \text{ кг} / \text{см}^2 = 0,15 \text{ МПа} \leq R_{ск} = 2,4 \cdot 0,66 = 1,58 \text{ МПа}.$$

Прогиб балки для расчетной схемы, приведенной на рис. 1.3г

$$\frac{f}{l} = 0,00651 \frac{q^n l^3}{IE} \leq \left[\frac{l}{250} \right];$$

$$\frac{f}{l} = 0,00651 \cdot \frac{5,5}{1,1} \cdot \frac{400^3}{14238,3 \cdot 110000} = 0,0013 \leq \left[\frac{400}{250} \right] = 1,6$$

E – модуль упругости древесины, равный 11000 МПа

Задача 1.7. Дано: $N=15$ кН; $l=4200$ мм; порода древесины - лиственница, сорт 2, t - w режим-2, (рис.1.3а). Определить размеры поперечного сечения балки и проверить ее прочность по нормальным, касательным напряжениям, а также прогиб.

Решение

Для подбора сечения балки воспользуемся формулой (1.10):

$$\sigma = \frac{M}{W_{нт}} \leq R_u \cdot m_{дл} \cdot m_n \cdot m_е,$$

Изгибающий момент:

$$M = Nl/4 = (15 \cdot 4,2)/4 = 15,75 \text{ кН м.}$$

$$\text{Поперечная сила: } Q = N/2 = 1500/2 = 750 \text{ кг.}$$

$$m_{дл} = 0,66 \text{ (табл. 1.6);}$$

$$m_n = 1,2 \text{ для лиственницы (табл. 1.7);}$$

$$m_е = 0,9 \text{ (табл. 1.8); } R_u = 19,5 \text{ МПа (табл. 1.5);}$$

$$R_{ск} = 2,4 \text{ МПа (табл. 1.5).}$$

Тогда требуемый момент сопротивления равен:

$$W^{mp} = \frac{M}{R_u \cdot m_n \cdot m_е \cdot m_{дл}} = \frac{157500 \text{ кг} \cdot \text{см}}{195 \text{ кг} / \text{см}^2 \cdot 0,66 \cdot 1,2 \cdot 0,9} = 1133 \text{ см}^3.$$

Принимаем балку прямоугольного сечения и задаемся шириной сечения

$$b = 15 \text{ см.}$$

Требуемая высота сечения равна:

$$h^{mp} = \sqrt{\frac{6W^{mp}}{b}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 1133}{15}} = 21,2 \text{ см.}$$

Принимаем сечение $b \times h = 15 \times 25 \text{ см}$.

Расчетные момент сопротивления, момент инерции, статический момент равны:

$$W = \frac{bh^2}{6} = \frac{15 \cdot 25^2}{6} = 1563 \text{ см}^3; \quad I = \frac{bh^3}{12} = \frac{15 \cdot 25^3}{12} = 19531,3 \text{ см}^4;$$

$$S = \frac{bh^2}{8} = \frac{15 \cdot 25^2}{8} = 1172 \text{ см}^3.$$

Проверяем прочность по нормальным напряжениям:

$$\sigma = \frac{M}{W_{нт}} = \frac{157500}{1563} = 101 \text{ кг} / \text{см}^2 \leq 195 \cdot 0,66 \cdot 1,2 \cdot 0,9 = 123,6 \text{ кг} / \text{см}^2.,$$

Условие выполняется.

Проверяем прочность по касательным напряжениям:

$$\tau = \frac{QS}{I_{бр} b_{рас}} = \frac{750 \cdot 1172}{19531,3 \cdot 15} = 3 \text{ кг} / \text{см}^2 \leq 24 \cdot 0,66 \cdot 1,2 \cdot 0,9 = 17,1 \text{ кг} / \text{см}^2.$$

Условие выполняется.

Проверяем жесткость балки:

$$\frac{f}{l} = \frac{Nl^2}{48IE} = \frac{750 \cdot 420^2}{48 \cdot 19531,3 \cdot 100000} \leq \frac{f}{l} = \frac{420}{200};$$

0,001 < 2,1.

Условие жесткости балки выполняется.

Расчет деревянных элементов на косою изгиб

Косым называют изгиб, при котором плоскость действия изгибающего момента, возникающего в сечении, не совпадает ни с одной из главных плоскостей бруса (рис. 1.8).

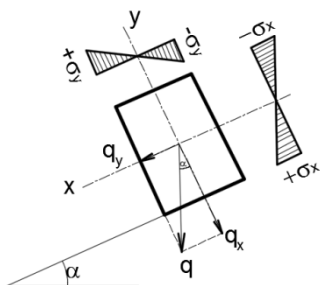


Рис. 1.8. Косою изгиб

Расчет деревянных элементов цельного сечения прочности при косом изгибе производится по формуле:

$$\sigma = \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} \leq R_u, \quad (1.15)$$

где, M_x и M_y - изгибающие моменты от составляющих q_x и q_y нагрузки; W_x и W_y - моменты сопротивления рассматриваемого поперечного сечения нетто для осей x и y .

Прогиб элемента при косом изгибе определяется как геометрическая величина по формуле:

$$f = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} \leq [f], \quad (1.16)$$

где f_x и f_y - прогибы от составляющих q_x и q_y нагрузки.

Для балок, работающих на косою изгиб, можно определить, как для простой балки по принятому изгибающему моменту:

$$M_{np} = M_x \cdot (1 + \eta), \quad (1.17)$$

$$\text{где } \eta = \frac{M_y \cdot W_x}{M_x \cdot W_y}, \quad (1.18)$$

$$\frac{M_y}{M_x} = \operatorname{tg} \alpha, \quad (1.19)$$

$\frac{W_x}{W_y}$ зависит от формы и размеров сечения.

Для круглого сечения $\frac{W_x}{W_y} = 1$, для прямоугольного $\frac{W_x}{W_y} = h/b = \sqrt{\text{ctg} \alpha}$.

Задача 1.8 Дано: $g^H = 1,0 \text{ кН/м}^2$, $g^P = 1,1 \text{ кН/м}^2$, $l=5500 \text{ мм}$, шаг прогонов (B) – 900 мм , угол -40° , порода древесины – дуб, сорт 2, $t-w$ условия 2. Проверить прочность и прогиб разрезного прогона, работающего на кривой изгиб (рис. 1.8)

Решение.

Погонная нагрузка, действующая на прогон равна:

$$q^P = g^P \times B = 1,1 \times 0,9 = 0,99 = 1 \text{ кН/м}.$$

Проверку условия прочности определяем по формуле (1.15):

$$\sigma = \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} \leq R_u \cdot m_{dl} \cdot m_n \cdot m_e,$$

Определяем максимальный момент:

$$M = \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{1 \cdot 5,5^2}{8} = 3,78 \text{ кН} \cdot \text{м} = 37800 \text{ кг} \cdot \text{см}.$$

Определяем составляющие момента по осям x и y :

$$M_x = M \cdot \cos \alpha = 37800 \cdot \cos 40^\circ = 28954,8 \text{ кг} \cdot \text{см},$$

$$M_y = M \cdot \sin \alpha = 37800 \cdot \sin 40^\circ = 24305,4 \text{ кг} \cdot \text{см}.$$

Определим оптимальные размеры прогона, из условия $h/b = \sqrt{\text{ctg} \alpha}$, предварительно задавшись $b=12 \text{ см}$.

$$h = b \cdot \sqrt{\text{ctg} \alpha} = 12 \cdot \sqrt{1,191} = 13,1 \text{ см}, \quad h = b \times \text{ctg} \alpha = 12 \times \text{ctg} 40^\circ = 13,1 \text{ см}.$$

Задаемся размерами: $b \times h = 12 \times 15 \text{ см}$.

Определяет моменты сопротивления:

$$W_x = \frac{bh^2}{6} = \frac{12 \cdot 15^2}{6} = 450 \text{ см}^3; \quad W_y = \frac{b^2h}{6} = \frac{12^2 \cdot 15}{6} = 360 \text{ см}^3.$$

Тогда

$$\sigma = \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} = \frac{28954,8}{450} + \frac{24305,4}{360} \leq 195 \cdot 0,66 \cdot 1,3 \cdot 0,9,$$

$$131,8 \text{ кг} / \text{см}^2 \leq 150,1 \text{ кг} / \text{см}^2,$$

$$R_u = 19,5 \text{ МПа (табл. 1.5);}$$

Условие прочности выполняется.

Проверку условия жесткости определяем по формуле (1.16):

$$f = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} \leq [f].$$

Определяем составляющие нормативной нагрузки:

$$q_x^n = g^n \cdot B \cdot \cos 40^\circ = 1 \cdot 0,9 \cdot 0,766 = 0,69 \text{ кН/м} = 0,69 \text{ кг/см};$$

$$q_y^n = g^n \cdot B \cdot \sin 40^\circ = 1 \cdot 0,9 \cdot 0,643 = 0,58 \text{ кН/м} = 0,58 \text{ кг/см}.$$

Определяем моменты инерции:

$$I_x = \frac{bh^3}{12} = \frac{12 \cdot 15^3}{12} = 3375 \text{ см}^4; \quad I_y = \frac{b^3h}{12} = \frac{12^3 \cdot 15}{12} = 2160 \text{ см}^3.$$

Составляющие прогиба равны:

$$\frac{f_x}{l} = \frac{5 q_x^n l^3}{384 IE} = \frac{5 \cdot 0,69 \cdot 550^3}{384 \cdot 3375 \cdot 100000} = 0,004$$

$$\frac{f_y}{l} = \frac{5 q_y^n l^3}{384 IE} = \frac{5 \cdot 0,58 \cdot 550^3}{384 \cdot 2160 \cdot 100000} = 0,006$$

$$f = \sqrt{0,004^2 + 0,006^2} \leq \left[\frac{550}{200} \right]; \quad 0,0072 < 2,25.$$

Условие жесткости соблюдается.

1.3. Справочный материал для выполнения практического задания №1

Таблица 1.5 – Расчетные сопротивления сосны, ели и лиственницы европейской

Напряженное состояние и характеристика элементов	Расчетное сопротивление, МПа, для сортов древесины			
	Обозначение	1	2	3
1 Изгиб, сжатие и смятие вдоль волокон:	$R_{И}^A, R_{С}^A, R_{СМ}^A$			
а) элементы прямоугольного сечения [за исключением указанных в б), в)] высотой не более 50 см. При высоте сечения более 50 см [см. 6.9в)]		21	19,5	13
б) элементы прямоугольного сечения шириной от 11 до 13 см при высоте сечения от 11 до 50 см		22,5	21	15
в) элементы прямоугольного сечения шириной более 13 см при высоте сечения от 13 до 50 см		24	22,5	16,5
г) элементы из круглых лесоматериалов без врезок в расчетном сечении		-	24	15

2 Растяжение вдоль волокон:	$R_{\text{п}}^A$			
а) элементы из цельной древесины		15	10,5	-
б) клееные элементы		18	13,5	-
3 Сжатие и смятие по всей площади поперек волокон	$R_{\text{с90}}^A, R_{\text{см90}}^A$	2,7	2,7	2,7
4 Смятие поперек волокон местное:	$R_{\text{см90}}^A$			
а) в опорных частях конструкций, лобовых врубках и узловых примыканиях элементов		4,5	4,5	4,5
б) под шайбами при углах смятия от 90° до 60°		6	6	6
5 Скалывание вдоль волокон:	$R_{\text{ск}}^A$			
а) при изгибе элементов из цельной древесины		2,7	2,4	2,4
б) при изгибе клееных элементов		2,4	2,25	2,25
в) в лобовых врубках для максимального напряжения		3,6	3,2	3,2
г) местное в клеевых соединениях для максимального напряжения		3,2	3,2	3,2
6 Скалывание поперек волокон в соединениях:	$R_{\text{ск90}}^A$			
а) элементов из цельной древесины		1,5	1,2	0,9
б) клееных элементов		1,05	1,05	0,9
7 Растяжение поперек волокон элементов из клееной древесины	$R_{\text{р90}}^A$	0,23	0,15	0,12

Таблица 1.6 – *Режимы длительности нагружения (коэффициент длительной прочности $m_{дл}$)*

Обозначение режимов нагружения	Характеристика режимов нагружения	Приведенное расчетное время действия нагрузки,	Коэффициент длительной прочности $m_{дл}$
А	Линейно возрастающая нагрузка при стандартных машинных испытаниях	1-10	1,0
Б	Совместное действие постоянной и длительной временной нагрузок, напряжение от которых превышает 80% полного напряжения в элементах конструкций от всех нагрузок	$10^8 - 10^9$	0,53
В	Совместное действие постоянной и кратковременной снеговой нагрузок	$10^6 - 10^7$	0,66
Г	Совместное действие постоянной и кратковременной ветровой и (или) монтажной нагрузок	$10^3 - 10^4$	0,8
Д	Совместное действие постоянной сейсмической нагрузок	$10 - 10^2$	0,92
Е	Действие импульсивных и ударных нагрузок	$10^{-1} - 10^{-8}$	1,1-1,35
Ж	Совместное действие постоянной и кратковременной снеговой нагрузок в условиях пожара	$10^3 - 10^4$	0,8
И	Для опор воздушных линий электропередачи - гололедная, монтажная, ветровая при гололеде, оттяжения проводов при температуре ниже среднегодовой	$10^4 - 10^5$	0,85
К	Для опор воздушных линий электропередачи - при обрыве проводов и тросов	$10^{-1} - 10^{-2}$	1,1

Таблица 1.7 – *Переходные коэффициенты m_n*

Древесная порода	Коэффициент m_n для расчетных сопротивлений		
	растяжению, изгибу, сжатию и смятию вдоль волокон $R_p, R_{из}, R_c, R_{см}$	сжатию и смятию поперек волокон $R_{с90}, R_{см90}$	скалыванию $R_{ск}$
Хвойные			
Лиственница, кроме европейской	1,2	1,2	1
Кедр сибирский, кроме кедра Красноярского края	0,9	0,9	0,9
Кедр Красноярского края	0,65	0,65	0,65
Пихта	0,8	0,8	0,8
Твердые лиственные			
Дуб	1,3	2	1,3
Ясень, клен, граб	1,3	2	1,6
Акация	1,5	2,2	1,8
Береза, бук	1,1	1,6	1,3
Вяз, ильм	1	1,6	1

Таблица 1.8 – *Значение коэффициента m_e*

Условия эксплуатации (по табл.1.13)	1 и 1А	2	3	4
Коэффициент m_e	1	0,9	0,85	0,75

Таблица 1.9 – *Классификация условий эксплуатации*

Классы условий эксплуатации		Эксплуатационная влажность древесины, %	Максимальная влажность воздуха при температуре 20 ⁰ С, %
1 (сухой)	1а	Не более 8	40
	1б	Не более 10	50
2 (нормальный)		Не более 12	65
3 (влажный)		Не более 15	75
4 (мокрый)	4а	Не более 20	85
	4б	Более 20	Более 85

Таблица 1.10 – *Предельные гибкости элементов*

Наименование элементов конструкций	Предельная гибкость $\lambda_{\text{макс}}$
1 Сжатые пояса, опорные раскосы и опорные стойки ферм, колонны	120
2 Прочие сжатые элементы ферм и других сквозных конструкций	150
3 Сжатые элементы связей	200
4 Растянутые пояса ферм в вертикальной плоскости	150
5 Прочие растянутые элементы ферм и других сквозных конструкций	200
Для опор воздушных линий электропередачи	
6 Основные элементы (стойки, приставки, опорные раскосы)	150
7 Прочие элементы	175
8 Связи	200

Таблица 1.11 – *Предельные прогибы элементов*

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	1/300
г) плиты	1/250
д) обрешетки, настилы	1/150
4 Несущие элементы ендов	1/400

2. Практическое занятие №2

Тема: Расчет элементов цельного сечения на внецентренное сжатие и внецентренное растяжение. Расчет элементов составного сечения на продольный и поперечный изгиб.

Цель практического занятия приобретение студентом практических навыков расчета и конструирования элементов, работающих на сложное напряженное состояние, а также иметь навыки расчета элементов составного сечения.

В результате данного практического занятия студент должен:

- **знать** методы расчета деревянных конструкций на сложные напряженно-деформированные состояния;
- **уметь** пользоваться нормативной и технической литературой при расчете деревянных конструкций цельного и составного сечений.

2.1. Задания для практического занятия №2

Задания для расчета сжато-изгибаемых элементов цельного сечения

Таблица 2.1 – Исходные данные для расчетов сжато-изгибаемых элементов цельного сечения

№ варианта	Исходные данные								
	Схема элемента	N, кН	q, кН/м	L, мм	e, мм	Сорт/t-w	h, мм	b, мм	Древесина
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	а	30	4,0	3000	-	1/1	200	100	Сосна
2	б	50	3,0	4000	200	2/2	200	125	Ель
3	в	60	2,0	3500	-	3/1	225	125	Пихта
4	г	70		4000	300	2/3	250	100	Кедр
5	д	40	5,0	5000	-	2/1	225	125	Ель
6	б	40	3,0	5000	300	3/2	225	150	Дуб
7	в	90	-	4000	-	2/1	225	175	Клен
8	г	80		6000	250	3/3	225	200	Вяз
9	д	50	6,0	5000	-	2/3	250	150	Береза
10	б	30	-	4000	400	3/2	250	175	Граб

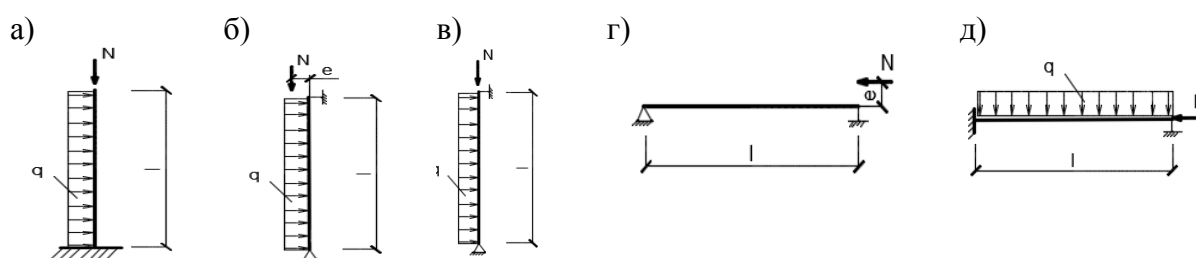


Рис. 2.1 К расчету сжатоизгибаемых элементов

Задания для расчета растянуто-изгибаемых элементов цельного сечения

Таблица 2.2. – Исходные данные для расчетов растянуто-изгибаемых элементов цельного сечения

Исходные данные									
№ вар	Схема	N, кН	q, кН/м	l, м	e/h _{вр} , мм	b, мм	h, мм	t-w/сорт	Порода
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	г	200	-	3,0	60/-	125	180	2/1	сосна
2	а	150	-	-	-/50	130	180	1/1	клен
3	б	300	-	-	-/65	150	175	3/1	вяз
4	в	250	-	-	-/70	125	225	2/1	граб
5	д	-	12,5	4,5	-/70	200	250	1/1	ель
6	г	185	-	5,0	50/-	150	200	2/1	сосна
7	г	175	-	4,0	50/-	125	180	2/1	пихта
8	а	125	-	-	-/75	110	150	1/1	клен
9	б	285	-	-	-/60	130	175	3/1	вяз
10	в	119	-	-	-/68	150	180	2/1	сосна

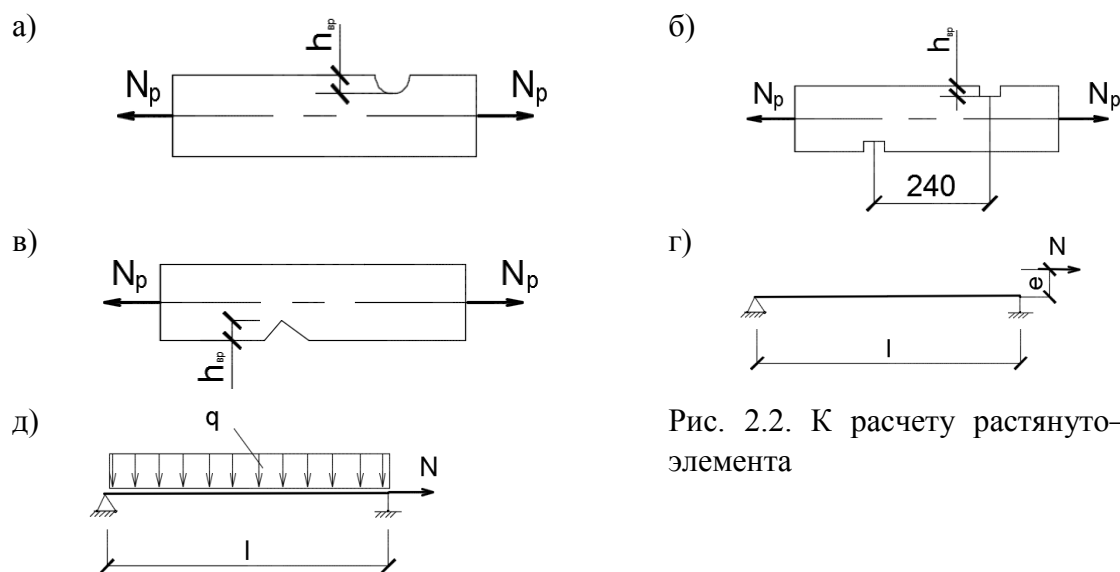


Рис. 2.2. К расчету растянуто-изгибаемого элемента

Задания для расчета элементов составного сечения на продольный изгиб
 Проверить устойчивость составного стержня.

Таблица 2.3 – Исходные данные для расчетов элементов составного сечения

№ варианта	Исходные данные								
	сечение по рис.10	N,кН	l, м	количество основных элементов и их сечение, b×h	сечение прокладок, b×h	шаг гвоздей, см	количество гвоздей в ряду, шт.	порода древесины	t-w условия/сорт
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	а	15	5,0	3(6×15)	6×15	25	5	лиственница	2/2
2	в	18	5,5	2(5×15)	7,5×15	-	-	пихта	1/2
3	б	19	4,5	3(5×18)	7,5×18	-	-	ель	3/2
4	в	24	3,8	3(5×20)	5×20	-	-	сосна	1/2
5	б	21	4,1	2(7,5×18)	7,5×18	-	-	лиственница	1/2
6	а	9,8	5,2	3(7,5×18)	6×18	20	6	сосна	2/2
7	а	14	4,7	3(7,5×20)	7,5×20	28	4	пихта	1/2
8	б	23	4,8	4(5×18)	7,5×18	-	-	ель	3/2
9	в	28	4,9	2(5×20)	5×20	-	-	сосна	1/2
10	б	19	3,8	3(7,5×20)	7,5×20	-	-	лиственница	1/2
11	а	11	4,6	4(5×18)	5×18	20	4	сосна	2/2
12	а	12	4,5	5(7,5×15)	7,5×15	30	6	пихта	1/2
13	б	22	5,0	4(5×20)	7,5×20	-	-	ель	1/2
14	в	23	4,5	3(5×20)	5×20	-	-	сосна	1/2
15	б	26	4,2	3(7,5×20)	7,5×20	-	-	ель	2/2
16	а	10,5	5,2	3(7,5×20)	5×20	20	4	сосна	2/2
17	б	15	3,0	3(5×18)	7,5×18	-	-	ель	1/1
18	в	30	4,0	3(5×20)	5×20	-	-	пихта	2/1
19	б	25	4,4	2(7,5×20)	5×20	-	-	лиственница	1/2
20	а	10,8	5,5	4(7,5×20)	7,5×20	30	6	сосна	2/2

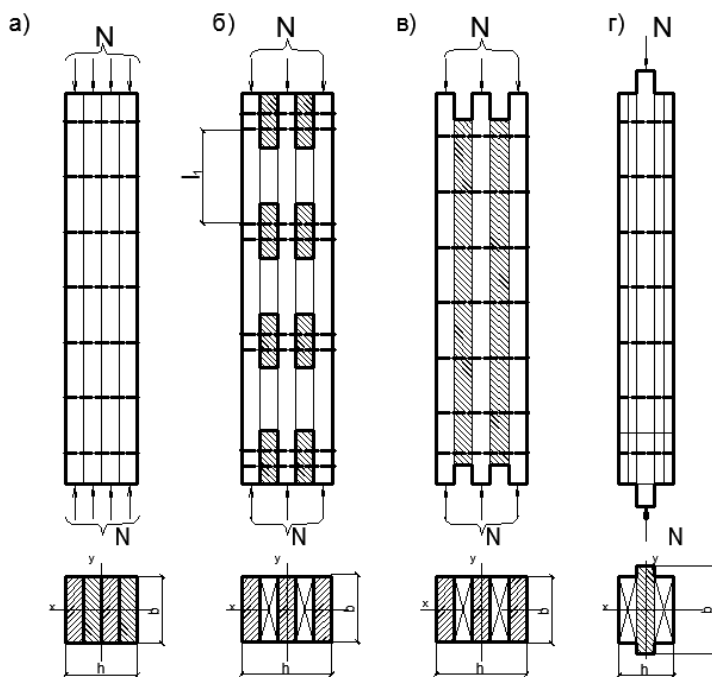


Рис. 2.3. Основные типы сжатых составных стержней

Задания для расчета элементов составного сечения на поперечный изгиб

Таблица 2.4 – Исходные данные для расчета балки составного сечения

№ варианта	Исходные данные						
	Схема	l, м	q, кН/м	N, кН	Порода	t-w условия	Сорт
1	а	5,5	-	22	ясень	1	2
2	б	6,0	-	26	пихта	1	2
3	в	5,4	15	-	ель	3	3
4	а	6,0	-	48	клен	2	2
5	в	5,8	21	-	береза	2	3
6	б	5,8	-	35	ясень	1	2
7	а	6,0	-	28	вяз	3	2
8	б	5,5	-	31	ель	2	3
9	а	6,0	-	19	клен	2	2
10	в	5,0	18	-	кедр	1	3

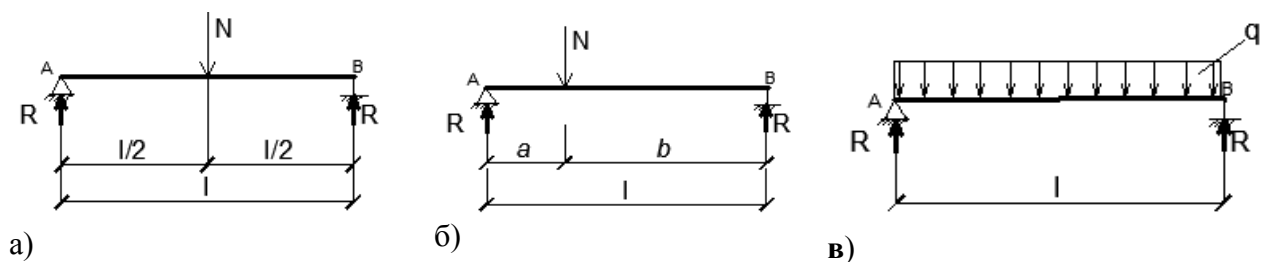


Рис. 2.4 К расчету элементов на податливых связях

Практическое занятие №2 выполняется в следующем порядке:

1. Определить расчетное сопротивление с учетом всех коэффициентов;
2. Вычертить расчетную схему сжато- изгибаемого или растянуто – изгибаемого элемента с определением момента, поперечной силы;
3. Для элементов составного сечения определить расчетное сечение, расставить соединительные элементы.
4. Рассчитать необходимые неизвестные, обозначенные в заданиях.

2.2. Примеры выполнения практического занятия №2

Расчёт деревянных элементов цельного сечения на сжатие с изгибом

Стержни, находящиеся под одновременным воздействием изгибающего момента и продольной силы, относятся к сжато – или растянуто – изгибаемым и рассчитываются на совместное действие сжимающей и растягивающей силы и изгибающего момента.

Основной формулой при расчете сжато-изогнутых элементов является:

$$\sigma = \frac{N}{F_{нт}} + \frac{M_o}{W_{нт}} \leq R_c, \quad (2.1)$$

где N - расчетное значение сжимающей силы;

$F_{нт}$ – площадь нетто расчетного сечения;

M_o – изгибающий момент от действия поперечных и продольных нагрузок, равный:

$$M_d = M/\xi, \quad (2.2)$$

где ξ - коэффициент, изменяющийся от 1 до 0, учитывающий дополнительный момент от продольной силы вследствие прогиба элемента, определяемый по формуле:

$$\xi = 1 - \frac{N}{\varphi \cdot F_{рас} \cdot R_c}, \quad (2.3)$$

φ – коэффициент продольного изгиба, определяемый по формуле (1.6)

Расчет сжато – изгибаемых элементов на прочность по скалыванию выполняют по формуле:

$$\tau = \frac{QS_{бр}'}{I_{бр} b_{рас}} + \Delta\tau \leq R_{ск}, \quad (2.4)$$

где

$$\Delta\tau = \frac{0,75Ne}{bh^2}; \quad (2.5)$$

Q — расчетная поперечная сила; N — расчетная продольная сила;

$S_{бр}$ — статический момент брутто сдвигаемой части поперечного сечения

элемента относительно нейтральной оси;

$I_{бр}$ — момент инерции брутто поперечного сечения элемента относительно нейтральной оси;

b и h — расчетные ширина и высота сечения элемента;

e — эксцентриситет передачи усилия N ;

$R_{ск}$ — расчетное сопротивление скалыванию при изгибе.

Расчёт деревянных элементов цельного сечения на растяжение с изгибом

Основной формулой при расчете растянуто-изгибаемых элементов является:

$$\sigma = -\frac{N}{F_{нт}} + \frac{M \cdot R_p}{W_{нт} \cdot R_u} \leq R_p, \quad (2.6)$$

N - расчетное значение растягивающей силы; $F_{нт}$ - площадь нетто расчетного сечения; M - расчетный изгибающий момент; $W_{нт}$ - расчетный момент сопротивления; R_p - расчетное сопротивление растяжению; R_u - расчетное сопротивление изгибу.

Задача 2.1 Дано: Стойка стены шарнирно – закрепленная с фундаментом и перекрытием сечением 15x18 см и высотой 4м, центрально нагружена постоянной и временной нагрузкой $N=8,1$ тн (рис.2.1б). Кроме этого, на стойку действует горизонтальная ветровая нагрузка с интенсивностью $q=150$ кг/м. Порода древесины – сосна. $t-w$ условия 1. Сорт 2. Проверить прочность сжато-изогнутого элемента прямоугольного поперечного сечения ($h \times b$).

Определяем изгибающий момент от ветровой нагрузки:

$$M = \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{150 \cdot 4,0^2}{8} = 300 \text{ кг} \cdot \text{м} = 30000 \text{ кг} \cdot \text{см}.$$

Гибкость стойки в плоскости действия изгибающего момента:

$$\lambda_x = \mu_0 L / 0,289h = 1 \times 4,5 / 0,289 \times 18 = 86,5.$$

Определяем коэффициент ξ по формуле (2.3):

$$\xi = 1 - \frac{N}{\varphi \cdot F_{рас} \cdot R_c} = 1 - \frac{N \cdot \lambda^2}{3000 \cdot F_{рас} \cdot R_c} = 1 - \frac{8100 \cdot 86,5^2}{3000 \cdot 15 \cdot 18 \cdot 130} = 0,45.$$

По формуле (2.4) определяем M_0 :

$$M_0 = M / \xi = 30000 / 0,45 = 66666,7 \text{ кг} \cdot \text{см}$$

Момент сопротивления

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{15 \cdot 18^2}{6} = 810 \text{ см}^3.$$

Полученные данные подставляем в формулу 2.1

$$\sigma = \frac{N}{F_{нт}} + \frac{M_o}{W_{нт}} = \frac{8100}{15 \cdot 18} + \frac{66666,7}{810} = 112 \leq 130 \text{ кг} / \text{см}^2.$$

Следовательно, принятое сечение стойки достаточное.

Задача 2.2. Дано: Определить прочность растянутого пояса треугольной деревянной фермы. Сечение пояса 120x200(h)мм. Сечение ослаблено отверстиями диаметром 8 мм. Усилие, действующее на растянутый пояс равно 125кН. Порода древесины - лиственница, t-w условия -I, сорт I.

Решение

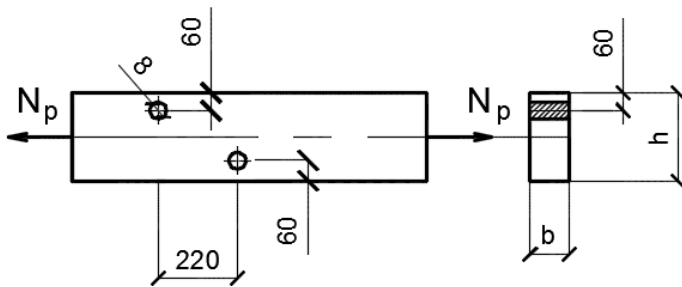


Рис. 2.5 Растянутый пояс фермы и расчетное сечение

Так как расстояние между ослаблениями более 200 мм, то отверстия не объединяем в одном расчетном сечении. Выбираем ослабление одно из двух.

Воспользуемся формулой (2.6):

$$\sigma = -\frac{N}{F_{нт}} + \frac{M \cdot R_p}{W_{нт} \cdot R_u} \leq R_p \cdot m_{дл} \cdot m_n, \quad m_n = 1,2 \text{ (для лиственницы)}.$$

Определяем расчетную площадь сечения

$$F_{нт} = F_{бр} - F_{осл.} = 12 \times 20 - (0,8 \times 12) = 230,4 \text{ см}.$$

Определяем центр тяжести сечения:

$$y_o = \frac{12 \cdot 13,2 \cdot 6,6 + 12 \cdot 5,2 \cdot 17,4 - 12 \cdot 0,8 \cdot 14,0}{12 \cdot 13,2 + 12 \cdot 5,2 + 12 \cdot 0,8} = \frac{1996,8}{211,2} = 9,45 \text{ см}.$$

Для определения изгибающего момента необходимо определить эксцентриситет приложения усилия:

$$e = h - \frac{h}{2} - y_o = 200 - 100 - 9,45 = 90,55 \text{ см}.$$

Момент равен

$$M=Ne=12500 \times 0,55=6875 \text{ кг см.}$$

Определяем прочность растянуто – изгибаемого элемента:

$$\sigma = \frac{12500}{(20-0,8) \cdot 12} + \frac{12500 \cdot 0,55 \cdot 100}{\frac{12 \cdot 19,2^2}{6} \cdot 140} = 121 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2} \leq 195 \cdot 0,66 \cdot 1,2 = 154,4 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}.$$

Условие прочности выполняется.

Расчет элементов составного сечения на поперечный изгиб

Податливость связей ухудшает работу составного элемента по сравнению с таким же элементом цельного сечения. У составного элемента на податливых связях уменьшается несущая способность, увеличивается деформативность, изменяется характер распределения сдвигающих усилий по его длине, поэтому при расчете и проектировании составных элементов необходимо учитывать податливость связей.

При расчете составных стержней на поперечный изгиб с учетом податливости связей проверяют:

прочность элемента по формуле

$$\sigma = \frac{M}{k_w \cdot W_u} \leq R_u, \quad (2.7)$$

где W_u - момент сопротивления поперечного сечения цельного стержня;

k_w - коэффициент, учитывающий податливость связей.

прогиб элемента по формуле

$$f_n \leq \left[\frac{f}{k_{жс}} \right] \quad (2.8)$$

$k_{жс}$ – табличное значение коэффициента, учитывающего снижение расчетного момента инерции вследствие податливости связей.

Количество связей определяют по формуле:

$$n_c = \frac{1,2 M_{\max} \cdot S}{I \cdot T_c} \quad (2.9)$$

Метод расчета сжато-изгибаемых элементов составного сечения на податливых связях остается таким же, как и элементов цельного сечения, но в формулах дополнительно учитывается податливость связей.

При расчете в плоскости изгиба составной элемент испытывает сложное сопротивление и податливость связей учитывается дважды: введением коэффициента k_w , такого же, как при расчете составных элементов на поперечный изгиб; вычислением коэффициента ξ с учетом приведенной

гибкости элемента.

$$\sigma = \frac{N}{F_{нт}} + \frac{M_d}{W_{нт} \cdot k_w} \leq R_c. \quad (2.10)$$

Здесь количество связей определяют по формуле:

$$n_c = \frac{1,2M_{\max} \cdot S}{I \cdot T_c \cdot \xi}, \quad (2.11)$$

где ξ определяют по формуле (2.3).

S - статический момент ветви относительно нейтральной оси;

T_c - несущая способность связи.

Балки на пластинчатых нагелях это пример составного элемента на податливых связях.

Расчет производят по двум группам предельных состояний.

По первой группе предельных состояний определяют прочность в сечении балки, предварительно подобрав его. Кроме этого определяют количество пластинчатых нагелей.

По второй группе предельных состояний определяют прогиб балки с учетом податливости связей.

Задача 2.3. Дано: Пролет балки 5,5 м. расчетная погонная нагрузка $q_p = 9,2 \text{ кН/м}$. Порода древесины – сосна 2-го сорта. Условия эксплуатации - 2. Подобрать сечение балки на пластинчатых нагелях (рис. 2.6).

Решение

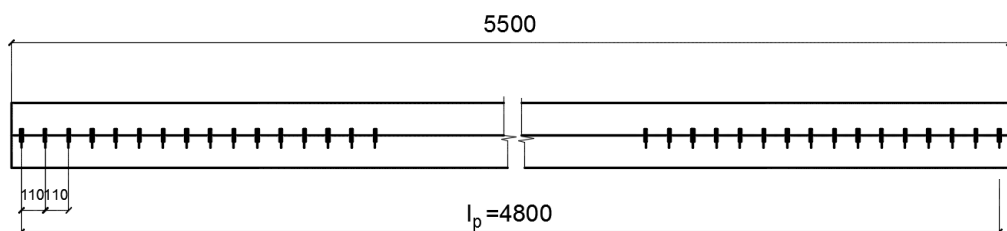


Рис. 2.6. Балка на пластинчатых нагелях

Максимальный изгибающий момент в середине пролета балки:

$$M = \frac{q_p l^2}{8} = \frac{9,2 \cdot 4,8^2}{8} = 26,5 \text{ кН} \cdot \text{м},$$

где l_p – расчетный пролет балки, определяемый исходя из глубины опирания балки на опоры $l_p = l - 20 - a/2 = 5,5 - 20 - 60 = 4,8 \text{ м}$;

Максимальная поперечная сила на опоре балки:

$$Q = \frac{q_p l}{2} = \frac{9,2 \cdot 4,8}{2} = 36 \text{ кН}.$$

Определяем требуемый момент сопротивления поперечного сечения балки

$$W_{mp} = \frac{M}{R_u} = \frac{26,5}{19,5 \cdot 0,66} = 2059,0 \text{ см}^3,$$

Задаемся шириной сечения $b=150 \text{ мм}$

Определяем требуемую высоту сечения:

$$h = \sqrt{\frac{6W_{mp}}{b}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 2059,0}{15}} = 28,7 \text{ см},$$

Принимаем сечение из брусьев высотой $h_{бр}=175 \text{ мм}$, уложенных друг на друга.

Момент инерции сплошного сечения при $b=150 \text{ мм}$ и $h=300 \text{ мм}$ равен

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{15 \cdot 35^3}{12} = 53593,7 \text{ см}^4.$$

Момент сопротивления сплошного сечения равен

$$W = \frac{bh^2}{6} = \frac{15 \cdot 35^2}{6} = 3062,5 \text{ см}^3.$$

Проверяем прочность подобранного сечения по нормальным напряжениям с учетом податливости связей:

$$\sigma = \frac{M}{W_u \cdot k_w} = \frac{265000}{3062,5 \cdot 0,9} = 77,8 \text{ кг/см}^2 \leq 195 \cdot 0,66 \cdot 0,9 = 116 \text{ кг/см}^2.$$

где k_w - коэффициент, учитывающий снижение несущей способности за счет податливости связей (табл. 2.6), $m_b=0,9$ (табл. 1.8), $m_{дл}=0,66$ (1.6)

Прогиб балки с учетом податливости связей

$$\frac{f_x}{l} = \frac{5 q^n l^3}{384 I \cdot k_{жс} E} = \frac{5 \cdot 9,2/1,1 \cdot 480^3}{384 \cdot 53593,7 \cdot 0,75 \cdot 100000} = 0,003 \text{ см} < 480/200 = 2,4 \text{ см}.$$

где $k_{жс}$ - коэффициент, определяемый (табл. 2.6), $k_{жс}=0,75$.

Брусья соединяются между собой пластинчатыми нагелями из березы. Толщину пластинчатого нагеля принимаем $\delta_{пл}=12 \text{ мм}$. Пластинки устанавливаются в сквозные гнезда $b_{пл}=15 \text{ см}$, $l_{пл}=5,8 \text{ см}$.

Определяем расчетную несущую способность пластинчатого нагеля:

$$T = 1,5 b_{пл} m_{дл} \cdot m_b = 1,5 \cdot 15 \cdot 0,66 \cdot 0,9 = 13,4 \text{ кН}.$$

Число пластинчатых нагелей на длине $0,4l$ определяем:

$$n_c = \frac{1,2 M_{\max} \cdot S}{I \cdot T_c} = \frac{1,2 \cdot 265000 \cdot 2296,9}{53593,75 \cdot 1340} = 11 \text{ шт}.$$

$$S = \frac{bh^2}{8} = \frac{15 \cdot 35^2}{8} = 2296,9 \text{ см}^3.$$

Принимаем 16 пластинчатых нагелей на длине $0,4l$. Шаг нагелей принимаем $S_l = 9\delta_{пл} = 9 \cdot 12 = 108 \text{ мм}$. Принимаем 110 мм .

Определяем количество пластинок, которое можно разместить на длине $0,4l$: $0,4l/S_1=192/110 = 17 > 11$ шт.

Расчет элементов составного сечения, работающих на продольный изгиб

В деревянных конструкциях, в которых сечение отдельных элементов превышает размеры сортамента цельной древесины, применяются различного рода составные сечения, состоящие из нескольких параллельно расположенных ветвей, соединенных между собой по длине различными связями. Такими элементами могут быть колонны, стойки, пояса и раскосы ферм (сжатые элементы), балки из двух или трех брусьев (изгибаемые элементы), верхние пояса ферм, внецентренно - нагруженные колонны (сжато – изгибаемые элементы).

Особенностью расчета таких элементов является учет влияния податливости связей. В составных элементах под нагрузкой ввиду податливости связей происходят частичные взаимные смещения ветвей вдоль рабочих швов. Вследствие чего повышается деформация составного стержня, снижается его несущая способность.

Составные стержни по конструктивным и расчетным особенностям разбиты на три основных типа;

стержни-пакеты, состоящие из ветвей одинаковой длины, и загружены равной сжимающей силой (рис. 1.8а); стержни с короткими накладками (рис.1.8б); стержни со сплошными прокладками (рис.1.8в) и накладками (рис.1.8г), т.е. которые не доходят до опорных концов стержня и не воспринимают сжимающих усилий (рис.1.8б).

В общем случае гибкость составного стержня относительно оси, параллельной плоскостям сплачивания, и с учетом податливости связей подсчитывается по формуле:

$$\lambda = \sqrt{(\mu_y \cdot \lambda_y)^2 + \lambda_1^2}, \quad (2.12)$$

где λ_y — гибкость всего элемента относительно оси y , вычисленная по расчетной длине элемента l_1 без учета податливости;

четной длине ветви l_1 ;

μ_y — коэффициент приведения гибкости, определяемый по формуле

$$\mu = \sqrt{1 + k_c \cdot \frac{bhn_{\text{шг}}}{l_0^2 \cdot n_c}}, \quad (2.13)$$

λ_1 – гибкость отдельной ветви относительно оси y - y , вычисленная по рас

где k_c – коэффициент податливости соединений, определяемый по табл. 2.7.

b и h – полная ширина и высота поперечного сечения элемента, см;

$n_{шв.}$ – число швов сдвига между ветвями составного стержня;

l_0 – расчетная длина элемента, м;

n_c – расчетное количество срезов связей в одном шве на 1 пог. м элемента.

При определении k_c диаметр гвоздей следует принимать не более 0,1 толщины соединяемых элементов. Если размер заземленных концов гвоздей менее $4d$, то срезы в примыкающих к ним швах в расчете не учитывают. Значение k_c соединений на стальных цилиндрических нагелях следует определять по толщине a более тонкого из соединяемых элементов.

При определении k_c диаметр дубовых цилиндрических нагелей следует принимать не более 0,25 толщины более тонкого из соединяемых элементов.

Стержни – пакеты

Расчет относительно оси y - y , параллельной швам сдвига, ведется с учетом податливости связей (рис.10а).

Коэффициент продольного изгиба определяют по приведенной гибкости:

$$\lambda_{п} = \mu \lambda_y; \quad (2.14)$$

μ – коэффициент, учитывающий податливость связей;

λ_y – гибкость стержня, как для цельного сечения.

Гибкость отдельной ветви относительно собственной оси при $l_1 \leq 7\delta$.

Расчет относительно оси x – x производится как для цельного сечения.

Стержни с короткими накладками

Длинные ветви опираются по концам и воспринимают сжимающее усилие (рис.10.б). Расстояние между прокладками назначается с таким расчетом, чтобы гибкость отдельной ветви, расчетная длина которой принимается расстоянию l_1 между крайними связями прокладок, не превышала приведенной гибкости всего стержня. Приведенную гибкость определяем по:

$$\lambda_n = \sqrt{(\mu_y \cdot \lambda_y)^2 + \lambda_1^2}, \quad (2.15)$$

где $\lambda_1 = \frac{l_1}{r_1}$ – гибкость отдельной ветви, определяемой по свободной длине, равной расстоянию между крайними связями прокладок и радиусу инерции r_1 относительно своей оси, параллельной оси y - y

Расчет относительно оси x – x производится, как для стержня цельного сечения без учета прокладок.

Стержни, часть которых не оперты по концам (рис. 1.8в)

При расчете относительно оси у-у гибкость стержня, как цельного элемента определяют:

$$\lambda_y = l_0/r_y; \quad (2.16)$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{F_{on}}} \text{ или } r = 0,289h, \quad (2.17)$$

где I_y – момент инерции всех ветвей относительно оси у-у;

F – суммарная площадь ветвей только опертых ветвей.

Расчет производят относительно двух осей (х, у), подставляя в формулу вместо коэффициента φ соответствующие значение φ_x или φ_y . Коэффициенты φ_x и φ_y зависят соответственно от гибкостей λ_x и λ_y и подсчитываются, как для центрально-сжатых цельных стержней.

При расчете относительно оси у-у гибкость стержня, как цельного элемента определяют:

Приведенная гибкость с учетом податливости связей равна:

$$\lambda_n = \mu \lambda_y. \quad (2.18)$$

Расчет относительно оси х-х производится по гибкости, определяемой по формуле

$$\lambda_x = l_0/r_x. \quad (2.19)$$

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{F_{on}}}, \quad (2.20)$$

Момент инерции в этой формуле определяется по приближенной формуле:

$$I_x = I_{on.} + 0,5 I_{н.оп.}, \quad (2.21)$$

где $I_{on.}$ - момент инерции поперечного сечения опертых ветвей относительно оси х-х; $I_{н.оп.}$ – то же неопертых ветвей; 0,5 – коэффициент, учитывающий неполное использованием жесткости неопертых ветвей, соединенных с основными ветвями податливыми связями.

Задача 2.4. Дано: Центральнo – сжатый составной стержень – пакет, защищенный от увлажнения, нагружен нагрузкой $N=25,8$ тн. Стержень состоит из трех сосновых досок сечением 8×20 см каждая (рис.2.7). Длина каждого стержня $l=4,0$ м. Закрепление – шарнирное. Доски соединены гвоздями $d=0,5$ см. Гвозди забиты с шагом 20 см по 4 гвоздя в ряду. Требуется проверить устойчивость стержня.

Решение

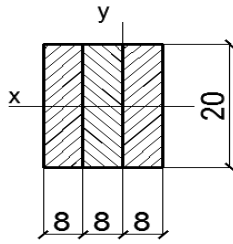


Рис. 2.7 Сечение составного стержня - пакета

Проверка устойчивости относительно оси у-у:

$$I_y = \frac{bh^3}{12} = \frac{20 \cdot 24^3}{12} = 23040 \text{ см}^4,$$

радиус инерции

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{F_{on}}} = \sqrt{\frac{23040}{20 \cdot 24}} = 6,93 \text{ см.}$$

гибкость цельного сечения (без учета податливости связей):

$$\lambda_y = l_0/r_y = 400/6,93 = 57,7;$$

коэффициент приведенной гибкости:

$$\mu = \sqrt{1 + k_c \cdot \frac{bhn_{ув}}{l_0^2 \cdot n_c}} = \sqrt{1 + 0,4 \frac{20 \cdot 24 \cdot 2}{4^2 \cdot 20}} = 1,48, \text{ где } k_c = 1/(10 \cdot d^2) = 1/(10 \cdot 0,5^2) = 0,4$$

k_c - табл. 1.17

$$n_c = 100 \cdot 4 / 20 = 20 \text{ шт.}; n_{ув} = 2.$$

приведенная гибкость $\lambda_n = \mu \lambda_y = 1,48 \cdot 57,7 = 85,4.$

Коэффициент продольного изгиба определяем по формуле (1.5):

$$\varphi = 3000/\lambda^2 = 3000/85,3^2 = 0,425.$$

Устойчивость стержня определяем:

$$\frac{N}{F_{расч} \cdot \varphi} = \frac{25800}{480 \cdot 0,425} = 127 \leq 195 \cdot 0,66 = 128,6 \text{ кг / см}^2$$

Производим расчет по оси x-x:

радиус инерции: $r_x = 0,289 \cdot 20 = 5,78 \text{ см.}$

гибкость стержня: $\lambda_x = l_0/r_x = 400/5,78 = 69,2 < \lambda_n = 85,3.$

Так как гибкость стержня относительно оси x-x оказалась меньше приведенной гибкости относительно оси у-у, то дальнейшая проверка устойчивости не делается.

Общее количество гвоздей, забиваемых с обеих сторон стержня, будет равно:

$$n_{зв} = 2 \cdot \left(\frac{400 - 2 \cdot 10}{20} + 1 \right) \cdot 4 = 160 \text{ шт.}$$

Задача 1.13. Дано: проверить устойчивость центрально сжатого составного стержня, состоящего из двух досок сечением $7,5 \times 18$ см и сплошной прокладки сечением $7,5 \times 13,5$ см. $N=22$ тн. (рис. 2.8). Длина стержня $l=4,8$ м. Закрепление концов – шарнирное. Материал – лиственница. Доски соединены гвоздями $0,55$ см. Определить количество гвоздей.

Решение

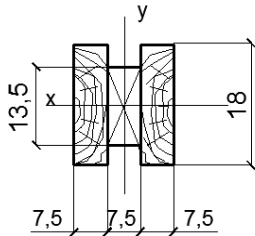


Рис. 2.8 Сечение составного стержня со сплошной прокладкой

Проверяем устойчивость относительно оси y - y площадь поперечного сечения опертых стержней

$$F = 2 \cdot 7,5 \cdot 18 = 270 \text{ см}^2;$$

момент инерции, радиус инерции и гибкость цельного сечения определяем:

$$I_y = \frac{bh_{\text{общ}}^3}{12} - 2 \cdot \frac{bh^3}{12} = \frac{18 \cdot 22,5^3}{12} - 2 \frac{2,25 \cdot 7,5^3}{12} = 16928 \text{ см}^4;$$

$$r = \sqrt{\frac{I_y}{F_{\text{он}}}} = \sqrt{\frac{16928}{270}} = 7,91 \text{ см}; \quad \lambda_y = l_0/r = 450/7,91 = 57.$$

Из условия полного использования напряжения сжатия в стержнях находим требуемое значение коэффициента φ_y :

$$\varphi_y = \frac{N}{F_{\text{расч}} \cdot R_c} = \frac{22000}{270 \cdot 154,4} = 0,53,$$

где $R_c = 195 \cdot 0,66 \cdot 1,2 = 154,4 \text{ кг/см}^2$ – расчетное сопротивление для лиственницы (табл.1.9).

Зададимся величиной приведенной гибкости, например $\lambda_n = 70$, определим

$$\mu = \frac{\lambda_n}{\lambda_y} = \frac{70}{57} = 1,23.$$

коэффициент приведенной гибкости:

$$\mu = \sqrt{1 + k_c \cdot \frac{bhn_{ув}}{l_0^2 \cdot n_c}} = \sqrt{1 + 0,33 \frac{18 \cdot 22,5 \cdot 2}{4,5^2 \cdot n_c}} = 1,23$$

где $k_c = 1/(10 \cdot d^2) = 1/(10 \cdot 0,55^2) = 0,33$

k_c - табл. 1.17

Исходя из формулы (1.28) определяем n_c :

$$n_c = \frac{k_c bhn_u}{l^2 (\mu^2 - 1)} = \frac{0,33 \cdot 18 \cdot 22,5 \cdot 2}{4,8^2 \cdot (1,23^2 - 1)} \approx 24 \text{шт} / \text{м},$$

Длину заземления гвоздя определяем по требованиям расстановки гвоздей:

$$l_{защ} = 2 \cdot 7,5 + 2 \cdot 0,2 + 1,5 \cdot 0,55 + 4 \cdot 0,55 = 17,42 \text{ см}.$$

Принимаем гвозди длиной 17,5 см. Гвозди забиваем рядами, поочередно с одной и с другой стороны стержня.

Задача 1.14. Дано: рассчитать опорный сжатый подкос фермы, состоящий из трех досок сечением 5×20 см с промежутками между ними в 5 см (рис.2.9). Доски сплачивают между собой короткими прокладками на гвоздях. Усилие $N=14,5$ тн. Длина стержня $l=4,1$ м. Закрепление концов – шарнирное. Материал – сосна.

Решение

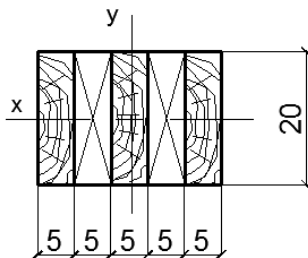


Рис. 2.9 Сечение составного стержня с короткими прокладками

Размещаем прокладки и гвозди. Обычно расстояние в осях между прокладками принимается в пределах 60-100 см. из условия, чтобы гибкость отдельной ветви была не больше общей гибкости стержня.

По длине стержня ставим 5 прокладок на равных расстояниях друг от друга и на расстоянии 30 см от центра крайних прокладок до концов стержня. Длину прокладок назначаем равной 30см, что позволит разместить на каждой из них по два ряда гвоздей. Длина отдельной ветви (расстояние между гвоздями прокладок) получается равной $l_1=70$ см.

Гвозди принимаем $d=0,5$ см, $l_{зв}=15,0$ см.

Проверка устойчивости по оси у-у:

Площадь сечения стержня $F=3 \cdot 5 \cdot 20=300 \text{ см}^2$;

Момент инерции:

$$I_y = \frac{20 \cdot 5^3}{12} + 2 \times \left(\frac{20 \cdot 5^3}{12} + 20 \cdot 5 \cdot 10^2 \right) = 20624 \text{ см}^4;$$

радиус инерции:

$$r = \sqrt{\frac{I_y}{F_{on}}} = \sqrt{\frac{20624}{300}} = 8,3 \text{ см};$$

гибкость всего стержня без учета податливости связей:

$$\lambda_{ц} = l_0/r = 410/8,3 = 49,4;$$

радиус инерции отдельной ветви:

$$r_1 = 0,29 \cdot h = 0,29 \cdot 5 = 1,45 \text{ см};$$

гибкость отдельной ветви:

$$\lambda_1 = l_1/r_1 = 70/1,45 = 48,2.$$

Для полного использования напряжения сжатия в стержне минимальное значение коэффициента продольного изгиба получаем из формулы:

$$\varphi_{мин} = \frac{N}{F_{расч} \cdot R_c} = \frac{14500}{300 \cdot 195 \cdot 0,66} = 0,375.$$

По графику рис. 1.25 определяем гибкость стержня:

$$\lambda_{макс} = 93 > \lambda_1 = 48,2 \text{ считаем } \lambda_{макс} = \lambda_{прив} = 93.$$

Из формулы 33 определяем μ :

$$\mu^2 = \frac{\lambda_{пр}^2 - \lambda_1^2}{\lambda_{ц}^2} = \frac{93^2 - 48,2^2}{49,4^2} = 2,61.$$

Коэффициент податливости соединения (табл. 1.17), где:

$$k_c = 1/(10 \cdot d^2) = 1/(10 \cdot 0,5^2) = 0,4$$

Количество срезов гвоздей в одном шве на 1 п.м. получаем из формулы (2.11):

$$n_c = \frac{k_c b h n_{ш}}{l^2 (\mu^2 - 1)} = \frac{0,4 \cdot 20 \cdot 25 \cdot 4}{4,1^2 \cdot (2,61^2 - 1)} = 8 \text{ шт/м}.$$

Полное количество гвоздей по всей длине подкоса, забиваемых с одной стороны:

$$n_c l = 8 \cdot 4,1 = 33,6 \text{ шт}.$$

В каждую прокладку забиваем $33,62:5=6,7$, принимаем по 8 гвоздей и размещаем их в два ряда по 4шт. Такое же количество гвоздей забиваем с другой стороны подкоса.

2.3. Справочный материал для выполнения практического задания №2

Таблица 2.5 – Значения коэффициентов k_{Φ} , учитывающего переменность высоты сечения, для расчетов на устойчивость плоской формы деформирования

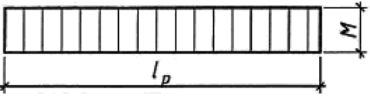
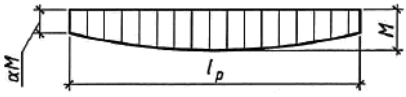
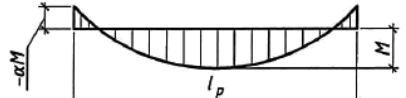
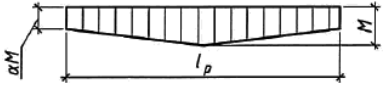
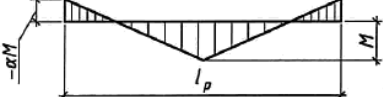

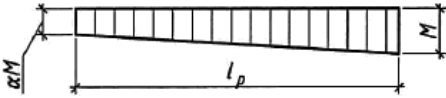

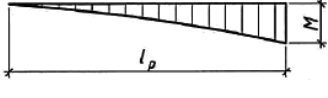
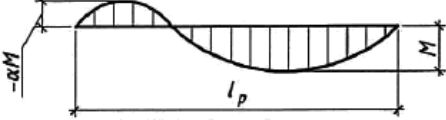
Форма эпюры моментов	Коэффициент k_{Φ}	
	при закреплении только по концам участка l_p	при закреплении по концам и по растянутой от момента M кромки
	1	1
	$1,13-0,13 \alpha$ $0 \leq \alpha \leq 1$	$1,13-0,13 \alpha$ $0 \leq \alpha \leq 1$
	$1,13- \alpha \times (0,12+0,02 \alpha)$ $-2 \leq \alpha \leq 0$	$1,13- \alpha \times (0,12+0,02 \alpha)$ $-2 \leq \alpha \leq 0$
	$1,35-0,35 \alpha$ $0 \leq \alpha \leq 1$	$1,35-0,35 \alpha$ $0 \leq \alpha \leq 1$
	$1,35-0,35 \alpha$ $-1 \leq \alpha \leq 0$	$4/(3+ \alpha)$ $-1 \leq \alpha \leq 0$
	$1,35+1,45(c/l_p)^2$	$1,35+0,3(c/l_p)$
	$1,75-0,75 \alpha$ $0 \leq \alpha \leq 1$	$3/(2+ \alpha)$ $0 \leq \alpha \leq 1$
	$1,75-0,75 \alpha$ $-1 \leq \alpha \leq 0$	$3/(2+ \alpha)$ $-2 \leq \alpha \leq 0$
	2,54	2,32
	$1,13- \alpha \times (1,4+1,27 \alpha)$ $-1 \leq \alpha \leq 0$	$1,13- \alpha \times (0,57+0,2 \alpha)$ $-1 \leq \alpha \leq 0$

Таблица 2.6 – Значение коэффициента k_w и $k_{ж}$

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

П р и м е ч а н и я
 1 Для промежуточных значений величины пролета и числа слоев коэффициенты определяются интерполяцией.

Таблица 2.7 – Значение коэффициента k_c

Вид связей	Коэффициент k_c при	
	центральном 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 элемешов б) диаметром $> 1/7$ толщины соединяемых элементов	$\frac{1}{5d^2}$ $\frac{1}{1.5ad}$	$\frac{1}{2.5d^2}$ $\frac{3}{1.5ad}$
3. Дубовые цилиндрические нагели	$\frac{1}{d^2}$	$\frac{1.5}{d^2}$
4. Дубовые цилиндрические нагели	-	$\frac{1.4}{\delta b_n}$
5. Клеи	0	0

2.4. Методические рекомендации к практическим занятиям №1, №2

Для лучшего усвоения студентом методики расчетов деревянных элементов на вышеуказанные напряженно-деформированные состояниям (НДС) необходимо:

- обязательное повторение лекционного материала по заявленной тематике;
- определение необходимых нормативных данных (данные с СП);
- ознакомление с алгоритмом решения подобных задач, приведенных в справочной и учебной литературе, методических рекомендациях;
- обоснование целесообразности (предпочтительности) принимаемых решений;
- произвести сопоставительный анализ различных альтернативных решений с изменением породы древесины, температурно-влажностных

условий.

На практических занятиях преподаватель рассматривает основные типы задач по рассматриваемой тематике.

Для закрепления практического занятия необходимо, чтобы студенты самостоятельно, но под руководством преподавателя могли решать задачи по заявленным НДС. Для этого задачи с определенным вариантом выдаются преподавателем группам из трех человек для самостоятельного решения. Отчет по практическим работам представляется преподавателю в конце семестра. Студенты заочной формы обучения рассматривают и решают задания на практических занятиях с помощью преподавателя. Задачи, решаемые на практических занятиях, студенты используют при разработке курсового проекта.

Для выполнения задания необходимо использовать:

1. СП 64.13330.2017 Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80: АО "НИЦ "Строительство" – ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. - С. 102;
2. Г.Н. Зубарев, Ф.А. Бойтемиров, В.М. Головина, В.И. Ковликов, Э.М. Улицкая Конструкции из дерева и пластмасс. Учеб. пособие для студ. вузов / Под ред. Ю.Н. Хромца.— 3-е изд., перераб. и доп. — Москва: Издательский центр «Академия», 2004. — 304 с.
3. Горшков А.Г. и др. Сопротивление материалов. Москва: Физматлит, 2005.
4. Проектирование и расчет деревянных конструкций: Справочник / И.М. Гринь, В.В. Фурсов, Д.М. Бабушкин и др.; под ред. И.М. Гриня. - Киев: Будивэльник, 1988.- 240 с.

3. Практическое занятие №3

Тема: Расчет соединений деревянных элементов

Цель: приобретение студентом практических навыков расчета и конструирования врубок, соединений на нагелях, клеенных стержнях.

В результате данного практического занятия студент должен:

- **знать** методы расчета соединений деревянных конструкций.
- **уметь** рассчитывать опорные, карнизные и промежуточные узлы деревянных конструкций, производить расчет гвоздевых, болтовых соединений, соединений, работающих на выдергивание.

3.1. Задания для практического занятия №3

Задания для расчета лобовой врубки

Рассчитать лобовую врубку, изображенную на рис. 3.1.

Таблица 3.1 – Исходные данные для расчета лобовой врубки

№ варианта	Исходные данные						
	R, кН	Угол α , град	b, мм	h, мм	порода	сорт	t-w условия
1	90	49	150	175	Бук	2	1
2	80	35	125	180	Береза	1	1
3	70	48	150	250	Сосна	2	2
4	60	45	150	180	Лиственница	3	3
5	100	43	175	250	Ясень	2	1
6	90	37	150	225	Тополь	1	2
7	100	35	150	180	Пихта	2	3
8	70	50	175	200	Вяз	3	1
9	90	45	175	185	акация	1	2
10	120	35	200	200	граб	2	1

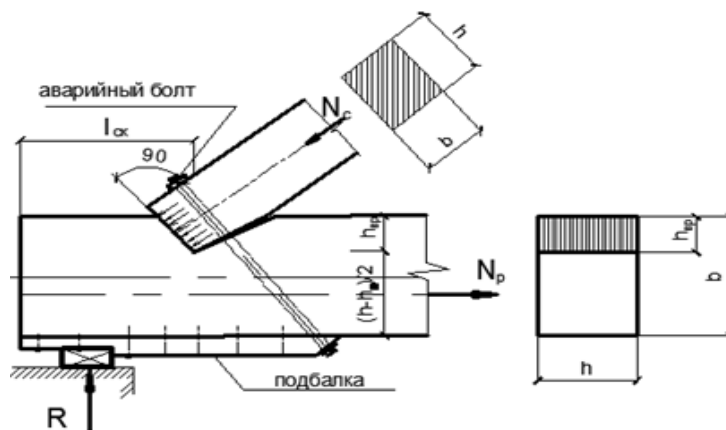


Рис. 3.1. Опорный узел фермы, выполненный лобовой вружкой

Задание выполняется в следующем порядке:

1. Определение усилий, действующих в верхнем и нижнем поясах фермы;
2. Определение геометрических размеров поясов фермы;
3. Определение глубины врубки нижнего пояса;
4. Определение площадки и прочности скалывания с учетом породы древесины, температурно-влажностных условий
5. Определение прочности площадки смятия с учетом породы древесины, температурно-влажностных условий.
6. Расчёт нижнего растянутого пояса на прочность с учетом ослабления.

Задания для расчета болтовых и гвоздевых соединений

а) Определить количество нагелей в соединении.

Таблица 3.2 – Исходные данные для расчета нагельного соединения

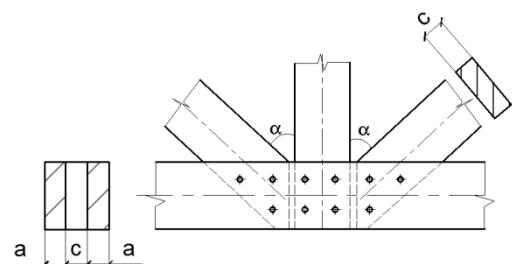
№ вар.	Исходные данные					
	N, кН	Тип соединения	Вид соединения	Порода древесины	Материал нагеля	t/w/сорт
1	2	3	4	5	6	7
1	70	гвоздевое	2-х срезное	сосна	сталь	2/2
2	90	гвоздевое	4-х срезное	ель	алюминий	1/2
3	100	болтовое	односрезное	лиственница	стеклопластик	2/3
4	120	гвоздевое	4-х срезное	кедр	сталь	1/1
5	130	болтовое	2-х срезное	ольха	алюминий	2/3
6	140	гвоздевое	4-х срезное	пихта	стеклопластик	1/1
7	150	болтовое	2-х срезное	сосна	алюминий	2/3
8	160	болтовое	односрезное	листвен.	сталь	2/2
9	80	болтовое	2-х срезное	пихта	дуб	1/1
10	110	гвоздевое	4-х срезное	ель	древесный пластик	2/2
11	100	болтовое	4-х срезное	бук	алюминий	1/1
12	120	гвоздевое	2-х срезное	тополь	стеклопластик	2/3
13	130	болтовое	односрезное	вяз	сталь	2/2
14	140	болтовое	4-х срезное	граб	алюминий	1/1
15	150	гвоздевое	4-х срезное	бук	древесный пластик	2/3
16	160	болтовое	2-х срезное	сосна	алюминий	1/1
17	80	болтовое	односрезное	ель	стеклопластик	2/2
18	110	гвоздевое	4-х срезное	листвен.	сталь	2/3
19	70	болтовое	2-х срезное	кедр	алюминий	2/2
20	90	болтовое	4-х срезное	ольха	алюминий	2/2

б). Определить несущую способность болтового соединения

Таблица 3.3 – Исходные данные для расчета нагельных соединений

№ Вар.	Исходные данные						
	рисунок	α °	Толщина		Материал нагеля	t-w условия	Порода древесины
			a, мм	c, мм			
1	2.2a	60	75	50	Сталь	1	бук
2	2.2a	45	50	75	Алюминий	2	тополь
3	2.2б	51	75	50	Сталь	2	вяз
4	2.2a	25	50	60	Стеклопластик	1	граб
5	2.2б	38	60	50	Алюминий	3	бук
6	2.2a	42	60	50	Стеклопластик	2	сосна
7	2.2б	28	60	60	Стеклопластик	1	ель
8	2.2б	35	50	40	Алюминий	2	сосна
9	2.2б	48	40	40	Стеклопластик	3	ель
10	2.2a	50	55	60	Стеклопластик	1	лиственница

а)



б)

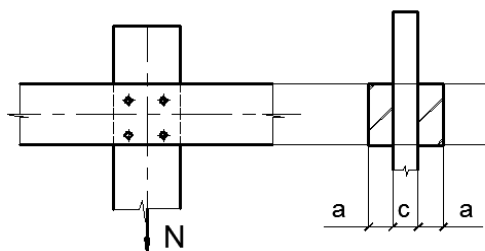


Рис. 3.2 К расчету нагельных соединений

Задания выполняется в следующем порядке:

1. Определить расчетные несущие способности на смятие древесины в нагельном гнезде на смятие крайних элементов, на смятие средних элементов, на изгиб нагеля.
2. Определить количество нагелей или несущей способности соединения;
3. За конструировать данное соединение.

Задания для расчета соединений, работающих на выдергивание

Определить расчетную несущую способность гвоздя, забитого в древесину (рис. 3.3).

Таблица 3.4 – Исходные данные для расчета соединений, работающих на выдергивание

№ вар.	Исходные данные					
	а, мм	с, мм	Тип связей	п, шт	t-w условия	порода
1	15	150	гвоздь	2	2	граб
2	21	200	шуруп	1	2	бук
3	17	180	гвоздь	3	1	сосна
4	19	200	шуруп	3	3	ель
5	20	185	гвоздь	2	1	тополь
6	15	220	шуруп	1	2	сосна
7	52	200	гвоздь	1	1	ель
8	15	175	шуруп	2	3	пихта
9	18	180	гвоздь	1	2	сосна
10	19	200	шуруп	3	1	ель

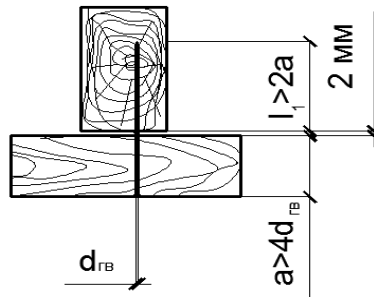


Рис. 3.3 Соединение, работающее на выдергивание

Задания для расчета соединений на клеенных стержнях

Определить в соединении на клеенных стержнях (рис. 3.4):

- количество клеенных стержней (n);
- диаметр стержней (d);
- длину заделываемой части стержня (l) в зависимости от варианта;
- для всех вариантов - расчетную несущую способность клеенного стержня (табл.3.5).

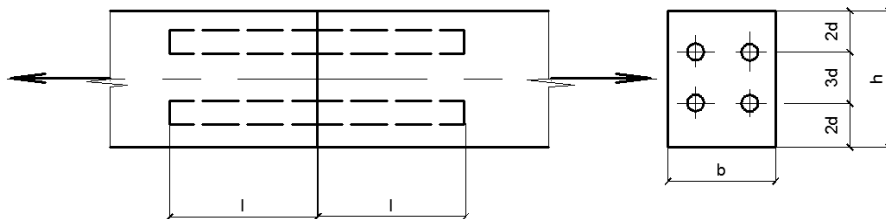


Рис. 3.4 К расчету соединений на клеенных стержнях

Таблица 3.5 – Исходные данные для расчета соединений на вклеенных стержнях

№ Вар.	Исходные данные							
	b×h,мм	N,кН	d,мм	n, шт	l,см	порода	t-w условия/сорт	Что рассчитать
1	150×150	75	-	4	-	граб	1/ 2	d, l
2	200×150	65	18	-	18	бук	2/2	n,
3	180×180	98	22	4	-	сосна	2/3	l
4	200×180	100	-	4	-	ель	2/1	d, l
5	185×185	89	22	4	-	тополь	1/ 2	n,
6	185×200	79	-	2	-	сосна	1/ 2	d, l
7	175×175	88	18	4	-	бук	2/2	L
8	175×200	105	-	6	-	сосна	2/3	d, l
9	180×180	120	20	-	20	ель	2/1	n,
10	200×200	120	-	4	-	пихта	1/ 2	d, l

3.2. Примеры расчета практического занятия №3

Для увеличения размеров деревянных элементов, а также для образования узловых сопряжений применяют следующие способы соединений: сплачивание (в поперечном направлении); сращивание (в продольном направлении); узловые соединения.

По характеру работы все основные соединения деревянных конструкций могут быть разделены на следующие группы:

- а) соединения без специальных связей, требующих расчета, — упоры и врубки;
- б) соединения со связями, работающими на изгиб — нагелями-болтами, штырями, гвоздями, винтами, деревянными нагелями ;
- в) соединения со связями, работающими на растяжение, — болтами, гвоздями, винтами и хомутами;
- г) соединения со связями, работающими на сдвиг, — клеевыми швами.

Все соединения, кроме клеевых, обладают большой податливостью.

Врубки

Врубками и упорами называют соединения, в которых усилия передаются непосредственно упором, приторцовыванием друг к другу брёвен, брусьев или досок. Соединённые на врубках и упорах элементы скрепляют вспомогательными связями-болтами, хомутами, скобами и т. п.

Конструктивные врубки являются соединениями, в которых возникают усилия намного меньше их несущей способности, и они не нуждаются в расчете. В деревянных конструкциях наибольшее применение находят конструктивные соединения в четверть, в шпунт, в полдерева и косою прируб.

Лобовые упоры являются простыми и надежными соединениями, применяемыми в большинстве видов деревянных конструкций для крепления сжатых стержней. Они работают и рассчитываются на смятие, возникающее в

них от действия сжимающих усилий. На растяжение они работать не могут. Лобовые упоры бывают продольными, поперечными и наклонными.

Лобовой врубкой называют такое соединение, когда усилие от одного элемента к другому передается непосредственным упором, (рис. 3.1). Применяется в узловых соединениях брусчатых и бревенчатых фермах.

Лобовые врубки используются для передачи в соединениях только усилий сжатия. Врубаемый стержень верхнего пояса фермы частью обрезанного под прямым углом и срезанного снизу конца «зубом» вводится во врезку в стержне нижнего пояса и упирается в ее рабочую поверхность на $1/3h$. Узкий клиновидный зазор обеспечивает более центрированную передачу сжимаемого усилия N_c на площадку смятия врубки. Врубка должна быть центрирована по осям опоры, верхнего пояса и ослабленного врубкой сечения нижнего пояса, для того чтобы в этом сечении не возникло кроме растяжения еще и изгиба от эксцентриситета растягивающего усилия. Врубка стягивается дополнительно аварийным болтом, который препятствует расхождению стержней в процессе монтажа фермы в случае возникновения в верхнем поясе растяжения. При разрушении врубки от скалывания аварийный болт включается в работу и предотвращает опасность внезапного обрушения фермы. Опорная подбалка, прибиваемая гвоздями, предохраняет нижний пояс от местного смятия на опоре и необходимости устройства в нем ослабляющей его врезки для шайбы аварийного болта.

Расчет лобовой врубки с одним зубом производится:

а) по прочности площадки смятия:

$$\sigma = \frac{N}{F_{см}} \leq R_{см\alpha} m_{дл} m_n m_e, \quad (3.1)$$

$$m_n - \text{табл. 1.7}; \quad m_e - \text{табл. 1.8}; \quad R_c = \text{табл. 1.5};$$

$$m_{дл} = (\text{табл. 1.6}).$$

площадь смятия равна:

$$F_{см} = \frac{h_{вр} \cdot b}{\cos \alpha}. \quad (3.2)$$

$$R_{см\alpha} = \frac{R_{см}}{1 + \left(\frac{R_{см}}{R_{см90}} - 1\right) \cdot \sin^3 \alpha}. \quad (3.3)$$

где $R_{см\alpha}$ - расчетное сопротивление смятию под углом α ;

$R_{см90}$ - расчетное сопротивление смятию поперек волокон (табл. 1.5).

б) по прочности площадки скалывания:

$$\sigma = \frac{N}{F_{ск}} \leq R_{ск}^{cp} m_{дл} m_n m_v, \quad (3.4)$$

$F_{ск}$ - площадь скалывания, равная произведению b на $l_{ск}$.

$R_{ск}^{cp}$ - среднее по площади скалывания расчетное сопротивление древесины скалыванию, определяется:

$$R_{ск}^{cp} = \frac{R_{ск}}{1 + \beta \frac{l_{ск}}{e}}, \quad (3.5)$$

значение коэффициента β принимается равным 0,125, как для одностороннего скалывания, а плечо сил скалывания e - половине высоты нижнего пояса.

в) по прочности ослабленного сечения нижнего растянутого пояса определяется по формуле (1.1):

$$\frac{N}{F_{расч}} \leq R_p \cdot m_{дл} \cdot m_n \cdot m_0.$$

Задача 3.1. Дано: $R=42$ кН; $\alpha=30^\circ$, порода древесины – сосна, $t-w$ условия – I; сорт 2. Рассчитать прочность соединения

Решение

Для определения усилий строим силовой треугольник.

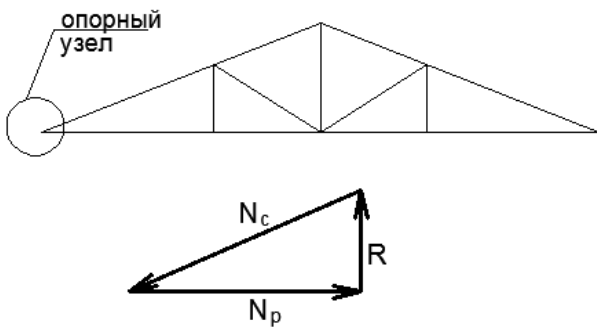


Рис. 3.5. К задаче 2.1 Схема фермы и силовой треугольник

Определяем расчетные усилия в верхнем и нижнем поясах:

$$N_c = \frac{R}{\sin 30^\circ} = \frac{42}{0,5} = 84 \text{ кН};$$

$$N_p = \frac{R}{\text{tg } 30^\circ} = \frac{42}{0,577} = 72,8 \text{ кН}.$$

Определяем геометрические размеры. По сортаменту пиломатериалов задаемся сечением элементов верхнего и нижнего поясов.

Принимаем: $b \times h = 15 \times 18$ см.

Глубина врубки равна $h_{вр} = 1/3 h = 1/3 \cdot 18 = 6$ см.

Длина площадки скалывания :

$$l_{ск}^{mp} \geq 1,5h = 1,5 \cdot 18 = 27 \text{ см};$$

$$l_{ск}^{mp} \leq 1,0h_{вр} = 10 \cdot 6 = 60 \text{ см}.$$

Принимаем $l_{ск} = 45 \text{ см}$.

Из условия смятия древесины расчетную несущую способность врубки определяем по (2.1).

$$\sigma = \frac{N_c}{F_{см}} = \frac{0,084}{0,0103} = 8,15 \text{ МПа} \leq 13,8 \cdot 0,66 = 9,08 \text{ МПа}.$$

$$F_{см} = \frac{h_{вр} \cdot b}{\cos \alpha} = \frac{6 \cdot 15}{\cos 30^\circ} = 103 \text{ см}^2.$$

$$R_{сма} = \frac{R_{см}}{1 + \left(\frac{R_{см}}{R_{см90}} - 1\right) \cdot \sin^3 \alpha} = \frac{19,5}{1 + \left(\frac{19,5}{2,7} - 1\right) \cdot 0,5^3} = 13,8 \text{ МПа}.$$

Расчет врубки на скалывание производим по формуле 2.4

$$\sigma = \frac{N_c}{F_{ск}} = \frac{0,0728}{0,0675} = 1,08 \text{ МПа} \leq 1,96 \cdot 0,66 = 1,3 \text{ МПа}.$$

$$R_{ск}^{сп} = \frac{R_{ск}}{1 + \beta \frac{l_{ск}}{e}} = \frac{3,2}{1 + 0,125 \cdot \frac{0,45}{0,09}} = 1,96 \text{ МПа}.$$

где $R_{ск} = 3,2 \text{ МПа}$, $\beta = 0,125$ – коэффициент для случая одностороннего скалывания.

$$e = 0,5h = 0,5 \cdot 18 = 9 \text{ см}.$$

Проверка нижнего пояса по ослабленному сечению:

$$\sigma = \frac{N}{F_{расч}} = R_p \cdot m_{дл} \cdot m_o.$$

$$\sigma = \frac{N}{F_{расч}} = \frac{0,0728}{0,012} = 6,1 \leq 15 \cdot 0,66 \cdot 0,8 = 8,0 \text{ МПа}.$$

Условие прочности элементов соединения выполнено

Болтовые соединения

Нагелями называются стержни, пластинки или иные вкладыши, препятствующие взаимному сдвигу соединяемых элементов и работающие в основном на изгиб. Нагели бывают пластинчатыми и цилиндрическими. К цилиндрическим нагелям относятся болты, шпильки, штыри, гвозди, шурупы, глухари, их применение в строительстве получило наибольшее распространение. В зависимости от вида материала они могут быть изготовлены из стали, алюминия, стеклопластика или из твердых пород дерева. Болты чаще всего используют при выполнении узловых и стыковых сопряжений элементов.

Несущая способность одного среза болта (кН) зависит от диаметра d , толщины среднего элемента симметричных и более толстого или равного элемента несимметричных соединений c , толщины крайнего элемента симметричных и более тонкого элемента несимметричных соединений a и угла наклона волокон соединяемых элементов α и определяется по формулам табл.2.6.

Расчетную несущую способность нагеля в рассматриваемом шве следует принимать равной меньшему из всех значений, полученных по формулам данной таблицы.

Коэффициенты K_α учитывают меньшую несущую способность болтовых соединений элементов под углом в результате большей податливости древесины при смятии. Они зависят от размеров угла α , диаметра болта d и принимаются по табл.3.7 для основных размеров диаметров, а для промежуточных - по интерполяции.

Чтобы исключить раскалывание древесины, необходимо соблюдать нормы расстановки нагелей. Расстояния между осями цилиндрических нагелей вдоль волокон древесины S_1 , поперек волокон S_2 и от кромки элемента до первого ряда нагелей S_3 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 $S_1 = 4d$; $S_2 = 3d$; $S_3 = 2,5d$; для дубовых нагелей $S_1 = 4d$; $S_2 = S_3 = 2,5d$.

Нагели следует размещать преимущественно в 2 или 4 ряда. Постановка нагелей в середине доски нежелательна из-за возможной усушки.

Гвоздевые соединения

Гвозди забивают в цельную древесину ударами ручного или пневматического молотка. Гвоздь при забивке частично разрывает, а частично раздвигает волокна древесины, образуя в ней отверстие с уплотненными стенками. Благодаря этому он прочно зажимается в древесине и хорошо сопротивляется выдергиванию, однако по этой же причине в ней

возникают дополнительные усилия растяжения поперек волокон. Кроме того, малая изгибная жесткость гвоздей приводит к повышенной ползучести гвоздевых соединений. Расхождению соединений препятствуют стяжные болты.

Расчетную несущую способность гвоздей определяют по 3.6

Расстояние от торца элемента до первого ряда гвоздей во всех случаях должно быть $S_1 \leq 15d$. Расстояние между гвоздями поперек волокон древесины при прямой расстановке гвоздей должно быть $S_2 \leq 4d$, при шахматной расстановке или расстановке косыми рядами под углом 45° это расстояние может быть уменьшено до $S_2 = 3d$. Расстояние S_3 во всех случаях принимается не меньше $4d$.

Диаметр гвоздей должен быть не более $\frac{1}{4}$ толщины пробиваемых элементов.

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 $1,5d$.

Если расчетная длина защемленного гвоздя меньше $4d$, то работу конца гвоздя не учитывают. Количество болтов во всех соединениях, где действует усилие N , определяют по формуле:

$$n = \frac{N}{T_{\text{мин}} \cdot n_{\text{шв}}} \geq 2. \quad (3.6)$$

Задача 3.2. Дано: расчетное усилие $N=40\text{кН}$; стык состоит из двух досок $50 \times 180\text{мм}$. Соединение четырехсрезное (симметричное) (рис 3.6). Толщина элементов: $a=50\text{мм}$, $c=50\text{мм}$. Сорт 2. $t-w=1$. Определить требуемое количество нагелей и длину накладки в 2-х вариантах: а) в болтовом соединении; б) в гвоздевом соединении.

Решение

а) Болтовое соединение

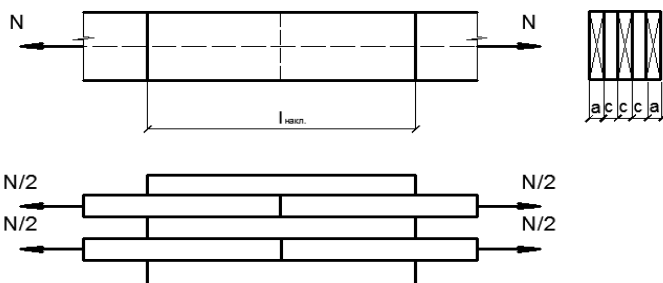


Рис. 3.6. К задаче 3.2

Задаемся диаметром болта $d=16\text{мм}$.

Определяем несущую способность одного болта: по изгибу болта:

$$T_u = (2,2d^2 + 0,025a^2) \cdot 0,66 = (2,2 \cdot 1,6^2 + 0,025 \cdot 5^2) \cdot 0,66 = 4,13 \text{ кН}, \text{ но не более}$$

$$3,1d^2 m_{dl} = 3,1 \cdot 1,6^2 \cdot 0,66 = 5,23 \text{ кН};$$

по смятию древесины в нагельном гнезде среднего элемента

$$T_{cm}^c = 0,5cd = 0,5 \cdot 5 \cdot 1,6 = 4 \text{ кН};$$

по смятию древесины в нагельном гнезде крайнего элемента

$$T_{cm}^a = 0,8ad = 0,8 \cdot 5 \cdot 1,6 = 6,4 \text{ кН}.$$

Принимаем $T_{min} = 4 \text{ кН}$.

Требуемое количество болтов по одну сторону стыка по (2.6):

$$n = \frac{N}{T_{min} \cdot n_{ув}} = \frac{40}{4 \cdot 4} = 2,5 \text{ болта},$$

принимаем 4 болта с каждой стороны.

Расставляем болты и определяем длину накладки (рис. 3.7).

$$S_1 < 7d = 7 \cdot 1,6 = 11,2 \text{ см}; \text{ принимаем } 12,0 \text{ см};$$

$$S_2 < 3,5d = 3,5 \cdot 1,6 = 5,6 \text{ см}; \text{ принимаем } 6,0 \text{ см};$$

$$S_3 < 3d = 3 \cdot 1,6 = 4,8 \text{ см}; \text{ принимаем } 6,0 \text{ см}.$$

Длина накладки 720 мм.

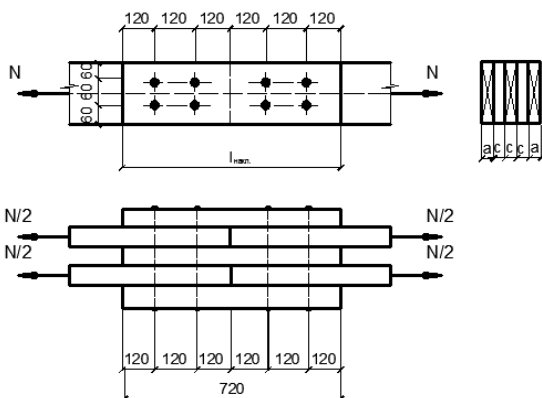


Рис. 3.7 Расстановка болтов в соединении

Напряжение в растянутых досках : $\sigma = \frac{N}{F_{нт}} \leq R_p \cdot m_{dl} \cdot m_0,$

$$\sigma = \frac{N}{F_{нт}} = \frac{4000}{2 \cdot 5 \cdot (18 - 2 \cdot 1,6)} = 27 \leq 10,5 \cdot 0,66 \cdot 0,8 = 55,4 \text{ кг} / \text{см}^2.$$

Принимаем диаметр гвоздей из условия $d_{зв} \leq 1/4$ толщины пробиваемых элементов. Принимаем $d = 5 \text{ мм} \leq 0,25 \cdot 50 = 12,5 \text{ мм}$. Длина гвоздя 150 мм .

Определяем расчетную длину заземления гвоздя:

$$l_{зв} = 4d + \sum a, c + 2 \cdot n_{ув} + 1,5d_{зв} = 4 \cdot 5 + 2 \cdot 50 + 2 \cdot 2 + 1,5 \cdot 5 = 131,5 \leq 150 \text{ мм}.$$

Расчетная несущая способность гвоздя

$$T_u = (3,1d^2 + 0,012a^2) \cdot 0,66 = (3,1 \cdot 0,5^2 + 0,012 \cdot 0,5^2) = 0,51 \text{ кН}; \text{ но не более}$$

$$5 \cdot 0,5^2 \cdot 0,66 = 0,82 \text{ кН};$$

$$T^c_{cm} = 0,5cd = 0,5 \cdot 5 \cdot 0,5 = 1,25 \text{ кН};$$

$$T^a_{cm} = 0,8ad = 0,8 \cdot 5 \cdot 0,5 = 2,0 \text{ кН}.$$

Количество гвоздей

$$n = \frac{N}{T_{\min} \cdot n_{ув}} = \frac{40}{0,88 \cdot 2} = 22,7 \text{ шт.}$$

Принимаем 24 шт.

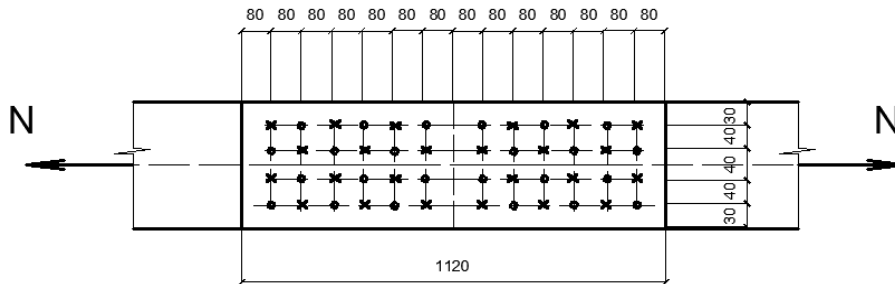


Рис. 3.8. Расстановка гвоздей в соединении

Гвозди размещаем прямыми рядами:

$$S_1 < 15d = 15 \cdot 0,5 = 7,5 \text{ см}; \text{ принимаем } 8,0 \text{ см};$$

$$S_2 < 4d = 4 \cdot 0,5 = 2,0 \text{ см}; \text{ принимаем } 4,0 \text{ см};$$

$$S_3 < 4d = 4 \cdot 0,5 = 2,0 \text{ см}; \text{ принимаем } 3,0 \text{ см (рис. 3.8).}$$

Проверяем сечение на действие растягивающих напряжений с учетом ослабленного сечения 4-мя гвоздями:

$$\sigma = \frac{N}{F_{нт}} = \frac{4000}{2 \cdot 5 \cdot (18 - 4 \cdot 0,5)} = 25 \text{ кг} / \text{см}^2 \leq 10,5 \cdot 0,8 \cdot 0,66 = 55,4 \text{ кг} / \text{см}^2.$$

Условие прочности соблюдается.

Задача 3.3. Дано: Порода древесины – лиственница, *t-w* условия -2; сорт 2. Определить несущую способность болтового соединения (рис. 3.9).

Решение

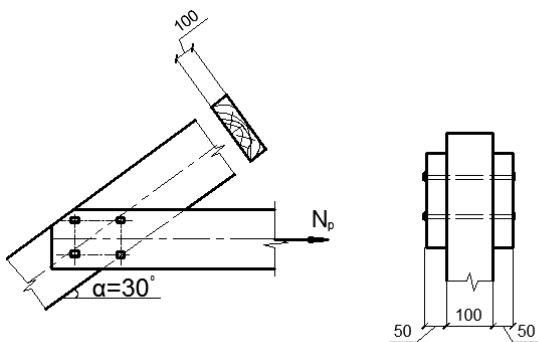


Рис. 3.9. К задаче 3.3

Принимаем диаметр болтов- 20мм.

Т.к . усилие действует под углом 30° , то для болта $d=20 \text{ мм}$ - $k_\alpha=0,9$ (табл. 2.7).

Определяем несущую способность 1 болта: по изгибу болта:

$$T_u = ((2,2d^2 + 0,025a^2) \cdot \sqrt{k_\alpha \cdot m_n \cdot m_g}) \cdot m_{dl} = ((2,2 \cdot 2^2 + 0,025 \cdot 2^2) \cdot \sqrt{0,9 \cdot 1,2 \cdot 0,9}) \cdot 0,66 = 5,8 \text{ кН};$$

$$\text{но не более } 3,1d^2 m_{dl} = 3,1 \cdot 2^2 \cdot 0,66 = 8,1 \text{ кН};$$

по смятию древесины в нагельном гнезде среднего элемента:

$$T_{cm}^c = 0,5cd \cdot k_\alpha \cdot m_n \cdot m_g = 0,5 \cdot 10 \cdot 2 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 1,2 = 9,72 \text{ кН};$$

по смятию древесины в нагельном гнезде среднего элемента

$$T_{cm}^a = 0,8ad \cdot k_\alpha \cdot m_n \cdot m_g = 0,8 \cdot 5 \cdot 2 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 1,2 = 7,78 \text{ кН};$$

Принимаем $T_{min} = 5,8 \text{ кН}$.

Несущая способность равна:

$$N = T_{min} \cdot n_\phi \cdot n_{uu} = 5,8 \cdot 4 \cdot 2 = 46,4 \text{ кН}.$$

Соединения на растянутых связях

Применяются для крепления досок подшивок потолков, щитов перекрытий и опалубки. От действия нагрузок в этих соединениях возникают растягивающие усилия N , стремящиеся выдернуть гвозди из древесины элемента, к которому прибиты доски. Этому усилию сопротивляются силы трения между поверхностью гвоздей и окружающей древесиной.

Расчетная несущая способность на выдергивание одного гвоздя, забитого поперек волокон, определяется по формуле:

$$T_{выд} = R_{в.ш.} \pi d l_1 m_{dl} \Pi m_i, \quad (3.7)$$

где $R_{в.ш.}$ – расчетное сопротивление выдергиванию шурупа или глухаря на единицу поверхности соприкасания нарезной части шурупа с древесиной, которое следует принимать для воздушно-сухой древесины равным 1 МПа; d – наружный диаметр нарезной части шурупа, м; l_1 – длина нарезной части шурупа, сопротивляющаяся выдергиванию, м (см). Расстояние между осями шурупов должно быть не менее: $S_1 = 5d$; $S_2 = S_3 = 4d$

Задача 2.4. Дано: $d_{зг} = 5 \text{ мм}$; $l_{зг} = 100 \text{ мм}$; $a = 19 \text{ мм}$. Определить расчетную несущую способность гвоздя, забитого в древесину (рис.3.3).

Решение

Основная формула для расчета соединений на выдергивание:

$$T_{выд} = R_{в.ш.} \pi d l_1 m_{dl} \Pi m_i,$$

Расчетная длина защемления гвоздя:

$$l_1 = l_{зг} - 2 \text{ мм} - a - 1,5d = 100 - 2 - 1,5 \cdot 5 - 19 = 71,5 \text{ мм} \geq l_1^{mp},$$

$$l_1^{mp} \geq 10d = 10 \cdot 5 = 50 \text{ мм}.$$

$$T_{выд} = 1,3 \cdot 14 \cdot 0,005 \cdot 0,0715 \cdot 0,66 = 0,7 \text{ кН}.$$

Соединения на клеенных стержнях

Соединения на клеенных стержнях являются универсальным видом соединений и используются в узловых сопряжениях плоских и пространственных конструкций для увеличения несущей способности участков конструкций, в которых действуют нормальные растягивающие напряжения поперек волокон и касательные напряжения.

Влажность древесины при клеивании стержней должна быть в интервале 8 — 14 % (в зависимости от условий эксплуатации конструкций табл. 1.12). Не допускается использование клеенных стержней для клееных пакетов с компенсационными прорезями.

Для клеивания используют эпоксидные клеи на базе смол ЭД20 с наполнителем — молотым песком (маршалитом) в количестве до 200 весовых частей веса смолы.

Диаметр отверстия в древесине должен превышать диаметр клеиваемого стержня на 4 — 6 мм для арматуры классов А300 — А600 и на 2 мм для арматуры класса А240, круглой стали и стеклопластиковых стержней.

Стержни, клеенные под углом к волокну менее, чем 20° рассматриваются, как клеенные вдоль волокон, при большем угле — как клеенные под углом к волокнам. Клеенные поперек волокон стержни являются частным случаем стержней, клеенных под углом к волокнам.

Соединения на клеенных стержнях используют:

- сплавивания клеенных деревянных конструкций (КДК), поперечное сечение которых состоит из 2 и более элементов (рис.3.10а);
- в виде наклонно клеенных стержней в качестве связей сдвига составных ДК, в том числе для комбинированных конструкций с деревянными балками в виде ребер и монолитной железобетонной плитой (рис.3.10а);
- наклонного армирования с целью повышения сдвиговой выносливости (рис.3.10б);
- для поперечного и наклонного армирования КДК с целью повышения их сдвиговой прочности и надежности, в том числе при переменном температурно-влажностном режиме эксплуатации (например в карнизном узле рам) (рис.3.10в).

Расчетную несущую способность, МН, клеиваемого стержня на выдергивание или продавливание вдоль и поперек волокон в растянутых и сжатых стыках элементов деревянных конструкций из сосны и ели и определяют по формуле:

$$T = R_{ск} d_1 \pi l k_c m_{дл} \Pi m_i, \quad (3.8)$$

где d_1 — диаметр отверстия, м;

l — длина заделываемой части стержня, м (см), которую следует принимать по расчету, но не менее $10d$ и не более $30d$;

k_c — коэффициент, учитывающий неравномерность распределения напряжений сдвига в зависимости от длины заделываемой части стержня, который следует

определять по формуле

$$k_c = 1,2 - 0,02 \cdot l/d \quad (3.9)$$

$R_{ск}$ — расчетное сопротивление древесины скалыванию, МПа, определяемое по поз.5,2 табл. 1.9.

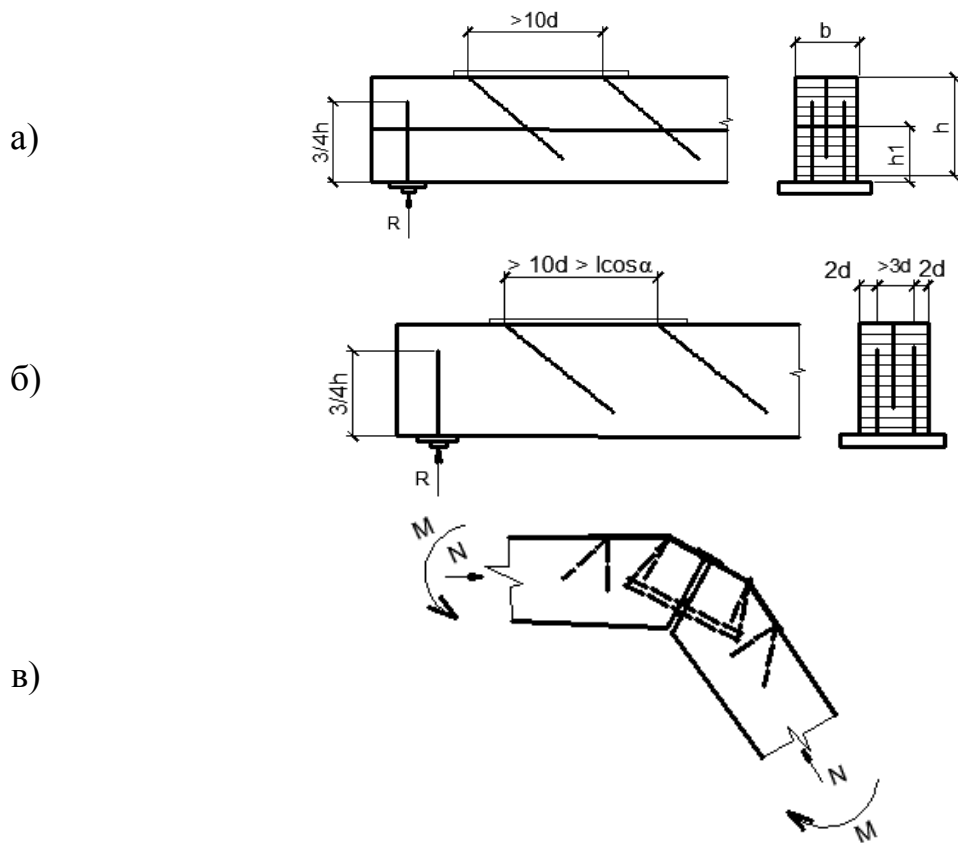


Рис. 3.10. Примеры соединений на клеенных стержнях

Расстояние между осями клеенных стержней, работающих на выдергивание или продавливание вдоль волокон, следует принимать не менее $S_2=3d$, а до наружных граней — не менее $S_3=2d$.

Минимальное расстояние от боковых граней пакета до оси стержня принимается не менее $2d$ и не менее 30 мм; между осями стержней по ширине пакета расстояние должно быть не менее $2d$; от торца пакета вдоль волокон до оси стержня - не менее 100 мм; между стержнями вдоль волокон при угле наклона стержней α к направлению волокон не более 30° не менее $14d$, при α от 30° до 60° - $10d$, при α более 60° - $7,5d$.

Задача 2.5. Дано: $b \times h = 15 \times 15$ см, $N_p = 0,08$ МН. Определить для соединения из 2-х брусев на клеенных стержнях: количество клеенных стержней (n), диаметр стержней (d), длину заделываемой части стержня (l). Арматура класса А400 (рис.3.11).

Решение

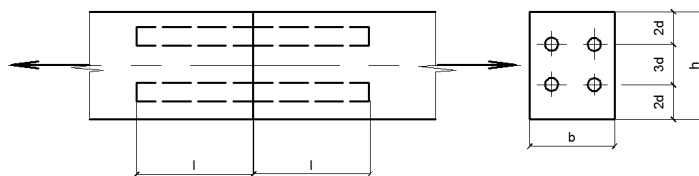


Рис. 3.11. Соединение на клеенных стержнях

$h = 7d$ (по расстановке клеенных стержней), тогда $d_{max} = h/7 = 15/7 = 2,14$ см, принимаем $d = 2,0$ см. Тогда $l_{min} = 10d = 10 \times 2 = 20$ см. $d_1 = 2,0 + 0,5 = 2,5$ см.

Коэффициент неравномерности напряжений скалывания:

$$k_c = 1,2 - 0,02 \cdot l/d = 1,2 - 0,02 \cdot 20/2 = 1,$$

$$R_{ck} = 2,4 \text{ МПа},$$

Расчетная несущая способность, MH , клеиваемого стержня на выдергивание равна: $T = R_{ck} d_1 \pi l k_c = 2,1 \cdot 0,025 \cdot 3,14 \cdot 0,2 \cdot 1 = 0,033 MH$.

Требуемое количество стержней:

$$n_{np} = \frac{N}{T} = \frac{0,08}{0,033} = 2,4 \text{ шт.}$$

Принимаем 4 стержня, $d = 2,0$ см, $R_p = 15 \cdot 0,66 = 9,9$ МПа.

Проверка прочности соединения: $\sigma = \frac{N}{F} = \frac{0,08}{0,0126} = 6,35 \leq 9,9 \text{ МПа}$, где

Площадь одного стержня $F_{cm} = \pi r^2 = 3,14 \cdot 0,001 = 0,0013 \text{ м}^2$;

Для четырех стержней $F_{cm} = 0,0013 \cdot 4 = 0,0126 \text{ м}^2$.

3.3. Справочный материал для выполнения практического задания №3

Таблица 3.6 – Формулы для расчета нагельных соединений

Схема соединений	Напряженное состояние соединения	Расчетная несущая способность T на один шов сплачивания (условный срез), кН	
		гвоздя, стального, алюминиевого, стеклопластикового нагеля	дубового нагеля
1 Симметричные соединения (рисунок 3.12 а)	а) Смятие в средних элементах	$0,75 cd$	$0,3 cd$
	б) Смятие в крайних элементах	$1,2 ad$	$0,5 ad$
2 Несимметричные соединения (рисунок 3.12, б)	а) Смятие во всех элементах равной толщины, а также в более толстых элементах односрезных соединений	$0,55 cd$	$0,3 cd$

	б) Смятие в более толстых средних элементах двухсрезных соединений при $\alpha \leq 0,5c$	$0,4cd$	$0,2cd$
	в) Смятие в более тонких крайних элементах при $\alpha \leq 0,35c$	$1,2ad$	$0,75ad$
	г) Смятие в более тонких элементах односрезных соединений и в крайних элементах при $c > \alpha > 0,35c$	$1,5k_{\text{н}}ad$	$1,5k_{\text{н}}ad$
3 Симметричные и несимметричные соединения	а) Изгиб гвоздя	$3,1d^2 + 0,012a^2$, но не более $5d^2$	-
	б) Изгиб нагеля из стали С235 и арматуры А240 ($R_{\text{н}}=440$ МПа)	$2,2d^2 + 0,025a^2$, но не более $3,1d^2$	-
	в) Изгиб нагеля из алюминиевого сплава Д16-Т	$2d^2 + 0,025a^2$, но не более $2,2d^2$	-
	г) Изгиб нагеля из стеклопластика АГ-4С	$1,8d^2 + 0,025a^2$, но не более $2,2d^2$	-
	д) Изгиб нагеля из древесно-слоистого пластика ДСПБ	$d^2 + 0,025a^2$, но не более $1,5d^2$	-
	е) Изгиб дубового нагеля	-	$0,55d^2 + 0,025a^2$, но не более $0,8d^2$
4 Торцевые соединения с металлической накладкой с жестким креплением нагелей (рисунок 3.12, в, г)	Изгиб нагеля из стали С235 и арматуры А240 ($R_{\text{н}}=440$ МПа)	$2d^2$	-

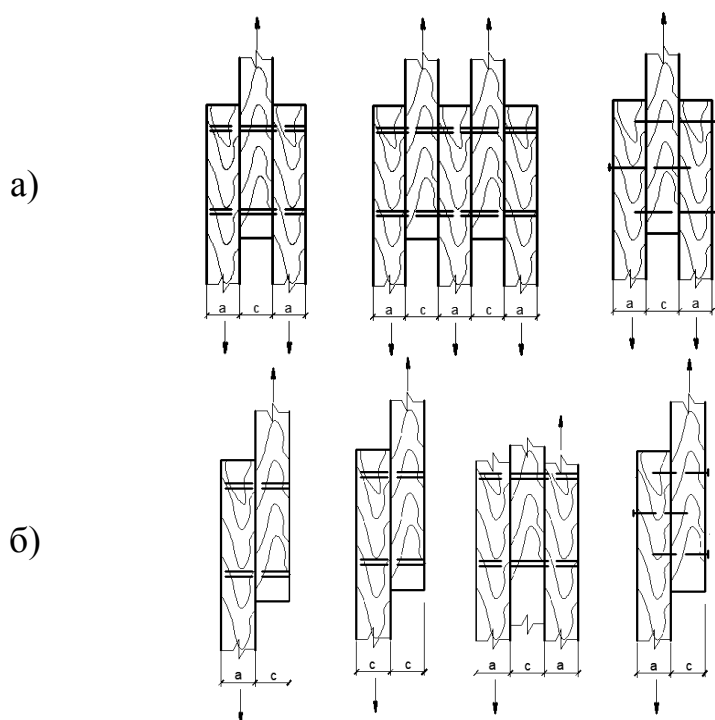


Рис. 3.12 Виды соединений по конструктивному сочетанию нагелей и соединяемых деревянных
 а) симметричных;
 б) несимметричных

Таблица 3.7 – Значение коэффициента k_a

Угол, град	Коэффициент k_a				
	для стальных, алюминиевых и стеклопластиковых нагелей диаметром, мм				для дубовых нагелей
	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	0,65	0,55	0,5	0,7

3.4. Методические рекомендации к практическому занятию №3

Для лучшего усвоения студентом методики расчета видов соединений необходимо:

- обязательное повторение лекционного материала по заявленной тематике;
- определение необходимых нормативных данных (данные с СП);
- ознакомление с алгоритмом решения подобных задач, приведенных в справочной и учебной литературе, методических рекомендациях;
- обоснование целесообразности (предпочтительности) принимаемых решений;

На практических занятиях преподаватель рассматривает примеры выполнения данных практических заданий.

Для закрепления необходимо, чтобы студенты самостоятельно, но под руководством преподавателя могли решать и конструировать опорные или промежуточные узлы ферм, выполнять расчет болтовых и гвоздевых соединений, соединений на выдергивание, клеенных стержней. Для этого данные задачи с определенным вариантом выдаются преподавателем группам

из трех человек для самостоятельного решения.

Кроме решения задач необходимо законструировать узел фермы, выполнить расстановку нагелей.

Отчет по практическим работам представляется преподавателю в конце семестра. Студенты заочной формы обучения рассматривают и решают задания на практических занятиях с помощью преподавателя. Задачи, решаемые на практических занятиях, студенты используют при разработке курсового проекта.

Для выполнения задания необходимо использовать:

1. СП 64.13330.2017 Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80: АО "НИЦ "Строительство" - ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко- С.102;
2. СП20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия». Актуализированная редакция СНиП II-25-80: АО "НИЦ "Строительство" - ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко- С.104;
3. . Конструкции и дерева и пластмасс .Учеб. пос. для ВУЗов /Ю.В. Слицкоухов, В.Д. Буданов и др.; Под ред. Г.Г. Карлсена. 5-е изд., перераб. и доп. - М.: Стройиздат, 1986-543 с.
4. Горшков А.Г. и др. Сопротивление материалов. М.: Физматлит, 2005.
5. Проектирование и расчет деревянных конструкций: Справочник И.М. Гринь, В.В. Фурсов, Д.М. Бабушкин и др.; под ред. И.М. Гриня.- К.: Будивэльник, 1988.- 240 с.
6. Пособие по проектированию деревянных конструкций (к СНиП II-25-80)/ ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко.- М.: Стройиздат, 1986 - 215 с.

4. Практическое занятие №4

Тема: Расчет клеодощатой, клеефанерной балок

Цель: приобретение студентом практических навыков расчета и конструирования балок переменного сечения, а также балок с применением фанеры.

В результате данного практического занятия студент должен:

- **знать** методы расчета дощатоклеенных, клеефанерных балок-постоянного и переменного сечений;
- **уметь** пользоваться нормативной и технической литературой при расчете деревянных конструкций.

4.1. Задания практического занятия №4

Рассчитать клеодощатую и клеефанерную балки:

- подобрать сечение балки;
- выполнить сбор нагрузок согласно району строительства;
- произвести расчет по первой и второй группам предельных состояний;
- вычертить схему сопряжения балки с колонной.

Таблица 4.1 – Исходные данные для расчета балок

№ Вар.	Исходные данные						
	Пролет l , м	Шаг, B , м	Порода древесины	t-w условия	сорт	Район строительства	Вид балки
1	2	3	4	5	6	7	
1	13,0	5,0	ель	1	2	Москва	Клеефанерная
2	18,0	6,0	пихта	2	2	Казань	Клеодощатая
3	14,0	5,5	сосна	4а	3	Тикси	Клеефанерная
4	16,0	4,5	ель	2	2	Якутск	Клеефанерная
5	20,0	4,9	тополь	4б	2	Самара	Клеодощатая
6	15,0	5,2	сосна	1	2	Волгоград	Клеефанерная
7	16,0	6,0	бук	2	2	Оренбург	Клеефанерная
8	17,0	5,1	сосна	3	3	Сочи	Клеодощатая
9	15,0	5,3	ель	2	3	Псков	Клеефанерная
10	18,0	4,7	пихта	1	2	Тамбов	Клеодощатая

Задание выполняется в следующем порядке:

1. Определяются нормативные и расчетные нагрузки (постоянные и временные).
2. Выполняется статический расчет.
3. Определяются прочностные балок по нормальным и касательным напряжениям;
4. Определяется прогиб балки.
5. выполняется конструирование сопряжения балки с колонной.

4.2. Примеры выполнения практического занятия №4

Расчет клеодощатой балки переменного сечения

В настоящее время используются балки из клееной древесины для перекрытия пролётов до 28,0 м. В зависимости от очертания фасада балки могут быть: прямолинейными с постоянной высотой; двускатными и односкатными; криволинейного очертания с постоянной или переменной высотой по длине высотой; ломаного очертания. Изготовление балок ломаного очертания осложняется необходимостью выполнения в местах перелома стыков, что приводит к их удорожанию. Клеодощатые балки постоянного сечения рассматривают и рассчитывают как балки цельного сечения.

В рамках практических занятий рассмотрим клеодощатую балку переменного сечения.

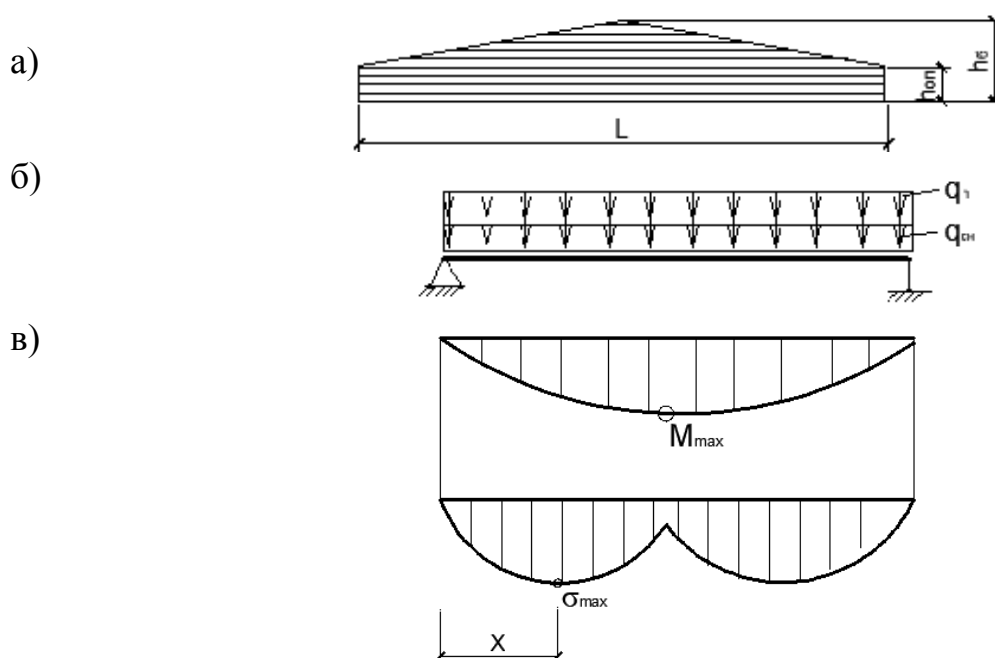


Рис. 4.1. Клеодощатая балка: а) геометрия балки; б) расчетная схема балки, в) эпюры моментов и напряжений

Перед началом расчета необходимо выполнить сбор нагрузок, действующих на балку.

Проверка прочности по нормальным напряжениям балок с постоянной высотой сечения производится из условия:

$$\sigma = \frac{M}{W_{ит}} = R_u m_{дл} m_{сл} m_{б}, \quad (4.1)$$

$m_{б}$ – коэффициент условий работы, учитывающий влияние размеров поперечного сечения на несущую способность балки, его значение приведено в табл. 3.2.

m_{cl} – коэффициент формы, для балок прямолинейной формы сечения (табл. 3.3)

для балок переменного сечения:

$$\sigma = \frac{M_x}{W_x} = R_u m_{dl} m_{cl} m_{\sigma} . \quad (4.2)$$

Расчетное сечение в балках переменной высоты принимается таким, где действуют максимальные нормальные напряжения. А в балках постоянного сечения принимается в зоне действия максимального момента. В двускатной балке переменного сечения при равномерно распределенной нагрузке это будет:

$$x = lh_{on} / 2h, \quad (4.3)$$

где h_{on} – высота опорного сечения, h – высота сечения в середине пролета балки. Изгибающий момент в этом случае равен:

$$M_x = \frac{qx}{2}(l-x). \quad (4.4)$$

M_x - момент в сечении x .

Расчет прочности по касательным напряжениям (расчет клеевого шва) определяется по формуле:

$$\tau = \frac{QS_{от}}{I_{бр} b_{рас}} \leq R_{ск} m_{dl} m_{cl} m_{\sigma} . \quad (4.5)$$

Q — расчетная поперечная сила;

$S_{от}$ — статический момент брутто сдвигаемой части поперечного сечения элемента относительно нейтральной оси;

$I_{бр}$ — момент инерции брутто поперечного сечения элемента относительно нейтральной оси;

b — расчетная ширина сечения элемента.

Проверка устойчивости плоской формы деформирования:

$$\sigma = \frac{M}{W \cdot \varphi_M} = R_c ; \quad (4.6)$$

коэффициент φ_M определяется по формуле:

$$\varphi_M = 140 \frac{b^2}{l_p h} \cdot k_{\phi}, \quad (4.7)$$

коэффициент k_{ϕ} – табл. 2.5.

Прогиб балки определяется:

$$f = \frac{f_0}{k} \left(l + c \left(\frac{h}{l} \right)^2 \right); \quad (4.8)$$

где f_0 — прогиб балки постоянного сечения высотой h без учета деформаций сдвига; h — наибольшая высота сечения; l — пролет балки.

Задача 4.1 Дано: Пролет балки 15 м. Шаг несущих конструкций 5,5 м. Уклон кровли $i=0,1$, $g_n^n = 0,43 \text{ кН/м}^2$, $g_n^p = 0,59 \text{ кН/м}^2$, включая собственный вес балки. Район строительства: III; t-w -2. Коэффициент надежности по назначению $\gamma=0,9$. Произвести расчет двускатной клеодощатой балки.

Решение.

Принимаем двускатную балку прямоугольного сечения (рис. 4.2). Расчетный пролет $l_p=14,7 \text{ м}$. с учетом опирания по 0,15 м.

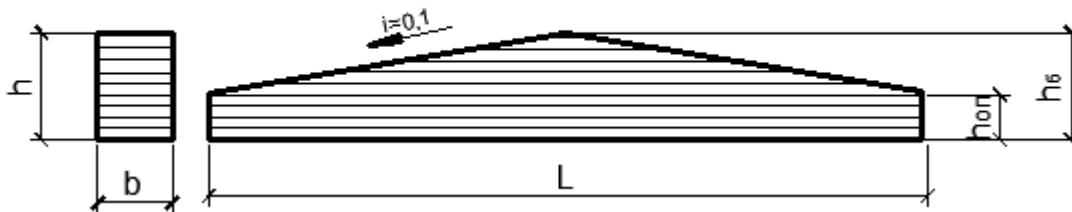


Рис. 4.2 Клеодощатая балка

Высоту балки назначаем из условия $1/8 - 1/12$ пролета балки.

Принимаем $h_0 = 1/10 l = 15000/10 = 1500 \text{ мм}$.

Высота балки на опоре :

$$h_{on} = h_0 - \frac{l}{2} \text{tg} \alpha = 1,5 - \frac{15}{2} \cdot 0,1 = 0,75 \text{ м.}$$

Определяем расстояние x – расстояние от опоры до наиболее напряженного сечения балки:

$$x = l h_{on} / 2h = 15 \cdot 0,75 / 2 \cdot 1,5 = 3,75 \text{ м.}$$

Определяем погонную расчетную нагрузку с учетом снеговой (для III

района) : $g_{сн}^p = 2,1 \text{ кН/м}^2$;

$$g_n^p = (0,59 + 2,1) \cdot 5,5 = 14,8 \text{ кН/м},$$

$$g_n^n = (0,45 + 1,5) \cdot 5,5 = 10,7 \text{ кН/м}.$$

Расчетный момент в сечении x :

$$M_x = \frac{qx}{2} (l - x) = \frac{14,8 \cdot 3,75}{2} \cdot (14,7 - 3,75) = 303,8 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Максимальный момент:

$$M_{\max} = \frac{ql^2}{8} = \frac{14,8 \cdot 14,7^2}{8} = 400 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Расчетная поперечная сила на опорах:

$$Q = \frac{ql}{2} = \frac{14,8 \cdot 14,7}{2} = 108,7 \text{ кН}.$$

Назначаем ширину сечения балки 180 мм = 18 см.

Высота сечения двускатной балки на расстоянии $x=3,75 \text{ м}$:

$$h_x = h_0 + x \text{tg} \alpha = 75 + 375 \cdot 0,1 = 112,5 \text{ см}$$

Требуемая ширина сечения на опоре по условию скалывающих напряжений с коэффициентом условий работы $\gamma=0,5$.

$$b' = \frac{3Q}{2\gamma h_0 R_{ck} \cdot m_{\partial l}} = \frac{3 \cdot 108,7}{2 \cdot 0,5 \cdot 75 \cdot 2,25 \cdot 0,66} = 3 \text{ см.}$$

Принимаем сечение балки $115,5 \times 18 \text{ см}$, ($3,3 \cdot 35 = 115,5 \text{ см}$).

$$W = \frac{bh^2}{6} = \frac{180 \cdot 1155^2}{6} = 40020750 \text{ мм}^3.$$

Проверяем прочность балки в расчетном сечении

$$\sigma = \frac{M_x}{W_x} \leq \frac{303,8 \cdot 10^6}{40020750} = R_u \cdot m_{\partial l} \cdot m_{cl} \cdot m_b.$$

$$\sigma = \frac{303,8 \cdot 10^6}{40020750} <$$

m_b – табл. 3.2; m_{cl} – табл. 3.3.

Условие прочности выполняется.

Проверка прочности клеевого шва:

$$\tau = \frac{QS_{om}}{I_{\partial p} b_{pac}} \leq R_{ck} \cdot m_{\partial l}; \quad S = \frac{bh^2}{8}; \quad I = \frac{bh^3}{12}.$$

$$S = \frac{bh^2}{8} = \frac{180 \cdot 750^2}{8} = 12656250 \text{ мм}^3;$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{180 \cdot 750^3}{12} = 6328125000 \text{ мм}^4.$$

$$\tau = \frac{108700 \cdot 12656250}{6328125000 \cdot 180} = 1,2 \text{ МПа} < \quad \zeta = 1,4 \text{ МПа.}$$

Проверка устойчивости плоской формы деформирования:

$$\sigma = \frac{M}{W \cdot \varphi_M} = \frac{400 \cdot 10^6 \cdot 6}{180 \cdot 1500^2 \cdot 13} = 0,45 < \quad 66 = 14,85 \text{ МПа};$$

коэффициент φ_M определяется по формуле:

$$\varphi_M = 140 \frac{b^2}{l_p h} \cdot k_\phi = 140 \cdot \frac{18^2}{300 \cdot 150} \cdot 12,9 = 13,0.$$

$$k_\phi = 13 - 0,13 \cdot 75 / 150 = 12,9; \quad k_\phi - \text{табл. 1.15.}$$

Устойчивость обеспечивается.

Прогиб балки определяется:

$$f = \frac{f_0}{k} \left(1 + c \left(\frac{h}{l} \right)^2 \right) = \frac{1,17}{0,575} \cdot \left(1 + 17,3 \cdot \left(\frac{150}{1470} \right) \right) = 5,62 \text{ см};$$

$$\frac{f_0}{l} \leq \frac{l}{250}; \quad \frac{5,63}{1470} < \frac{1470}{250};$$

$$0,004 < 5,88$$

$$f_0 = \frac{5}{384} \cdot \frac{10,7 \cdot 1470^4}{110000 \cdot 5062500} = 1,17 \text{ см};$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{18 \cdot 150^3}{12} = 5062500 \text{ см}^4.$$

$$k = 0,15 + 0,85 \cdot 75/150 = 0,575; \quad c = 15,4 + 3,8 \cdot 75/150 = 17,3.$$

Коэффициенты k и c - табл. 4.4.

Принятое сечение балки удовлетворяет требованиям жесткости.

Определяем площадь опорной подушки (рис. 4.3).



Рис. 4.3. Опорный узел клеодощатой балки

Требуемая площадь смятия опорной подушки:

$$F_{см} = \frac{Q}{R_{см90} \cdot m_{дл}} = \frac{108700}{4,5 \cdot 0,66} = 366 \text{ см}^2.$$

$R_{см90}$ – расчетное сопротивление смятию поперек волокон в опорных частях конструкций.

Ширина опорной подушки равна: $b_{под}^{он} = \frac{F_{см}}{b} = \frac{366}{18} = 20,33 \text{ см}.$

Принимаем $b_{под}^{он} = 220 \text{ см}.$

Расчет клефанерной балки с плоской стенкой

Рассчитать клефанерную балку коробчатого сечения. Пролет балки 18 м, шаг несущих конструкций $B = 6$ м, материал станок – фанера водостойкая марки ФСФ. Класс функционального назначения - 2. Район строительства – г. Калининград

Нормативная нагрузка на балку $g_n^n = 0,58 \text{ кН/м}^2$; расчетная нагрузка $g_n^c = 0,69 \text{ кН/м}^2$.

Снеговая нормативная нагрузка - 1 кН/см^2 ; расчетная снеговая нагрузка - $1,4 \text{ кН/см}^2$. Уклон балки 5%.

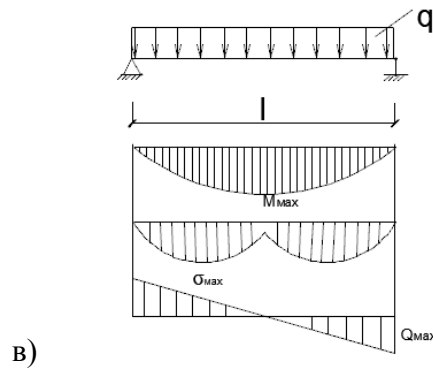
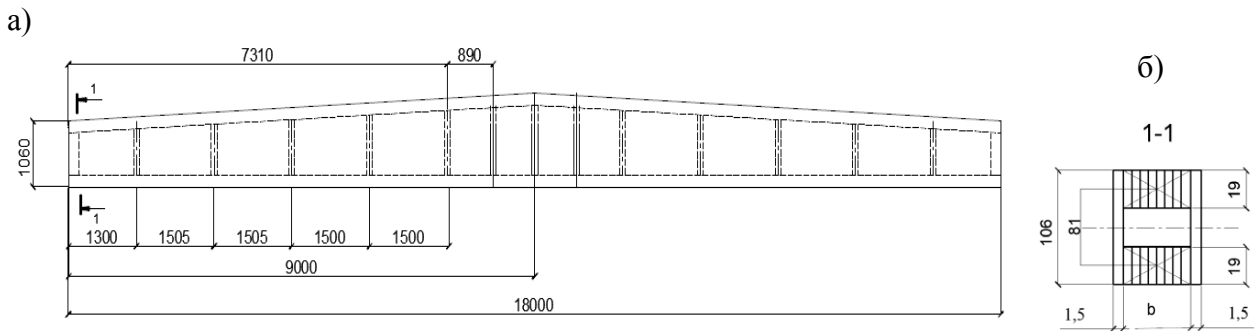


Рис. 4.3 Клефанерная балка с плоской стенкой:
 а) геометрические размеры балки;
 б) разрез 1-1 (на опоре); в) расчетная схема балки

Нагрузки

Собственный вес балки в диапазоне ($k_{c.в.}=3,5...5,5$). Принимаем $k_{c.в.}=4,0$:

$$g_o^n = \frac{s^n + q_n^s}{\frac{1000}{k_{c.в.}l} - 1} = \frac{1,0 + 0,58}{1000 / (4,0 \cdot 17,6) - 1} = \frac{1,58}{11,91} = 0,12 \text{ кН / м}^2.$$

$$q^n = (g_n^n + g_n^c + g_n^o) \cdot B = (0,58 + 1,0 + 0,12) \cdot 6 = 10,2 \text{ кН / м}.$$

$$q^p = (g_p^n + g_p^c + g_p^o) \cdot B = (0,69 + 1,4 + 0,12 \cdot 1,1) \cdot 6 = 13,4 \text{ кН / м}.$$

Назначение геометрических размеров балки

$$l_p = l - 40 = 1800 - 30 = 1770 \text{ см}.$$

Высота балки назначается из условия: $\frac{1}{8} : \frac{1}{12} l$, принимаем $h_o = \frac{1800}{12} = 150 \text{ см}$, что согласуется со стандартным листом фанерного листа.

$$\text{Высота балки на опоре: } h_{on} = h_o - \frac{l}{2} \text{tg} \alpha = 150 - \frac{1800}{2} \cdot 0,05 = 106 \text{ см}.$$

Высота пояса балки: $h_n = \frac{h_o}{8} = \frac{150}{8} = 18,75 \text{ см}$. Высота пояса с учетом острожки - 19 см (принимаем доски $b=200 \text{ мм}$ без учета острожки).

Принимаем толщину фанерных листов из условия: $h_{cm} / 130 < \delta_\phi$;

$$h_o - h_n / 130 = \frac{150 - 19}{130} = 1,0 \text{ см} < \delta_\phi = 1,5 \text{ см}.$$

Волокна фанеры располагаются параллельно нижнему поясу.

Поперечные ребра устанавливаем с интервалом $1/8 \dots 1/9$ шириной, равной половине высоты пояса.

Определение внутренних усилий (M_{max} и Q_{max})

Для расчета внутренних усилий в середине балки принимаем расчетную схему: балка, лежащая на двух шарнирных опорах, загруженных равномерно-распределенной нагрузкой (постоянная + снег).

$$M = \frac{ql^2}{8} = \frac{13,4 \cdot 17,7^2}{8} = 470,8 \text{ кН} \cdot \text{м}. \quad Q = \frac{ql}{2} = \frac{13,4 \cdot 17,6}{2} = 119 \text{ кН}.$$

Определяем момент в сечении X.

$$M_x = \frac{qX}{2}(l-X) = \frac{13,4 \cdot 7,31}{2} \cdot (17,6 - 7,2) = 510,4 \text{ кН} \cdot \text{см}.$$

$$X = \left[\sqrt{\gamma \cdot (1+\gamma)} - \gamma \right] l = \left[\sqrt{0,98 \cdot (1+0,98)} - 0,98 \right] l = 731 \text{ см} = 7,31 \text{ м}.$$

$$\gamma = \frac{h_{on1}}{l \cdot \text{tg} \alpha} = 0,98. \quad h_{on1} = h_{on} - h_n = 106 - 19 = 87 \text{ см}.$$

Определяем геометрические характеристики в сечении X и корректируем ширину поясов.

$$W_x^{mp} = \frac{M_x}{R_p \cdot m_{\partial n}} = \frac{510,4}{0,89} = 57283 \text{ см}^3.$$

где $R_p \cdot m_{\partial n} = 13,5 \cdot 0,66 = 8,9 \text{ МПа} = 0,89 \text{ кН/см}^2$.

$$I_x^{mp} = W_x^{mp} \cdot \frac{h_x}{2} = 57283 \cdot \frac{142}{2} = 4075685,5 \text{ см}^4.$$

$$h_x = h_{on} + X \text{tg} \alpha = 106 + 731 \cdot 0,05 = 142,3 \text{ см}.$$

Момент инерции деревянных поясов балки:

$$I_x^n = I_x^{mp} - I_x^\phi = I_x^{mp} - \frac{\sum \delta^\phi h_x^3}{12} \cdot n = 4075685,5 - \frac{2 \cdot 1,5 \cdot 142,3^3}{12} \cdot 1,08 = 3297684,4 \text{ см}^4,$$

$$\text{где } n = \frac{1,2 E_\phi}{E_{\partial p}} = \frac{1,2 \cdot 900}{1000} = 1,08 \text{ кН / см}^2.$$

Определяем площадь поясов F_n , исходя из $I_x^n = 2 \cdot [I_0 + F_n \cdot h_{x1}^2]$.

$$F_n = \frac{2I_x^n}{h_{x1}^2} = \frac{2 \cdot 3297684,4}{123,3^2} = 433,8 \text{ см}^2, \quad b_n = \frac{F_n}{h_n} = \frac{433,8}{19} = 23,0 \text{ см}.$$

Принимаем ширину пояса из досок: 4 средних слоя - $4,6 \times 19$ см; по одной доске рядом с фанерными обшивками - $3,3 \times 19$ см (после острожки).

Итого ширина $b_n = 4 \cdot 4,6 + 2 \cdot 3,3 = 25 \text{ см} > 23,9 \text{ см}$.

Определение приведенных геометрических характеристик в опасном сечении:

$$I_{np,x} = I_{\partial p} + I_\phi n = 2 \cdot \left[\frac{25 \cdot 19^3}{12} + 25 \cdot 19 \cdot \left(\frac{123,3}{2} \right)^2 \right] + \frac{2 \cdot 1,5 \cdot 142,3^3}{12} \cdot 1,08 = 4417278 \text{ см}^4.$$

$$W_{np,x} = \frac{I_{np,x}}{h_x / 2} = \frac{4417278}{142,3 / 2} = 62084 \text{ см}^3 > W_x^{mp}.$$

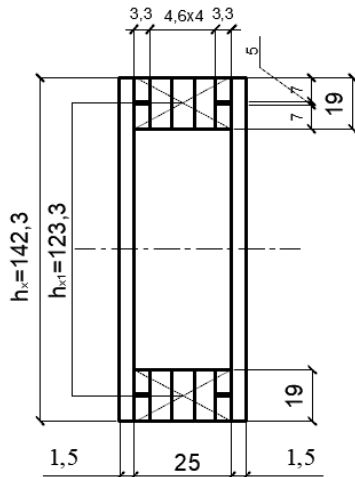


Рис. 4.4 Разрез балки в опасном сечении

Проверка поясов на прочность:

а) нижнего растянутого:

$$\sigma_p = \frac{M_x}{W_{np,x}} \leq R_p m_{\text{от}} = \frac{51039,1}{62084} = 0,82 \text{ кН} / \text{см}^2 \leq 1,35 \cdot 0,66 = 0,89 \text{ кН} / \text{см}^2.$$

б) верхнего сжатого:

$$\sigma_c = \frac{M_x}{\varphi_y W_{np,x}} \leq R_c m_{\text{от}} = \frac{51039,1}{0,86 \cdot 62084} = 0,95 \text{ кН} / \text{см}^2 \leq 2,4 \cdot 0,66 = 1,56 \text{ кН} / \text{см}^2.$$

$$\lambda_y = \frac{l_0}{r_y} = \frac{300}{0,29 \cdot 25} = 41,4; \quad \varphi_y = 1 - 0,8 \left(\frac{\lambda}{100} \right)^2 = 1 - 0,8 \cdot \left(\frac{41,4}{100} \right)^2 = 0,86.$$

в) фанерной стенки:

$$\sigma_{\phi,p} = \frac{M_x}{W_{np,\phi}} \cdot \beta \leq R_{\phi,p} m_{\text{от}} m_{\phi}; \quad \text{где } \beta = \frac{h_x - h_n}{h_x} = \frac{142,3 - 2 \cdot 19}{142,3} = 0,73.$$

$$I_{np,\phi} = I_{\phi} + I_{op} n_1 = \frac{2 \cdot 1,5 \cdot 142,3^3}{12} + 2 \cdot \left[\frac{25 \cdot 19^3}{12} + 25 \cdot 19 \left(\frac{123,3}{2} \right)^2 \right] \cdot 0,93 = 3945997,9 \text{ см}^4.$$

$$\text{где } n_1 = \frac{E_{op}}{1,2 E_{\phi}} = \frac{1000}{1,2 \cdot 900} = 0,93.$$

$$\sigma_{\phi,p} = \frac{51039,1}{57485,1} \cdot 0,73 = 0,65 \text{ кН} / \text{см}^2 \leq 2,1 \cdot 0,66 \cdot 0,8 = 1,1 \text{ кН} / \text{см}^2.$$

Прочность фанерной стенки обеспечена.

Определяем прочность стенки в первом стыке фанеры на действие главных растягивающих напряжений

$$\frac{\sigma_{\phi,c}}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_{\phi,c}}{2} \right)^2 + \tau_{\phi,c}^2} \leq R_{\phi,p,\alpha};$$

Первый стык фанеры находится на расстоянии $X_1 = 1,3 \text{ м}$. Определяем момент и поперечную силу в сечении X_1 .

$$h_{x1} = h_{on} + X_1 \operatorname{tg} \alpha = 106 + 130 \cdot 0,05 = 112,25 \text{ см.}$$

$$\sigma_{\phi.c} = \frac{M_{x1}}{W_{np.\phi.X_1}} \cdot \beta_1; \quad \tau_{\phi.c} = \frac{Q_{x1} \cdot S_{np.\phi.X_1}}{I_{np.\phi.X_1} \cdot \sum \delta_{\phi}};$$

$$M_{x1} = \frac{qX_1}{2} (l - X_1) = \frac{13,4 \cdot 1,3}{2} \cdot (17,7 - 1,3) = 143,3 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

$$Q_{x1} = Q - qX_1 = 118,3 \cdot (17,7 - 1,3) = 101,5 \text{ кН.}$$

$$I_{np.\phi.X_1} = I_{np.\phi.ct.X_1} + I_{dp.X_1} n_1 = \frac{2 \cdot 1,5 \cdot 112,25^3}{12} + 2 \cdot \left[\frac{25 \cdot 19^3}{12} + 25 \cdot 19 \cdot \left(\frac{112,5 - 19}{2} \right)^2 \right] \cdot 0,93 = 2292270,0 \text{ см}^4.$$

$$W_{np.\phi.X_1} = \frac{I_{np.\phi.X_1}}{h_{x1} / 2} = \frac{2292270,0}{112,25 / 2} = 40842,2 \text{ см}^3.$$

$$S_{np.\phi.X_1} = F_n \frac{h_{X_1\phi}^1}{2} n_1 + 2 \cdot F_{\phi} \frac{h_{X_1\phi}^1}{2} = 25 \cdot 19 \cdot \frac{93,25}{2} \cdot 0,93 + 2 \cdot 1,5 \cdot 25 \cdot \frac{93,25}{2} = 23164 \text{ см}^3.$$

$$\sigma_{\phi.c} = \frac{14330}{40842,2} \cdot 0,66 = 0,24 \text{ кН} / \text{см}^2; \quad \beta_1 = \frac{h_{X_1} - 2 \cdot h_n}{h_{X_1}} = \frac{112,25 - 38}{112,25} = 0,66;$$

$$\tau_{\phi.c} = \frac{101,5 \cdot 23164}{2292270,0 \cdot 3,0} = 0,34 \text{ кН} / \text{см}^2; \quad \operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2\tau_{\phi.c}}{\sigma_{\phi.c}} = \frac{2 \cdot 0,34}{0,24} = 2,94;$$

$$2\alpha = 71^{\circ}18'; \quad \alpha \approx 35^{\circ}39'$$

Из графика Приложения Д СП64.13330-2017 определяем расчетное $R_{\phi.p.\alpha} = 4,9 \text{ МПа} = 0,49 \text{ кН} / \text{см}^2$ и определяем прочность стенки в опасном сечении на расстоянии X_1 .

$$\frac{\sigma_{\phi.c}}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_{\phi.c}}{2} \right)^2 + \tau_{\phi.c}^2} = \frac{0,24}{2} + \sqrt{\left(\frac{0,24}{2} \right)^2 + 0,34^2} = 0,46 \leq 0,48 \text{ кН} / \text{м}^2.$$

Выполняем проверку на местную устойчивость фанерной стенки на действие главных растягивающих и касательных напряжений (в середине первой опоры панели) в случае, если $\frac{h_{cm}}{\delta_{\phi}} > 50$,

то дальнейшую проверку не делаем.

$$X_2 = 65 \text{ см, определяем } h_{x2} = h_{on} + X_2 \operatorname{tg} \alpha = 106 + 65 \cdot 0,05 = 109 \text{ см.}$$

$$h_{cm} = h_{x2} - 2h_n = 109 - 2 \cdot 19 = 71 \text{ см.}$$

$$\frac{71}{1,5} = 47,3 < 50, \text{ т.к. } \frac{h_{cm}}{\delta_{\phi}} < 50, \text{ то дальнейшую проверку не делаем.}$$

Проверка фанерной стенки на срез по нейтральному слою

$$\tau_{\phi.c} = \frac{Q_{\max} S_{np.\phi,x2}}{I_{np.\phi,x2} 2\delta_{\phi}} \leq R_{\phi.c.p} \cdot m_{от}.$$

$$S_{np.\phi,x2} = S_{\phi} + S_n n_1 = 2 \cdot \frac{\delta h_{on}^2}{8} + F_n \frac{h_{on} - h_n}{2} n_1 = 2 \cdot \frac{1,5 \cdot 106^2}{8} + 25 \cdot 19 \cdot \frac{87}{2} \cdot 0,93 = 23270,6 \text{ см}^3.$$

$$I_{np,\phi,x_2} = I_{\phi,ct,x_2} + I_{\phi p,x_2} n_1 = \frac{\sum \delta_\phi h_{on}}{12} + 2 \cdot F_n \left(\frac{h_{on} - h_n}{2} \right)^2 =$$

$$= \frac{2 \cdot 1,5 \cdot 106^3}{12} + 2 \cdot \left[25 \cdot 19 \cdot \left(\frac{106 - 19}{2} \right)^2 \right] \cdot 0,93 = 1962233,2 \text{ см}^4.$$

$$\tau_{\phi,c} = \frac{Q_{\max} S_{np,\phi,x_2}}{I_{np,\phi,x_2} 2\delta_\phi} = \frac{119 \cdot 23270}{1962233,2 \cdot 2 \cdot 1,5} = 0,47 \text{ кН / см}^2 \leq 9,0 \cdot 0,66 = 0,6 \text{ кН / см}^2.$$

Проверка клеевого шва между поясами и фанерными стенками.

$$\tau_{uu} = \frac{Q_{\max} S_{np}^n}{I_{np,\phi} 2h_{uu}} = \frac{106 \cdot 19131,94}{1962233,2 \cdot 2 \cdot (19 - 0,5)} = 0,03 \text{ кН / см}^2 \leq R_{\phi,ck} \cdot m_{\phi n} = 0,12 \cdot 0,66 = 0,08 \text{ кН / см}^2.$$

$$S_{np}^n = S_n n_1 = F_n \frac{h_{on} - h_n}{2} n_1 = 25 \cdot 19 \cdot \frac{87}{2} \cdot 0,93 = 19131,94 \text{ см}^3.$$

Проверка прогиба

$$f = \frac{f_0}{k} \left[1 + c \left(\frac{h}{l} \right)^2 \right]. \quad f_0 = \frac{5}{384} \cdot \frac{q^n l^4}{EI_{np}} = \frac{5 \cdot 0,102 \cdot 1770^4}{384 \cdot 1000 \cdot 5015566,7} = 2,6 \text{ см}.$$

$$I_{np,\phi p} = I_{\phi p} + I_{\phi} n = 2 \cdot \left[\frac{25 \cdot 19^3}{12} + 25 \cdot 19 \cdot \left(\frac{131}{2} \right)^2 \right] + \frac{2 \cdot 1,5 \cdot 150^3}{12} \cdot 1,08 = 5015566,7 \text{ см}^4.$$

$$k = 0,15 + 0,85\beta = 0,75.$$

$$c = 15,4 + 3,8\beta = 18,1.$$

$$f = \frac{f_0}{k} \left[1 + c \left(\frac{h}{l} \right)^2 \right] = \frac{2,6}{0,75} \left[1 + 18,1 \cdot \left(\frac{150}{1770} \right)^2 \right] = 4,6 \text{ см}; \quad \frac{4,6}{1770} < \frac{1770}{200} = 0,002 < 8,85$$

4.3. Справочный материал для выполнения практического занятия №4

Таблица 4.2 – Таблица по определению коэффициента m_b

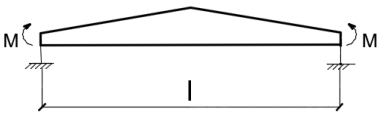
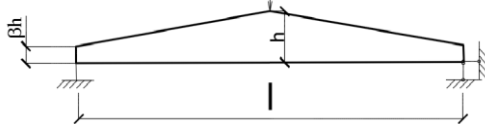
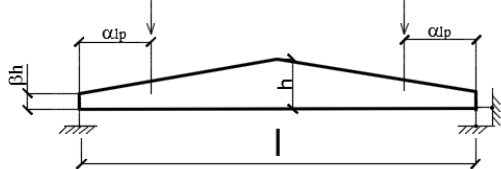
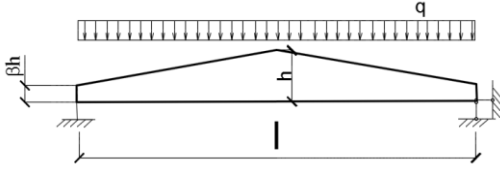
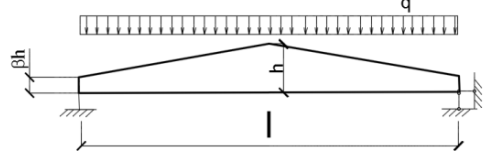
Высота сечения, см	50 и менее	60	70	80	100	120 и более
Коэффициент m_b	1	0,96	0,93	0,90	0,85	0,8

Таблица 4.3 – Таблица по определению коэффициента m_{cl}

Толщина слоя, мм	10 и менее	19	26	33	42
Коэффициент m_{cl}	1,2	1,1	1,05	1,0	0,95

Таблица 4.4 –

Значения коэффициентов k и c для вычисления прогибов балок с учетом переменности сечения и деформаций сдвига

Поперечное сечение балки	Расчетное сечение	k	c
Прямоугольное		β	0
То же		$0,23+0,77\beta$	$16,4+7,6\beta$
То же		$0,5\alpha+(1-0,5\alpha)\beta$	$[45-24\alpha(1-\beta)+3\beta]\times 1/(3-4\alpha^2)$
То же		$0,15+0,85\beta$	$15,4+3,8\beta$
Двутавровое		$0,4+0,6\beta$	$(45,3+6,9\beta)\gamma$

4.4. Методические рекомендации к подготовке к практического занятия №4

Для лучшего усвоения студентом методики расчета клеедощатой, клеефанерных балок необходимо:

- обязательное повторение лекционного материала по заявленной тематике;
- определение необходимых нормативных данных (данные с СП);
- ознакомление с алгоритмом решения балок постоянного сечения и балок переменного сечения в учебной литературе, методических рекомендациях;
- обоснование целесообразности (предпочтительности) принимаемых решений.

Для закрепления практического занятия необходимо, чтобы студенты самостоятельно, но под руководством преподавателя смогли решить задачи согласно варианту, представленного в таблице 3.1. Для этого задачи с определенным вариантом выдаются преподавателем группам из пяти человек (разница в схемах загрузки балок и районе строительства) для самостоятельного решения. Для определения района строительства используется свод правил СП20.13330-2016 «Нагрузки и воздействия». По картам районирования, представленных в данном документе, определяется давление снегового покрова (т.е. снеговая нагрузка). Затем выполняется общий сбор нагрузок, действующих на балки согласно расчетной схеме. Отчет по практическим работам представляется преподавателю в конце семестра. Студенты заочной формы обучения рассматривают и решают задания на практических занятиях с помощью преподавателя. Задачи, решаемые на практических занятиях, студенты используют при разработке курсового проекта. Для выполнения задания необходимо использовать:

1. СП 64.13330.2017 Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80: АО "НИЦ "Строительство" - ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко- С.102;
2. Г.Н. Зубарев, Ф.А. Бойтемиров, В.М. Головина, В.И. Ковликов, Э.М. Улицкая Конструкции из дерева и пластмасс. Учеб. пособие для студ. вузов / Под ред. Ю.Н.Хромца.— 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Издательский центр «Академия», 2004. — 304 с.
3. Горшков А.Г. и др. Сопроотивление материалов. М.: Физматлит, 2005.
4. Деревянные балки и балочные клетки: учебное пособие:/П.А. Дмитриев. – Новосибирск: ППО «Печать», 1989.- 161с.
5. Проектирование и расчет деревянных конструкций: Справочник И.М. Гринь, В.В. Фурсов, Д.М. Бабушкин и др.; под ред. И.М. Гриня.- К.: Будивэльник, 1988.- 240 с.

5. Практическое занятие №5

Тема: Расчет ограждающих конструкций.

Цель: приобретение студентом практических навыков расчета и конструирования элементов стропильной системы, таких как стропила, прогонов, обрешетки, настила.

В результате данного практического занятия студент должен:

- **знать** методы расчета элементов стропильной системы;
- **уметь** подобрать сечение для элементов стропильной системы.

5.1. Задания практического занятия №5

Подобрать сечение и рассчитать прочность настила по 2-м группам предельных состояний

Таблица 5.1 – Исходные данные для расчета настила

№ вар.	Исходные данные						Шаг, см
	q_p , кН/м ²	Район стр-ва	Вид настила	Порода	t-w	сорт	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	0,24	Омск	разреженный.	сосна	2	2	40
2	0,19	Якутск	сплошной	ель	1	2	20
3	0,26	Тикси	разреженный.	ель	2	3	30
4	0,21	Уренгой	разреженный.	кедр	3	3	40
5	0,18	Хабаровск	разреженный.	ольха	2	3	25
6	0,16	Уссурийск	сплошной	пихта	3	3	32
7	0,17	Самара	разреженный	сосна	1	3	30
8	0,15	Рязань	разреженный.	сосна	1	3	25
9	0,13	Казань	сплошной	ель	2	1	28
10	0,24	Сочи	разреженный	береза	1	3	32
11	0,31	Караганда	разреженный	пихта	3	3	30
142	0,18	Тында	разреженный	ель	2	3	37

Задания для расчета прогонов

Подобрать сечение и рассчитать прочность прогона по 2-м группам предельных состояний.

Таблица 5.2 – Исходные данные для расчета прогона

№ вар.	Исходные данные						
	q_n , кН/м ²	Район стр-ва	Вид прогона	Порода	t-w	Сорт	Шаг, м
1	2	3	4	5	6	7	8
1	0,31	Омск	неразрезной	сосна	2	2	4,0
2	0,19	Якутск	консольно-балочный	ель	1	2	4,5
3	0,19	Тикси	неразрезной	ель	2	3	6,0
4	0,35	Уренгой	неразрезной	кедр	3	1	4,5
5	0,28	Хабаровск	консольно-балочный	ольха	2	3	3,8
6	0,32	Усурийск	неразрезной	пихта	3	1	6,0
7	0,14	Самара	неразрезной	сосна	1	3	5,0
8	0,15	Рязань	консольно-балочный	сосна	1	3	4,0
9	0,23	Казань	неразрезной	ель	2	1	4,5
10	0,25	Сочи	неразрезной	береза	1	3	5,0
11	0,35	Караганда	разрезно	ель	2	2	5,0
12	0,29	Тында	разрезной	пихта	2	2	6,0

5.2. Примеры расчета для практического занятия №5

Расчет настила

Расчет деревянных настилов производится по схеме двухпролетной балки (рис. 5.1а, б) на два сочетания нагрузок: постоянная и временная снеговая нагрузка (рис. 5.1а); постоянная нагрузка и монтажная (рис. 5.1б).

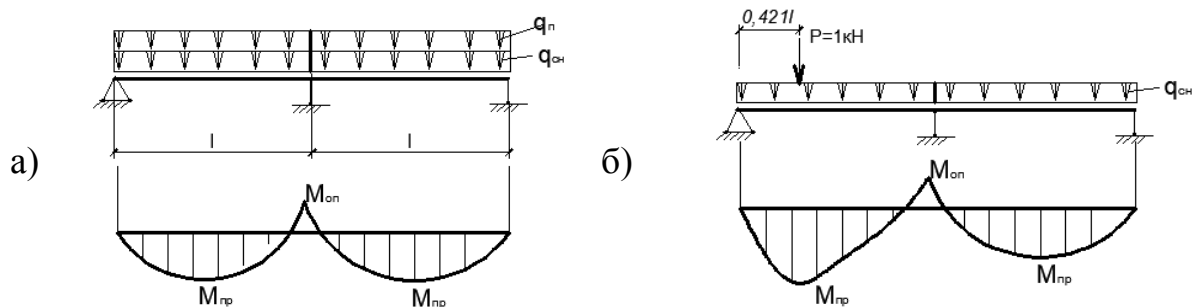


Рис. 5.1. Расчетные схемы для расчета настила

Проверка прочности осуществляется по формуле изгибаемого элемента. Момент в расчетном сечении по первому сочетанию нагрузок определяется:

$$M = \frac{(q_n + q_{сн}) l^2}{8} \quad (5.1)$$

Момент в расчетном сечении по второму сочетанию нагрузок определяется:

$$M = 0,07q_n l^2 + 0,21Pl \quad (5.2)$$

Максимальная величина прогиба балки подсчитывается как

$$f = \frac{2,13q^n l^4}{384IE} \leq [f] \quad (5.3)$$

Сосредоточенный груз P считается приложенным к двум доскам (брускам), если расстояние между осями досок менее 150 мм, при расстоянии более 150 мм весь груз прикладывается к одной доске. При наличии двойного настила сосредоточенный груз P распределяется на ширину рабочего настила, равной 0,5м.

При расчёте прочности настила на действие монтажной нагрузки расчётное сопротивление древесины учитывается коэффициент $m_n = 1,2$.

Расчет прогонов

Прогоны – статически неопределимые системы. Статическая определимость достигается путем введения шарниров.

Различают следующие виды прогонов: разрезные; консольно – балочные и неразрезные.

Разрезные прогоны рассчитывают по формулам простой балки.

Консольно-балочные и неразрезные прогоны могут рассчитываться по равномоментной и равнопрогибной схеме.

Консольно-балочные прогоны, в основном, рассчитывают по равномоментной схеме (рис. 5.2).

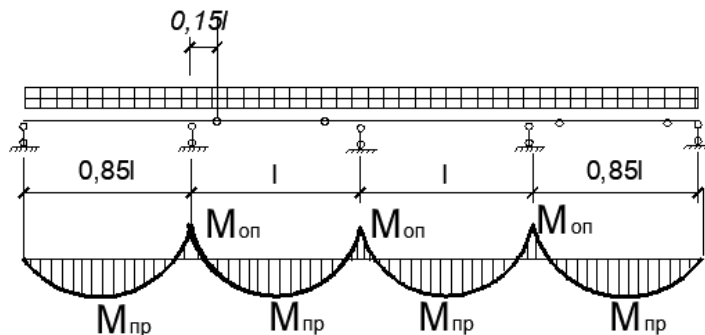


Рис. 5.2 Расчетная схема консольно-балочного прогона, рассчитанного по равномоментной схеме

Прочность прогона определяют по формуле (1.10).

где $M_{он} = M_{пр} = ql^2/8$.

Прогиб рассчитывается:

$$f = \frac{2,0q^n l^4}{384IE} \leq [f] \quad (5.4)$$

Неразрезные прогоны, как правило, рассчитывают по равнопрогибной схеме (рис.5.3).

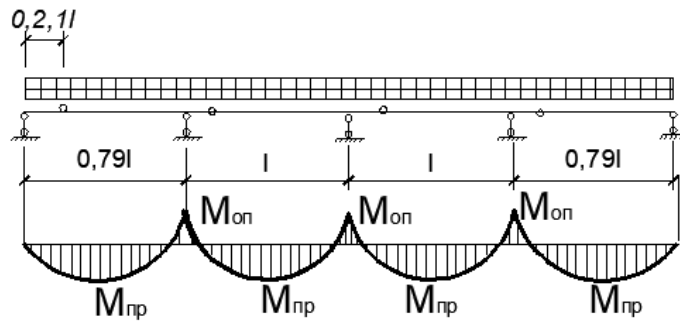


Рис. 5.3 Расчетная схема неразрезного прогона, рассчитанного по равнопрогибной схеме
Прочность прогона определяют по формуле (1.10).

Здесь: $M_{оп} = ql^2/12$; $M_{пр} = ql^2/24$.

Прогиб рассчитывается:

$$f = \frac{q^n l^4}{384IE} \leq [f] \quad (5.5)$$

Кроме этого, в неразрезных прогонах рассчитывается гвоздевой забой.

Задача 5.1 Дано: постоянная расчетная нагрузка $g=78\text{кг/м}^2$. Верхний защитный настил из досок $b \times h = 100 \times 16$ мм прибит под углом 45° к рабочему. Настилы состоят: из нижнего разреженного рабочего и верхнего сплошного. Настилы опираются на стропила, размещенные с шагом $a = 1,5$ м. Район строительства – г. Калининград (II снеговой район, расчетная снеговая нагрузка ($g^p = 140 \text{ кг/м}^2$), Материал – сосна 2-го сорта, $t-w$ условия- 2. Рассчитать настил (подобрать и проверить сечение), являющийся основой под трехслойную рубероидную кровлю, имеющую уклон $i=1:4$, $\alpha=14^\circ$.

Решение

Для расчета рабочего настила условно выделяем расчетную полосу шириной $b_n=1,0\text{м}$. Расчетная схема настила – двухпролетная шарнирно опертая неразрезная балка с горизонтальными проекциями пролетов/

Подбор сечения рабочего настила при первом сочетании от собственного веса и веса снега, распределенного по всей длине щита:

$$q_x = (g + s \cdot \cos \alpha) \cos \alpha \cdot l = (78 + 140 \cdot \cos 14^\circ) \cdot \cos 14^\circ \cdot 1,5 = 311,23 \text{ кг/м}.$$

Расчетный изгибающий момент в сечении над средней опорой:

$$M = ql^2/8 = 311,23 \times 1,5^2/8 = 87,53 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Требуемый момент сопротивления:

$$W_{mp} = \frac{M}{R_u \cdot m_g} = \frac{31123}{195 \cdot 0,66 \cdot 0,9} = 68,0 \text{ см}^3.$$

Принимаем доски сечением $b \times h = 10 \times 2,5 \text{ см}$.

Требуемая общая ширина досок на полосе шириной 1 м

$$B_{mp} = \frac{6W_{mp}}{h^2} = \frac{6 \cdot 68,0}{2,5^2} = 65,3 \text{ см}.$$

$$\text{Шаг расстановки досок } a = \frac{100b}{b_{mp}} = \frac{100 \cdot 15}{18} = 15,3 \text{ см} .$$

Проверка несущей способности настила при втором сочетании расчетных нагрузок от собственного веса $q^p = 78 \times 1,5 \cdot 0,97 = 113,5 \text{ кг/м}$. Вес груза $P = 120 \times 2 = 240 \text{ кг}$.

Так как расстояние между досками более 150 мм, то груз P прикладывается каждой из двух досок, приложенного на расстоянии $a = 0,43l = 0,43 \times 1,1 = 0,5 \text{ м}$ от крайней опоры. Максимальный изгибающий момент, возникающий в сечении под грузом:

$$M_2 = 0,07 q l^2 + 0,21 P l = 0,07 \cdot 113,5 \cdot 1,5^2 + 0,21 \cdot 240 \cdot 1,5 = 93,47 \text{ кгм}.$$

Напряжение равно:

$$\sigma = \frac{M}{W} \leq R_u \cdot 0,66 \cdot m_n \cdot m_g;$$

$$\sigma = \frac{9347}{68} = 135,5 \leq 195 \cdot 0,66 \cdot 1,2 \cdot 0,9 = 139 \text{ кг/см}^2;$$

Определяем прогиб настила:

$$\frac{f}{l} = \frac{2,13 q^n l^3}{384 I \cdot E} = \frac{2,13 \cdot 244,3 \cdot 150^3}{384 \cdot 100000 \cdot 85} = 0,53 \text{ см} < \left[\frac{150}{150} \right] = 1,0 \text{ см}$$

$$q_n = (g + s \cdot \cos \alpha) \cos \alpha \cdot l = (78/1,1 + 100 \cdot \cos 14^\circ) \cdot \cos 14^\circ \cdot 1,5 = 244,3 \text{ кг/м};$$

$$I = \frac{B h^3}{12} = \frac{65,3 \cdot 2,5^3}{12} = 85 \text{ см}^4.$$

Задача 5.2 Дано: нормативная нагрузка на прогон $g_n = 1,24 \text{ кН/м}^2$; расчетная нагрузка на прогон $g_p = 1,53 \text{ кН/м}^2$, $q_{с.в.н} = 0,12 \text{ кН/м}$; $q_{с.в.р} = 0,132 \text{ кН/м}$; шаг прогонов 1,25 м; район строительства – II. Материал – сосна 2-го сорта, т-в условия- 1, уклон $i = 0,1$. Рассчитать неразрезной прогон (рис. 5.4).

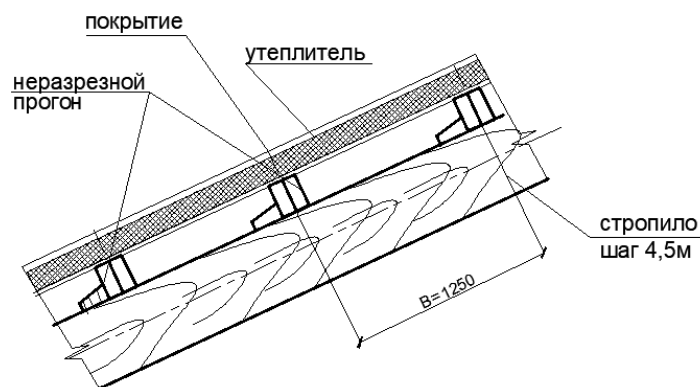


Рис. 5.4. К расчету прогона

Решение

$$\operatorname{tg} \alpha = 0,1; \quad \alpha = 5^\circ 14'; \quad \cos \alpha = 0,995$$

Рассчитываем погонную нагрузку:

$$q_n = g_n \cdot \cos \alpha = 1,24 \cdot 0,995 \cdot 1,5 = 1,8 \text{ кН/м};$$

$$q_{сн} = g_{сн} \cdot \cos^2 \alpha = 1,0 \cdot 0,995^2 \cdot 1,5 = 0,14 \text{ кН/м};$$

$$q^H = q_n + q_{сн} + q_{с.в.н} = 1,8 + 0,14 + 0,12 = 2,12 \text{ кН/м};$$

$$q_p = g_p \cdot \cos \alpha = 1,53 \cdot 0,995 \cdot 1,5 = 2,28 \text{ кН/м};$$

$$q_{сн,p} = g_{сн,p} \cdot \cos^2 \alpha = 1,4 \cdot 0,995^2 \cdot 1,5 = 0,21 \text{ кН/м};$$

$$q^p = q_p + q_{сн,p} + q_{с.в.p} = 2,28 + 0,21 + 0,132 = 2,62 \text{ кН/м}.$$

Подбираем сечение:

$$M = ql^2/12 = 2,62 \times 4,5^2/12 = 4,42 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

$$W_{mp} = \frac{M}{\frac{R_u \cdot m_e}{\gamma}} = \frac{442}{\frac{1,95 \cdot 0,66}{0,95}} = 327 \text{ см}^3.$$

Принимаем сечение из двух досок, сечением $50 \times 150 \text{ мм}$.

По сортаменту принимаем $I_x = 2812,5 \text{ см}^2$; $W_x = 375 \text{ см}^4$.

Проверяем прогиб прогона:

$$\frac{f}{l} = \frac{q^H l^3}{384 I \cdot E} = \frac{0,0212 \cdot 450^3}{384 \cdot 100000 \cdot 2812,5} = 0,002 \text{ см} < \left[\frac{450}{200} \right] = 2,25 \text{ см}.$$

Расчет гвоздевого забоя:



Рис. 5.5 К расчету гвоздевого забоя

Принимаем $d_{зг} = 4 \text{ мм}$. $S_1 = 15d = 60 \text{ мм}$; $l_{зг} = 120 \text{ мм}$.

$a = 5 \text{ см}$, $c = 5 \text{ см}$.

Расчетная несущая способность:

$$T_{см}^c = 0,55 cd \cdot m_{дл} = 0,55 \cdot 5 \cdot 0,4 \cdot 0,66 = 0,73 \text{ кН};$$

$$T_u = 0,31d^2 + 0,012a_1 \cdot m_{дл} = 0,31 \cdot 0,4^2 + 0,012 \cdot 4,4^2 \cdot 0,66 = 0,2 \text{ кН}.$$

$$5d^2 = 5 \cdot 0,4^2 = 0,8 \text{ кН}; \quad 0,2 \text{ кН} < 0,8 \text{ кН}.$$

$$X_{зг} = 0,21l - 1,5S_1 = 94,5 - 1,5 \cdot 6 = 85,5 \text{ см}$$

$$n_{зг} = \frac{M}{2X_{зг} \cdot T_{\min}} = \frac{442}{2 \cdot 85,5 \cdot 0,2} = 12,9 \text{ шт}.$$

Принимаем 14 шт. гвоздей.

5.3. Методические рекомендации практическому занятию №5

Для лучшего усвоения студентом методики расчета стропильных конструкций необходимо:

- обязательное повторение лекционного материала по заявленной тематике;

- ознакомление с алгоритмом решения стропильных конструкций (настила прогонов).

Для закрепления практического занятия необходимо, чтобы студенты самостоятельно, но под руководством преподавателя смогли решить задачи согласно варианту, представленные в таблице 5.1 и 5.2. Для этого задачи с определенным вариантом выдаются преподавателем группе из четырех человек с разницей в видах настила и прогона. Отчет по практическим работам представляется преподавателю в виде расчетов в конце прохождения дисциплины.

Для выполнения задания необходимо использовать:

1. СП 64.13330.2017 Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80: АО "НИЦ "Строительство" - ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко- С.102;

3. Г.Н. Зубарев, Ф.А. Бойтемиров, В.М. Головина, В.И. Ковликов, Э.М. Улицкая: Конструкции из дерева и пластмасс. Учеб. пособие для студ. вузов / Под ред. Ю.Н.Хромца.— 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Издательский центр «Академия», 2004. — 304 с.

4. Проектирование и расчет деревянных конструкций: Справочник И.М. Гринь, В.В. Фурсов, Д.М. Бабушкин и др.; под ред. И.М. Гриня.- К.: Будивэльник, 1988.- 240 с.

6. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №6

Тема: Расчет треугольной металлодеревянной фермы.

Цель практического задания: приобретение студентом практических навыков расчета и конструирования треугольных дощатокленных ферм.

В результате данного практического занятия студент должен:

- **знать** различные методы определения внутренних усилий ферм различной конфигурации;
- **уметь** подобрать материал для нижнего растянутого пояса (в зависимости от пролета фермы), используя нормативную и техническую литературу.

6.1. Задания для практического занятия №6

Рассчитать треугольную металлодеревянную раскосную деревянную ферму.

Таблица 6.1 – Исходные данные для расчета треугольной фермы

№ Вар.	Исходные данные					
	Пролет l , м	Шаг, B , м	порода	t-w условия	сорт	Район стр-ва
1	2	3	4	5	6	7
1	11,0	5,0	ель	1	2	Калининград
2	12,0	6,0	пихта	2	2	Сочи
3	15,0	5,5	сосна	2	3	Игарка
4	18,0	4,5	ель	2	1	Рязань
5	21,0	4,9	тополь	1	2	Благовещенск
6	23,0	5,2	сосна	1	2	Уренгой
7	14,0	6,0	бук	2	2	Челябинск
8	25,0	5,1	сосна	2	3	Светлогорск
9	16,0	5,3	ель	2	1	Томск
10	25,0	4,7	пихта	1	2	Омск
11	21,0	5,0	сосна	2	2	Новосибирск
12	18,0	6,0	сосна	2	2	Чита
13	24,0	5,5	ель	2	2	Оренбург
14	15,0	4,5	пихта	2	2	Москва

6.2. Пример расчета треугольной клеждошатай фермы

Треугольные клееные фермы могут иметь верхний пояс из двух клееных панелей разной длины, более длинной и мощной является первая от опоры панель. В зависимости от расположения элементов решетки (фермы с нисходящими или с восходящими раскосами) все растянутые элементы выполняют стальными, а сжатые из клееной древесины. Панели верхнего пояса в узлах стыкуют с эксцентриситетом.

Вначале расчета необходимо вычертить схему фермы на миллиметровой бумаге. Определиться с ее геометрией.

Далее необходимо определить нагрузки, действующие на ферму. Они складываются из постоянных (от собственной массы фермы и ограждающих конструкций покрытия) и временных (от снега, от кранов).

Вес снегового покрова определяют с учетом района строительства и по схеме ее распределения (рис. 6.1).

Статический расчет фермы сводится к определению усилий от внешних нагрузок в элементах фермы. Для всех стержней определяется значение продольной силы N , а для верхнего пояса еще и изгибающий момент M .

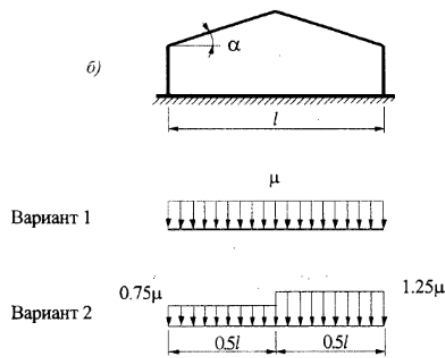


Рис. 6.1. Схема распределения снеговой нагрузки для треугольной фермы

Все данные заносятся в таблицу (например):

Стержни верхнего пояса (кН)		Стержни нижнего пояса (кН)		Стержни решетки (стойки) (кН)		Стержни решетки (раскосы) (кН)	
Усилия	Значение	Усилие	Значение	Усилие	Значение	Усилие	Значение

Ширина сечения элементов фермы определяется по предельному значению гибкости. Для элементов ферм установлены следующие предельные значения гибкостей ($\lambda_{пр}$):

- для верхнего пояса $\lambda_{пр}=120$;
- для элементов решетки $\lambda_{пр}=150$;
- для нижнего пояса из стали $\lambda_{пр}=400$.

Ширину сечения верхнего пояса и элементов решетки назначаем по значению радиуса инерции

$$r = \frac{l}{0,29}, \quad (6.1)$$

где l – расчетная длина стержня фермы.

$$b_{\min} = \frac{r}{0,29}. \quad (6.2)$$

Высоту сечения верхнего пояса определяют, пользуясь приближенной формулой для момента сопротивления:

$$W = \frac{M_{\max}}{0,8R_u}. \quad (6.3)$$

По известным b и W находят h .

После подбора сечений элементов фермы, выполняют проверку их прочности.

Прочность верхнего разрезного пояса рассчитывается как сжато – изгибаемого:

$$\sigma = \frac{N}{F_{нт}} + \frac{M}{W_{нт}} \leq R_c m_{\partial n} \Pi m_i, \quad (6.4)$$

где:

N - расчетное значение сжимающей силы;

$F_{нт}$ – площадь нетто расчетного сечения;

M_{δ} – изгибающий момент от действия поперечных и продольных нагрузок, равный:

$$M_{\delta} = M/\xi, \quad (6.5)$$

где ξ - коэффициент, изменяющийся от 1 до 0, учитывающий дополнительный момент от продольной силы вследствие прогиба элемента, определяемый по формуле:

$$\xi = 1 - \frac{N}{\varphi \cdot F_{рас} \cdot R_c}, \quad (6.6)$$

коэффициент продольного изгиба определяется

$$\varphi = 3000/\lambda^2 \quad (6.7)$$

Изгибающий момент M , вызванный наличием межузловой равномерно распределенной нагрузкой, определяется по балочным формулам:

$$M = \frac{ql^2}{8}. \quad (6.8)$$

Суммарный изгибающий момент в середине пролета l , в этом случае вычисляется по формуле:

$$M = M_q - M_n, \quad (6.9)$$

где

$$M_n = N \cdot e. \quad (6.10)$$

Прочность сжатых элементов ферм проверяют на устойчивость по формуле:

$$\frac{N}{F_{расч} \cdot \varphi} \leq R_c m_{\delta l} \Pi m_i, \quad (6.11)$$

$F_{расч}$ - расчетная площадь сечения;

N - расчетная продольная сила;

φ – коэффициент продольного изгиба, определяемый в зависимости от гибкости элемента;

R_c – расчетное сопротивление древесины сжатию.

Прочность клееного шва определяют по формуле:

$$\tau = \frac{QS_{om}}{I_{\delta p} b_{рас}} \leq R_{ск} m_{\delta l} \Pi m_i; \quad (6.12)$$

Проверка устойчивости плоской формы деформирования:

$$\frac{N}{\varphi R_c F_{расч}} + \left(\frac{M_{\delta}}{\varphi_m R_u W_{\delta p}} \right)^n \leq 1; \quad (6.13)$$

Кроме этого, согласно СП «Деревянные конструкции» для сжатоизогнутых стержней, коэффициенты φ и φ_m должны умножаться на коэффициенты k_{IN} и k_{IM} соответственно.

$$k_{IN} = 1 + \left[0,75 + 0,06 \cdot \left(\frac{l_p}{h} \right)^2 + 0,6 \cdot \alpha_p \cdot \frac{l_p}{h} - 1 \right] \cdot \frac{m^2}{m^2 + 1}; \quad (6.14)$$

$$k_{IM} = 1 + \left[0,142 \cdot \frac{l_p}{h} + 1,76 \cdot \frac{l_p}{h} + 1,4\alpha_p - 1 \right] \cdot \frac{m^2}{m^2 + 1}; \quad (6.15)$$

Растянутые деревянные элементы проверяют на прочность по формуле:

$$\frac{N}{F_{nm}} \leq R_p m_{dl} \Pi m_i. \quad (6.16)$$

стальные по формуле:

$$\sigma = \frac{N}{F_{sm} \cdot \gamma} \leq R_u \quad (6.17)$$

Расчет узлов ферм

Опорные узлы ферм из дощатоклееных элементов, осуществляют путем упора крайней панели верхнего пояса в стальной опорный башмак, к которому приварены стальные элементы нижнего пояса.

Опорный узел проверяется на смятие по площадке смятия $F_{см}$ по формуле:

$$\frac{N}{F_{см}} \leq R_{см} m_{dl} \Pi m_i. \quad (6.18)$$

Стальная опорная диафрагма рассчитывается на изгиб.

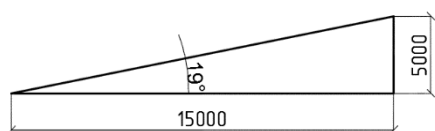
Коньковый узел треугольной фермы решается в виде наклонного лобового упора, перекрытого деревянными или металлическими накладками на болтах.

Задача 6.1. Дано: Ферма пролетом 30 м, шаг несущих конструкций - 5,5 м; район строительства: г. Калининград; температурно-влажностный режим:

I ; порода древесины – сосна; постоянная расчетная нагрузка: $q_n^p = 47,94 \frac{кг}{м^2}$.

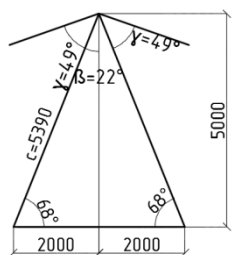
Геометрический расчет треугольной фермы.

Определяем высоту фермы: $h_\phi = 1/6l = 30/6м = 5м.$



Угол при основании фермы:

$$tg\alpha = \frac{5}{15} = \frac{1}{3}; \quad \alpha = 19^\circ.$$



$$\operatorname{tg} \beta = \frac{2}{5}; \quad \beta = 22^\circ;$$

$$\gamma = \frac{180 - 19 \cdot 2 - 44}{2}; \quad \gamma = 49^\circ.$$

$$c = \sqrt{25 + 4} = 5,39 \text{ м.}$$

Теорема синусов:

$$\frac{5,39}{\sin 87^\circ} = \frac{a}{\sin 49^\circ}; \quad a = 4,07 \text{ м.}$$

Теорема косинусов:

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2 \cdot a \cdot b \cdot \cos \gamma;$$

$$c = \sqrt{16 + 16,565 - 32,56 \cdot 0,375} = 4,513 \text{ м;}$$

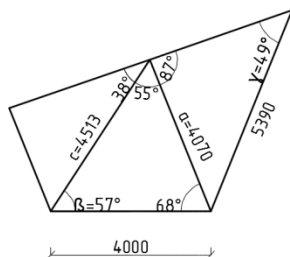
$$180^\circ - 57^\circ - 68^\circ = 55^\circ; \quad 180^\circ - 55^\circ - 87^\circ = 38^\circ.$$

$$\frac{4,07}{\sin \beta} = \frac{4,513}{\sin 68^\circ};$$

$$\sin \beta = \frac{4,07 \cdot \sin 68^\circ}{4,513} = 0,8362; \quad \beta = 57^\circ.$$

Теорема синусов:

$$\frac{4,513}{\sin 87^\circ} = \frac{a}{\sin 38^\circ}; \quad a = \frac{4,513 \cdot \sin 38^\circ}{\sin 87^\circ} = 2,784 \text{ м.}$$



Теорема косинусов:

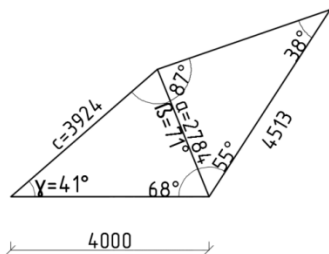
$$c^2 = a^2 + b^2 - 2 \cdot a \cdot b \cdot \cos \gamma;$$

$$c = \sqrt{16 + 7,75 - 22,272 \cdot 0,375} = 3,924 \text{ м;}$$

Теорема синусов:

$$\frac{3,924}{\sin 68^\circ} = \frac{4}{\sin \beta}; \quad \sin \beta = \frac{4 \cdot \sin 68^\circ}{3,924};$$

$$\beta = 71^\circ; \quad 180^\circ - 68^\circ - 71^\circ = 41^\circ.$$



Определение усилий, действующих на ферму.

Согласно СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия» для зданий с двускатными покрытиями схемы снеговых нагрузок следует принимать (рис. 6.1):

Треугольную ферму рассчитываем по следующим загружениям:

1. Постоянная и снеговая нагрузка, распределенная по всему пролету;
2. Постоянная, распределенная на весь пролет и снеговая нагрузка, распределенная на половину пролета с $0,75\mu$;
3. Постоянная, распределенная на весь пролет и снеговая нагрузка, распределенная на половину пролета с $1,25\mu$;

Расчетная постоянная нагрузка: $g_n^p = 47,94 \frac{\text{кГ}}{\text{м}^2}$.

Нормативная снеговая нагрузка согласно СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия» рассчитывается по формуле:

$$S_0 = S_g \cdot c_B \cdot c_t \cdot \mu \quad S_0 = 100 \text{кГ} / \text{м}^2.$$

расчетная снеговая нагрузка: $g_{сн}^p = 100 \cdot 1,4 = 140 \frac{\text{кГ}}{\text{м}^2}$.

Погонная нагрузка на ферму (в нашем случае шаг составляет 5,5 м):

$$q_n = 47,94 \cdot 5,5 = 263,67 \text{кГ} / \text{м}^2 = 2,64 \text{кН} / \text{м};$$

$$q_{сн} = 140 \cdot 5,5 = 770 \text{кГ} / \text{м}^2 = 7,7 \text{кН} / \text{м}.$$

Приводим к сосредоточенной нагрузке, приложенной к узлам верхнего пояса:

$$P_A = (q^n + q^{сн}) \left(\frac{l_{A-13}}{2} \right) = (2,64 + 7,7) \cdot \frac{5}{2} = 25,83 \text{кН} = P_B;$$

$$P_1 = (q^n + q^{сн}) \left(\frac{l_{A-13}}{2} + \frac{l_{13-12}}{2} \right) = (2,64 + 7,7) \left(\frac{5}{2} + \frac{4}{2} \right) = 46,5 \text{кН} = P_7;$$

$$P_2 \dots P_6 = (q^n + q^{сн}) \cdot \left(\frac{l_{13-12}}{2} + \frac{l_{12-11}}{2} \right) = (2,64 + 7,7) \cdot \left(\frac{4}{2} + \frac{4}{2} \right) = 41,32 \text{кН}.$$

Опорные реакции: $V_A = V_B = P_A + P_1 + P_2 + P_3 + \frac{P_4}{2};$

$$V_A = V_B = 25,83 \text{кН} + 46,5 \text{кН} + 41,32 \text{кН} + 41,32 \text{кН} + \frac{41,32 \text{кН}}{2} = 175,6 \text{кН}.$$

Рассмотрим 1 тип загрузки: постоянная и снеговая нагрузка, распределенная по всему пролету

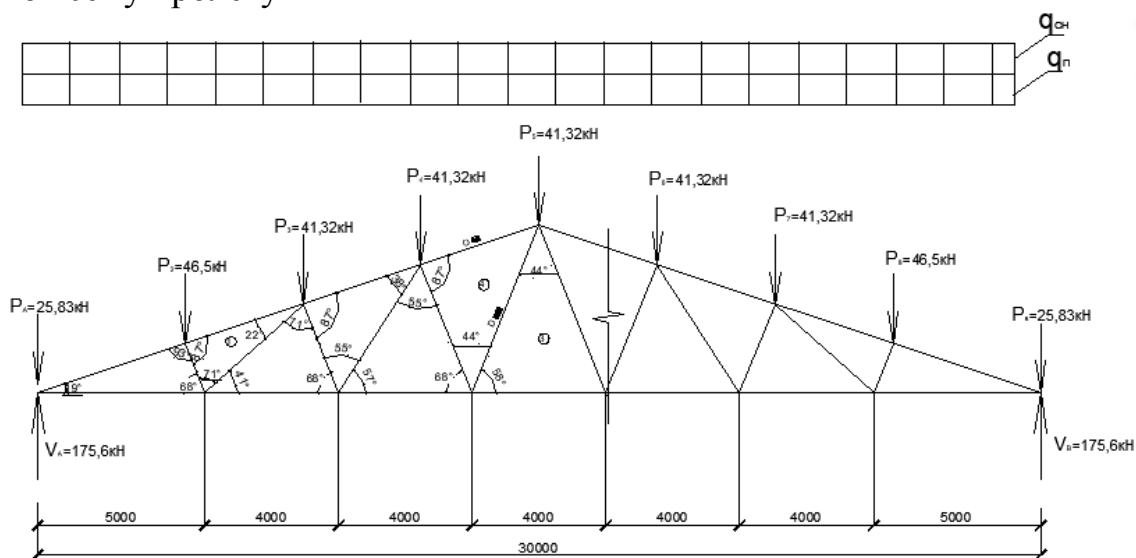


Рис. 6.2. Схема треугольной фермы

Результаты вычислений представлены в табл. 6.2.

Таблица 6.2 – Результаты значений для первого вида загрузки

Стержни верхнего пояса (кН)		Стержни нижнего пояса (кН)		Стержни решетки (стойки) (кН)		Стержни решетки (раскосы) (кН)	
Усилия	Значение	Усилие	Значение	Усилие	Значение	Усилие	Значение
O _{A-1}	-474,0	U _{A-13}	449,54	D ₁₋₁₃	-44,2	D ₂₋₁₃	61,2
O ₁₋₂	-456,4	U ₁₃₋₁₂	387,85	D ₂₋₁₂	-63,8	D ₃₋₁₂	70,2
O ₂₋₃	-383,3	U ₁₂₋₁₁	325,5	D ₃₋₁₁	-84,2	D ₄₋₁₁	83,2
O ₃₋₄	-310,0	U ₁₁₋₁₀	263,4	D ₈₋₇	-84,2	D ₆₋₈	83,2
O ₄₋₅	-310,0	U ₁₀₋₉	325,5	D ₉₋₆	-63,8	D ₅₋₉	70,2
O ₅₋₆	-383,3	U ₉₋₈	387,85	D ₁₀₋₅	-44,2	D ₄₋₁₀	61,2
O ₆₋₇	-456,4	U _{8-B}	449,54				
O _{7-B}	-474,0						

O_i-усилия в стержнях верхнего пояса; U_i-усилия в стержнях нижнего пояса; D_i-усилия в раскосах; V_i-усилия с стойках.

2-ой вариант загрузки:

1. Постоянная, распределенная на весь пролет и снеговая нагрузка, распределенная на половину пролета с 0,75μ;
2. Постоянная, распределенная на весь пролет и снеговая нагрузка, распределенная на половину пролета с 1,25μ;

$$q_n = 2,64 \text{ кН / м};$$

$$q_{сн} = 7,7 \text{ кН / м}.$$

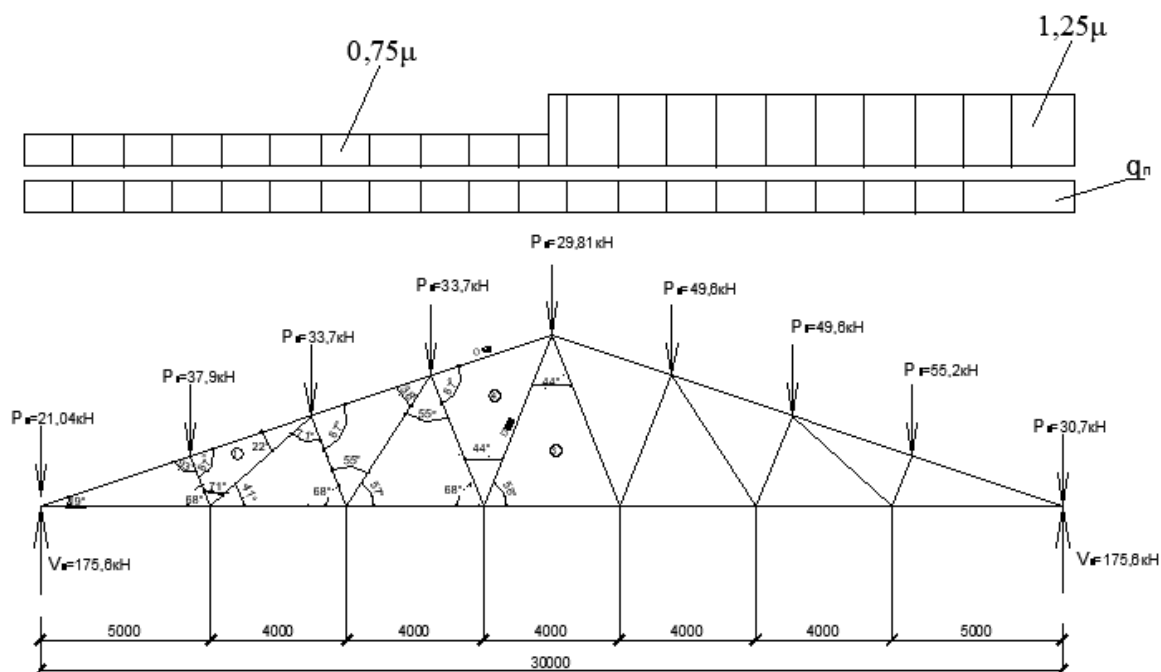


Рис. 6.3. Усилия, полученные по второму варианту загрузки

Определение усилий, действующих на ферму

Находим снеговую нагрузку по второму варианту загрузки:

$$q_{сн,0,75} = q_{сн} \cdot \mu = 7,7 \cdot 0,75 = 5,78 \text{ кН / м};$$

$$q_{ch.1,25} = q_{ch} \cdot \mu = 7,7 \cdot 1,25 = 9,63 \text{ кН / м.}$$

Приводим к сосредоточенной нагрузке, приложенной к узлам:

$$P_A = (q^n + q_{ch.0,75}) \cdot \frac{l_{A-13}}{2} = (2,64 + 5,78) \cdot \frac{5}{2} = 21,04 \text{ кН};$$

$$P_1 = (q^n + q_{ch.0,75}) \cdot \frac{l_{A-13}}{2} + \frac{l_{13-12}}{2} = (2,64 + 5,78) \cdot \frac{5}{2} + \frac{4}{2} = 37,9 \text{ кН};$$

$$P_2 = P_3 = (q^n + q_{ch.0,75}) \cdot \frac{l_{13-12}}{2} + \frac{l_{12-11}}{2} = (2,64 + 5,78) \cdot \frac{4}{2} + \frac{4}{2} = 33,7 \text{ кН};$$

$$P_4 = q^n \cdot l_{10-11} + q_{ch.1,25} \cdot \frac{l_{10-11}}{2} = 2,64 \cdot 4 + 9,63 \cdot \frac{4}{2} = 29,81 \text{ кН};$$

$$P_5 = P_6 = (q^n + q_{ch.1,25}) \cdot \frac{l_{8-9}}{2} + \frac{l_{9-10}}{2} = (2,64 + 9,63) \cdot \frac{4}{2} + \frac{4}{2} = 49,6 \text{ кН};$$

$$P_7 = (q^n + q_{ch.1,25}) \cdot \frac{l_{B-8}}{2} + \frac{l_{8-9}}{2} = (2,64 + 9,63) \cdot \frac{5}{2} + \frac{4}{2} = 55,2 \text{ кН};$$

$$P_B = (q^n + q_{ch.1,25}) \cdot \frac{l_{B-8}}{2} = (2,64 + 9,63) \cdot \frac{5}{2} = 30,7 \text{ кН}.$$

Определяем опорные реакции V_A и V_B

$$\sum M_B = 0.$$

$$V_A \cdot 30 + 21,04 \cdot 30 + 37,9 \cdot 25,6 + 33,7 \cdot 22,1 + 33,7 \cdot 18,54 + 29,84 \cdot 15 + 49,6 \cdot 11,5 + 49,6 \cdot 7,93 + 55,2 \cdot 4,4 = 0.$$

$$V_A = 154,1 \text{ кН}.$$

$$\sum M_A = 0.$$

$$V_B \cdot 30 + 30,7 \cdot 30 + 55,2 \cdot 25,6 + 49,6 \cdot 22,1 + 49,6 \cdot 18,54 + 29,84 \cdot 15 + 33,7 \cdot 11,5 + 33,7 \cdot 7,93 + 37,9 \cdot 4,4 = 0.$$

$$V_B = 187,3 \text{ кН}.$$

Результаты вычислений представлены в таблице 8.2.

Расчет панели верхнего пояса

Верхний пояс рассчитываем как сжато-изгибаемый элемент на максимальное усилие от расчетной нагрузки:

$$N_{\max} = O_{7-B} = 494,83 \text{ кН}; \quad q_{ch.} = 9,63 \text{ кН / м}; \quad q_n = 2,64 \text{ кН / м};$$

$$q = (q^n + q_{ch}) = 2,64 + 9,63 = 15,4 \text{ кН / м}.$$

Таблица 6.3 – Результаты значений, вычисленных для второго и третьего варианта нагружения

Стержни верхнего пояса (кН)		Стержни нижнего пояса (кН)		Стержни решетки (стойки) (кН)		Стержни решетки (раскосы) (кН)	
O _{A-1}	- 420,80	U _{A-13}	399,2	D ₁₋₁₃	-36,0	D ₂₋₁₃	49,9
O ₁₋₂	- 406,55	U ₁₃₋₁₂	348,3	D ₂₋₁₂	-52,0	D ₃₋₁₂	57,4
O ₂₋₃	-347,00	U ₁₂₋₁₁	298,1	D ₃₋₁₁	-68,1	D ₄₋₁₁	68,0
O ₃₋₄	-287,34	U ₁₁₋₁₀	247,1	D ₈₋₇	-52,5	D ₆₋₈	72,6
O ₄₋₅	-300,00	U ₁₀₋₉	321,8	D ₉₋₆	-72,3	D ₅₋₉	84,11
O ₅₋₆	-387,12	U ₉₋₈	395,84	D ₁₀₋₅	-99,96	D ₄₋₁₀	92,83
O ₆₋₇	-474,11	U _{8-B}	469,32				
O _{7-B}	-494,83						

Рассчитываем прочность верхнего пояса:

$$\sigma = \frac{N}{F_{расч}} + \frac{M_{\delta}}{W_{расч}} \leq R_c \cdot m_{\delta}$$

N - сжимающее усилие; F_p - расчетная площадь сечения элемента;

M_{δ} - изгибающий момент; R_c - расчетное сопротивление древесины сжатию; $m_{\delta} = 0,66$ (табл. П.2.2, П2).

Для определения размеров поперечного сечения верхнего пояса определяем требуемую площадь:

$$F_{mp} = \frac{N}{0,7 R_c \cdot m_{\delta}} = \frac{494830}{0,7 \cdot 19,5 \cdot 0,66} = 54926,18 \text{ мм}^2 = 549,3 \text{ см}^2.$$

Принимаем $b = 18 \text{ см}$

$$h_p = 3,3 \cdot n = 3,3 \cdot 12 = 39,6 \text{ см}.$$

$$\text{Расчетная площадь равна: } F_p = bh = 18 \cdot 39,6 = 712,8 \text{ см}^2.$$

$$\text{Момент сопротивления: } W = \frac{bh^2}{6} = \frac{18 \cdot 39,6^2}{6} = 4704 \text{ см}^3.$$

$$\text{Момент инерции: } I = \frac{bh^3}{12} = \frac{18 \cdot 39,6^3}{12} = 93148,7 \text{ см}^4.$$

Деформационный момент равен:

$$M_{\delta} = \frac{M}{\xi} = \frac{18,4}{0,7} = 26,16 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

$$M = \frac{ql^2}{8} - Ne = \frac{15,4 \cdot 5^2}{8} - 494,83 \cdot 0,06 = 18,4 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

$$\xi = 1 - \frac{N}{\varphi R_c m_{\delta} F_{расч}} = 1 - \frac{494830 \cdot 43,53^2}{3000 \cdot 21,5 \cdot 0,66 \cdot 71200} = 0,7.$$

$$\lambda_x = \frac{l_0}{0,29h} = \frac{1 \cdot 500}{0,29 \cdot 39,7} = 43,53$$

$$\sigma = \frac{494830}{71280} + \frac{26,16 \cdot 10^6}{4704480} = 12 \text{ МПа} \leq 22,5 \cdot 0,66 = 15 \text{ МПа}.$$

Условие прочности выполняется.

Проверка устойчивости плоской формы деформирования

$$\frac{N}{\varphi k_{IN} R_c F_{расч}} + \left(\frac{M_\delta}{\varphi_m k_{IM} R_u W_{\delta p}} \right)^n \leq 1;$$

n=1;

$$k_{IN} = 1 + \left[0,75 + 0,06 \cdot \left(\frac{l_p}{h} \right)^2 + 0,6 \cdot \alpha_p \cdot \frac{l_p}{h} - 1 \right] \cdot \frac{m^2}{m^2 + 1};$$

$$k_{IN} = 1 + \left[0,75 + 0,06 \cdot \left(\frac{1500 \cdot 0,25}{39,6} \right)^2 + 0 - 1 \right] \cdot 1 = 1,34$$

$$k_{IM} = 1 + \left[0,142 \cdot \frac{l_p}{h} + 1,76 \cdot \frac{l_p}{h} + 1,4 \alpha_p - 1 \right] \cdot \frac{m^2}{m^2 + 1};$$

$$k_{IM} = 1 + \left[0,142 \cdot \frac{1500 \cdot 0,25}{39,6} + 1,76 \cdot \frac{39,6}{1500 \cdot 0,25} + 0 - 1 \right] \cdot 1 = 1,53;$$

$$\lambda_y = \frac{l_0}{0,29b} = \frac{1 \cdot 375}{0,29 \cdot 18} = 71,83. \quad \varphi = \frac{3000}{71,83^2} = 0,58$$

$$\varphi_m = 140 \frac{b^2}{l_p h} \cdot k_\phi = 140 \cdot \frac{18^2}{1500 \cdot 0,25 \cdot 36,9} \cdot 1 = 3,27,$$

$$k_\phi = 1,13 - 0,13 = 1.$$

$$\xi = 1 - \frac{N}{\varphi R_c m_{\delta l} F_{расч}} = 1 - \frac{494830}{325 \cdot 21,5 \cdot 0,66 \cdot 71200} = 0,16.$$

$$M_\delta = \frac{M}{\xi} = \frac{18,4}{0,16} = 115 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

$$\frac{494830}{0,58 \cdot 1,34 \cdot 21,5 \cdot 0,66 \cdot 71200} + \left(\frac{115 \cdot 10^6}{3,27 \cdot 1,53 \cdot 22,5 \cdot 0,66 \cdot 4704000} \right)^1 = 0,97 \leq 1;$$

Расчет панели нижнего пояса

Рассчитываем нижний пояс как центрально-растянутый элемент на максимальное усилие от расчетной нагрузки $U_{8-В}$:

$N=494,93$ кН.

Рассчитываем по формуле для центрально-растянутых элементов:

$$\sigma = \frac{N}{A_N} \leq R_y \cdot \gamma.$$

N - максимальное усилие;

A_N - площадь сечения, нетто;

R_y -расчетное сопротивление стали растяжению;

γ_c - коэффициент условий работы.

$$A^{mp} \geq \frac{N}{R_u \cdot \gamma}; \text{ принимаем сталь С235; } R_y=23,5\text{кН/см}^2; \gamma=1.$$

$$A^{mp} \geq \frac{494,93}{23,5} = 21,5\text{см}^2.$$

Принимаем 2 равнополочных уголка 125x9; $A_p=2 \cdot 22=44\text{см}^2$.

Расчет раскоса на центральное растяжение

Рассчитываем как центрально-растянутый элемент на максимальное усилие от расчетной нагрузки, в нашем случае: раскос D_{4-10} - $N=92,83$ кН.

Рассчитываем по формуле для центрально-растянутых элементов

$$\sigma = \frac{N}{A_N} \leq R_y \cdot \gamma.$$

Принимаем сталь С235,

$$A^{mp} \geq \frac{N}{R_u \cdot \gamma}; \text{ принимаем сталь С235; } R_y=23,5\text{кН/см}^2; \quad \gamma=1.$$

$$A^{mp} \geq \frac{92,83}{23,5} = 3,95\text{см}^2.$$

Принимаем арматуру $d = 24\text{мм}$, $A_p=4,32\text{см}^2$

Расчет стойки на центральное сжатие

Рассчитываем как центрально-сжатый элемент на максимальное усилие от расчетной нагрузки, в нашем случае: D_{5-10} - $N=99,96$ кН.

Рассчитываем по формуле для центрально-сжатых элементов:

$$\frac{N}{\varphi_c F_{расч}} = R_c \cdot m_{dl}.$$

Принимаем $b=14\text{см}$; $h_p=3,3 \cdot n=3,3 \cdot 7=23,1\text{см}$.

Расчетная площадь равна: $F_p = bh = 14 \cdot 23,1 = 323,4\text{см}^2$.

Определяем l_{5*10} ; $l = \sqrt{3,783^2 + 1,54^2} = 4,1\text{м}$.

Определяем гибкость по x и y :

$$\lambda_y = \frac{l_0}{0,29b} = \frac{410}{0,29 \cdot 14} = 100,6 < [150].$$

$$\lambda_x = \frac{l_0}{0,29b} = \frac{410}{0,29 \cdot 23,1} = 61,2 < [150].$$

По наибольшей гибкости находим φ : $\varphi = \frac{3000}{100,6^2} = 0,3$.

$$\frac{99930}{0,3 \cdot 32340} = 10,42 \text{ МПа} < 22,5 \cdot 0,66 = 15 \text{ МПа}.$$

Прочность обеспечена.

Расчет опорного узла

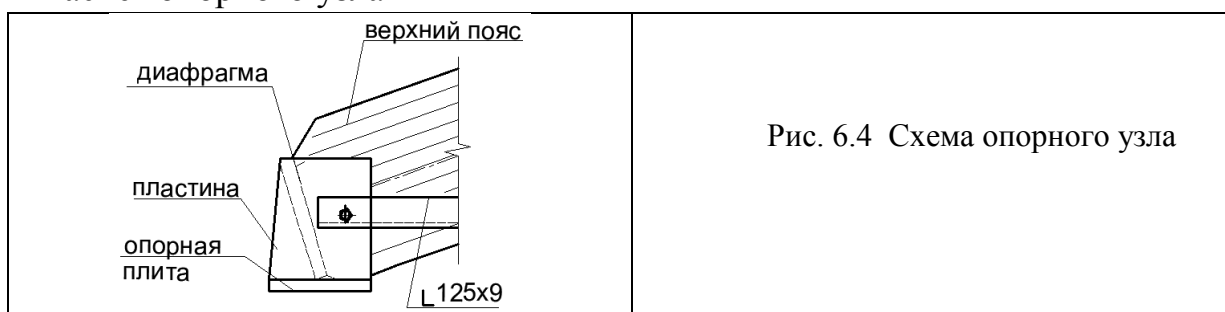


Рис. 6.4 Схема опорного узла

Проверяем напряжение смятия в торце верхнего пояса от сминающей продольной силы: $N=494,93 \text{ кН}$. Напряжение смятия:

$h_{см} = h - 2e = 39,6 - 2 \cdot 6 = 27,6 \text{ см}$; принимаем 30 см.

$$\sigma = \frac{N}{F_{расч}} = \frac{49493}{540} = 92 \text{ кг / см}^2 < R_{см} \cdot m_{дл} = 22,5 \cdot 0,66 = 135 \text{ кг / см}^2.$$

$$F_p = 18 \cdot 30 = 540 \text{ см}^2.$$

Прочность обеспечена,

Расчет конькового узла

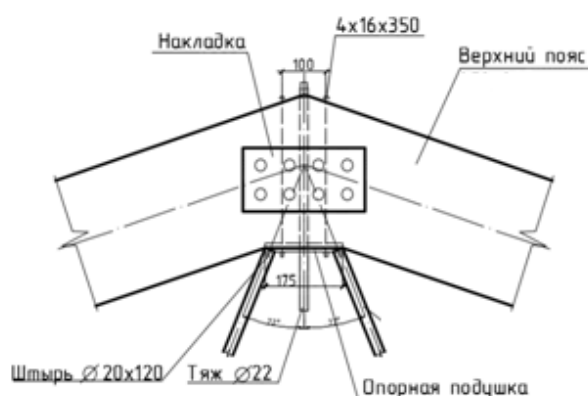


Рис. 6.5 Схема конькового узла

Проверка прочности площадки смятия.

Принимаем $b=18 \text{ см}$; $h_p = 39,60 - 3,3 \cdot 2 = 30 \text{ см}$.

$N = -310 \text{ кН}$.

Определяем максимальное расчетное усилие:

Проверку прочности на смятие проводим по формуле:

$$\sigma = \frac{310000}{54000} = 5,74 \text{ МПа} < 10,56 \cdot 0,66 = 6,97 \text{ МПа}.$$

$$R_{сма} = \frac{R_{см}}{1 + \left(\frac{R_{см}}{R_{см90}} - 1 \right) \cdot \sin^3 \alpha} = \frac{22,5}{1 + \left(\frac{22,5}{4,5} - 1 \right) \cdot \sin^3 41^\circ} = 10,56 \text{ МПа}.$$

Расчетная площадь равна: $F_p = bh = 18 \cdot 30 = 540 \text{ см}^2$.

Прочность обеспечена

Подбор диаметра болтов и их количества

Принимаем: для $N = -310 \text{ кН}$ $d_{болта} = 30 \text{ мм}$.

Определяем несущую способность нагеля на смятие крайних элементов древесины в нагельном гнезде:

$$T_{см}^a = 0,8a d = 0,8 \cdot 10 \cdot 3,0 = 24 \text{ кН}.$$

Определяем несущую способность нагеля на смятие средних элементов древесины в нагельном гнезде:

$$T_{см}^c = 0,5cd = 0,5 \cdot 10 \cdot 3 = 15,0 \text{ кН};$$

Определяем несущую способность на изгиб нагеля:

$$T_u = (2,2d^2 + 0,025a^2) \cdot 0,66 = (2,2 \cdot 3^2 + 0,025 \cdot 7,5^2) \cdot 0,66 = 14,72 \text{ кН}, \text{ но не более}$$

$$3,1d^2 m_{ол} = 3,1 \cdot 3^2 \cdot 0,66 = 18,4 \text{ кН};$$

По наименьшей несущей способности определяем количество болтов:

$$n = \frac{N}{T_{мин} \cdot n_{ув}} = \frac{310}{14,72 \cdot 2} = 10,52 \text{ болта},$$

принимаем 12 болтов диаметром 30мм.

$$1/3N < T_{мин} n = \frac{310}{3} = 103 \text{ кН} < 14,72 \cdot 12 = 176,62 \text{ кН}.$$

6.3. Методические рекомендации практическому занятию №6

Для лучшего усвоения студентом методики расчета ферм:

- обязательное повторение лекционного материала по заявленной тематике, а также повторения курса «Сопротивление материалов»;
- определение необходимых нормативных данных (данные с СП);
- ознакомление с алгоритмом решения ферм с различной конфигурацией решётки в учебной литературе, методических рекомендациях;
- обоснование целесообразности (предпочтительности) принимаемых решений конструирования промежуточных, коньковых и опорных узлов.

Для закрепления практического занятия необходимо, чтобы студенты самостоятельно, но под руководством преподавателя смогли решить задачи согласно варианту, представленные в таблице 4.1. Для этого задачи с определенным вариантом выдаются преподавателем группам из двух человек (разница в схемах загрузки балок и районе строительства, конфигурации решетки) для самостоятельного решения. Для определения района строительства используется свод правил СП20.13330-2016 «Нагрузки и воздействия». По картам районирования, представленным в данном документе, определяется давление снегового покрова (т.е. снеговая нагрузка). Затем выполняется общий сбор нагрузок, действующих на ферму согласно расчетной схеме. Отчет по практическим работам представляется преподавателю в виде расчетов и графического оформления узлов фермы по окончании практического занятия. Студенты заочной формы обучения рассматривают и решают задания на практических занятиях с помощью преподавателя. Задачи, решаемые на практических занятиях, студенты используют при разработке курсового проекта. Для выполнения задания необходимо использовать:

1. СП 64.13330.2017 Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80: АО "НИЦ "Строительство" - ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко- С.114;
2. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*: АО "НИЦ "Строительство" - ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко- С.104;
3. Г.Н. Зубарев, Ф.А. Бойтемиров, В.М. Головина, В.И. Ковликов, Э.М. Улицкая: Конструкции из дерева и пластмасс. Учеб. пособие для студ. вузов / Под ред. Ю.Н. Хромца.— 3-е изд., перераб. и доп. — Москва: Издательский центр «Академия», 2004. — 304 с.
4. Горшков А.Г. и др. Сопrotивление материалов. М.: Физматлит, 2005.
5. Проектирование и расчет деревянных конструкций: Справочник И.М. Гринь, В.В. Фурсов, Д.М. Бабушкин и др.; под ред. И.М. Гриня.- К.: Будивэльник, 1988.- 240 с.

7. Самостоятельная работа студента

Целью самостоятельных занятий является более глубокое изучение студентами отдельных вопросов курса с использованием рекомендуемой литературы и других информационных источников.

Задачами самостоятельной работы являются:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- углубление и расширение теоретических знаний;

- формирование умения использовать нормативную и справочную литературу;

- развитие познавательных способностей и активности студентов, творческой инициативы, ответственности и организованности.

Самостоятельная работа осуществляется в виде изучения литературы, эмпирических данных по публикациям и конкретных ситуаций из практики, подготовке индивидуальных работ, работа с лекционным материалом, самостоятельное изучение отдельных тем дисциплины; поиск и обзор литературы и электронных источников; чтение и изучение учебника и учебных пособий.

Для организации самостоятельной работы обучающимся предоставляются помещения, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета.

Для обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья университетом могут быть представлены специализированные средства обучения, в том числе технические средства коллективного и индивидуального пользования

8. Текущий контроль

Для оценки результатов освоения дисциплины используются:

- оценочные средства текущего контроля успеваемости;
- оценочные средства для промежуточной аттестации по дисциплине.

Текущая аттестация проводится во время практических занятий. К оценочным средствам текущего контроля относятся:

- тестовые задания по отдельным темам (по очной форме обучения);
- задания по практическим занятиям (для очной формы обучения).
- задания к курсовому проекту.

Тестовые задания **текущей аттестации** используются для оценки освоения тем дисциплины студентами очной формы обучения. Тестирование обучающихся проводится в системе ЭИОС после рассмотрения на лекциях и практических занятиях соответствующих тем. Тесты постоянно меняются, но тематика остается неизменной.

Оценка определяется количеством допущенных ошибок при выборе вариантов теста:

- «отлично» – ошибок нет;
- «хорошо» – не более двух ошибок;
- «удовлетворительно» – при трех ошибках;
- «неудовлетворительно» – более трех ошибок.

Текущий контроль по результатам выполнения этапов курсового проекта проводится преподавателем в устной форме. Данный вид контроля проводится на протяжении всего семестра.

При положительном результате сдачи всех этапов текущего контроля студент допускается к экзамену.

Для успешного освоения дисциплины прежде всего необходимо изучить весь лекционный материал по темам, отметить трудные вопросы, обязательно в них разобраться. В заключение еще раз целесообразно повторить основные положения до полного усвоения материала. Усвоение содержания лекций выполнять на базе нормативной и технической литературы. Для приобретения студентом практических навыков проектирования зданий и сооружений, а также конструирования их элементов и узлов необходимо своевременное выполнение заданий в ходе курсового проектирования. Студенты очной формы обучения выполняют данные задания как во время практических занятий, так и во время консультаций, студенты заочной формы обучения – самостоятельно и во время консультаций.

Для успешного изучения дисциплины «Конструкции из дерева и пластмасс» необходимо регулярно повторять лекционный материал, стремиться к повышению уровня знаний через дополнительные источники информации

(библиотечные ресурсы, Интернет и т. д.). Это развивает у студента навыки самостоятельного проектирования зданий и сооружений. Систематическое освоение необходимого учебного материала позволяет быть готовым к промежуточному тестированию и выполнению курсовой работы. Другие, более детальные методические указания по освоению дисциплины приведены в учебно-методических пособиях, которые размещены в системе ЭИОС и находятся в библиотечном фонде КГТУ.

Критерии и нормы оценки представлены в таблице.

Система оценок и критерии выставления оценки

Система оценок Критерий	2	3	4	5
	0-40 %	41-60 %	61-80 %	81-100 %
	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
	«не зачтено»	«зачтено»		
1. Системность и полнота знаний в отношении изучаемых объектов	Обладает частичными и разрозненными знаниями, которые не может научно корректно связывать между собой (только некоторые из них может связывать между собой)	Обладает минимальным набором знаний, необходимым для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает набором знаний, достаточным для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает полнотой знаний и системным взглядом на изучаемый объект
2. Работа с информацией	Не в состоянии находить необходимую информацию, либо в состоянии находить отдельные фрагменты информации в рамках поставленной задачи	Может найти необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, интерпретировать и систематизировать необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, систематизировать необходимую информацию, а также выявить новые, дополнительные источники информации в рамках поставленной задачи
3. Научное осмысление изучаемого явления, процесса, объекта	Не может делать научно корректных выводов из имеющихся у него сведений, в состоянии проанализировать только некоторые из имеющихся у него сведений	В состоянии осуществлять научно-корректный анализ предоставленной информации	В состоянии осуществлять систематический и научно-корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые, релевантные задаче данные	В состоянии осуществлять систематический и научно корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые, релевантные задаче данные, предлагает новые ракурсы поставленной

Система оценок Критерий	2	3	4	5
	0-40 %	41-60 %	61-80 %	81-100 %
	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
	«не зачтено»	«зачтено»		
				задачи
4. Освоение стандартных алгоритмов решения профессиональных задач	В состоянии решать только фрагменты поставленной задачи в соответствии с заданным алгоритмом, не освоил предложенный алгоритм, допускает ошибки	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом, понимает основы предложенного алгоритма	Не только владеет алгоритмом и понимает его основы, но и предлагает новые решения в рамках поставленной задачи

Список рекомендуемых источников

Основная литература

1. Вдовин, В.М. Конструкции из дерева и пластмасс [Текст]: учеб. пособ. / В.М. Вдовин; изд. 2, изменен. - Москва: Издательство Юрайт, 2022. - 186 с.

Дополнительная литература:

1. СП 64.13330.2017 Актуализированная редакция СНиП II-25-80*Деревянные конструкции (С изменениями 1.2.3.) / АО "НИЦ "Строительство" - ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. - дата введения 2017-08-28.- 108 с.
2. Иванов, В. Ф. Конструкции из дерева и пластмасс [Текст]: учеб. для вузов / В. Ф. Иванов; Москва; Ленинград: Стройиздат, 1966. - 352 с.
3. Прокофьев, А. С. Конструкции из дерева и пластмасс. Общий курс [Текст] : учеб. / А. С. Прокофьев. - Москва: Стройиздат, 1996. – 219 с.
4. Калугин, А.В. Деревянные конструкции [Текст]: учеб. пособ. / А.В. Калугин. – Издание 2-2, испр. и доп. - Москва: Издательство АСВ, 2008. - 288 с.

Локальный электронный методический материал

Хомякова Ирина Васильевна

КОНСТРУКЦИИ ИЗ ДЕРЕВА И ПЛАСТМАСС

Редактор И. Голубева

Локальное электронное издание

Уч.-изд. л. 7,7. Печ. л. 6,5.

Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Калининградский государственный технический университет»,
236022, Калининград, Советский проспект, 1