

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Южно-Уральский государственный университет  
Филиал в г. Миассе  
Кафедра «Строительство»

624.011.1(07)  
Ш501

**Конструкции из дерева и пластмасс.**  
Методические указания  
к практическим занятиям

Челябинск  
Издательский центр ЮУрГУ  
2021

УДК 624.011.1(075.83)  
Ш501

*Одобрено  
учебно-методической комиссией  
Машиностроительного факультета*

Рецензент:  
Главный инженер проекта ООО «ТЭЗИС»  
Власов А.А.

Ш501            Конструкции из дерева и пластмасс. Методические указания к практическим занятиям/ сост. Е.Г.Шерстобитова, Д.В. Чебоксаров. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2021. – 70 с.

В методическом пособии даны задания и примеры решения практических задач для расчёта различных типов деревянных конструкций цельного сечения – изгибаемых, центрально-сжатых, центрально-растянутых, внецентренно-сжатых, внецентренно-растянутых. Рассмотрены типы соединений деревянных элементов и их расчёты, расчёты конструкций из составных сечений.

Пособие предназначено бакалаврам по направлению 08.03.01 «Строительство».

УДК 624.011.1(075.83)

© Издательский центр ЮУрГУ, 2021

## Оглавление

1. Знакомство со сводом правил СП 64.13330.2017 (изм. №2)	
1.1. Введение .....	5
1.2. Порядок определения расчетных характеристик древесины	
1.2.1. Расчетное сопротивление древесины .....	5
1.2.2. Коэффициенты условия работы .....	5
1.3. Пример задачи №1 .....	6
1.4. Задача №1 для самостоятельного решения .....	7
2. Расчет центрально-растянутого элемента	
2.1. Проверка несущей способности .....	9
2.2. Пример задачи №2 .....	9
2.3. Задача №2 для самостоятельного решения .....	11
3. Расчет центрально-сжатого элемента	
3.1. Проверка несущей способности .....	14
3.2. Пример задачи №3 .....	15
3.3. Задача №3 для самостоятельного решения .....	17
4. Расчет изгибаемых, сжато-изогнутых и внецентренно-сжатых, внецентренно-растянутых и растянуто-изогнутых элементов	
4.1. Расчет изгибаемого элемента	
4.1.1. Проверка несущей способности .....	20
4.1.2. Пример задачи №4 .....	20
4.1.3. Задача №4 для самостоятельного решения .....	23
4.2. Расчет внецентренно-растянутого и растянуто-изгибаемого элемента	
4.2.1. Проверка несущей способности .....	25
4.2.2. Пример задачи №5 .....	25
4.2.3. Задача №5 для самостоятельного решения .....	27
4.3. Расчет внецентренно-сжатого и сжато-изгибаемого элемента	
4.3.1. Проверка несущей способности .....	29
4.3.2. Пример задачи №6 .....	30
4.3.3. Задача №6 для самостоятельного решения .....	33
5. Расчет соединений элементов деревянных конструкций .....	35
5.1. Поперечный лобовой упор	
5.1.1. Пример задачи №7 .....	36
5.1.2. Задача №7 для самостоятельного решения .....	38
5.2. Наклонный лобовой упор	
5.2.1. Пример задачи №8 .....	40
5.2.2. Задача №8 для самостоятельного решения .....	42
5.3. Лобовая врубка	
5.3.1. Пример задачи №9 .....	44
5.3.2. Задача №9 для самостоятельного решения .....	46

6.	Расчет соединений элементов деревянных конструкций	
6.1.	Нагельные соединения (цилиндрические нагели).....	4949
6.1.1.	Пример задачи №10 .....	50
6.1.2.	Задача №10 для самостоятельного решения .....	52
6.2.	Гвоздевое соединение	
6.2.1.	Пример задачи №11 .....	54
6.2.2.	Задача №11 для самостоятельного решения .....	57
7.	Расчет составных стоек	
7.1.	Расчет составной стойки .....	59
7.1.1.	Пример задачи №12 .....	61
7.1.2.	Задача №12 для самостоятельного решения .....	62
7.2.	Расчет составных балок.....	64
7.2.1.	Пример задачи №13 .....	66
7.2.2.	Задача №13 для самостоятельного решения .....	68
8.	Библиографический список.....	70

## 1. Знакомство со сводом правил СП 64.13330.2017 (изм. №2)

### 1.1. Введение

При проектировании и изготовлении деревянных конструкций, как новых, так и в реконструируемых зданиях и сооружениях должны соблюдаться нормы СП 64.13330.2017 (СНиП II-25-80\* «Деревянные конструкции») [1].

В Своде правил приведены материалы, применяемые для изготовления конструкций из дерева, их расчетные характеристики, методики расчетов элементов деревянных конструкций (центрально-растянутые, центрально-сжатые, изгибаемые, сжато-изогнутые, растянуто-изогнутые), соединений деревянных конструкций (клеевые, на врубках, на цилиндрических и пластинчатых нагелях, в клееных стержнях и т.д.), основные указания по проектированию деревянных конструкций (балок, прогонов, настилов, ферм, арок, сводов, рам).

### 1.2. Порядок определения расчетных характеристик древесины

#### 1.2.1. Расчетное сопротивление древесины

Расчетные сопротивления древесины сосны, ели и лиственницы европейской, отсортированной по сортам, следует определять в соответствии с [1, п. 6.1] по формуле:

$$R^p = R^A \cdot m_{дл} \cdot \prod m_i,$$

где  $R^A$  – расчетное сопротивление древесины, МПа, приведенное в [1, табл. 3], влажностью 12% для режима нагружения А, согласно [1, табл. 4], в сооружениях 2-го класса функционального назначения, согласно [1, прил. Б], при сроке эксплуатации не более 50 лет;

$m_{дл}$  – коэффициент длительной прочности, соответствующий режиму длительности нагружения [1, табл. 4];

$\prod m_i$  – произведение коэффициентов условия работы [1, п.6.9], выбор коэффициентов показан в п.1.2.2 пособия.

Расчетные сопротивления для других пород древесины устанавливают путем умножения величин, приведенных в [1, табл. 3], на переходные коэффициенты  $m_{п}$ , указанные в [1, табл. 5].

#### 1.2.2. Коэффициенты условия работы

При определении расчетного сопротивления в соответствующих случаях следует применять коэффициенты условий работы по [1, п.6.9]:

а) для различных условий эксплуатации конструкции – коэффициент  $m_{в}$ , указанный в [1, табл. 9].

Класс условий эксплуатации определяется по [1, табл. 1] (по известной влажности) или по дополнительным характеристикам по [1, табл. А2 прил. А];

б) для конструкций, эксплуатируемых при установившейся температуре воздуха до  $+35^{\circ}\text{C}$ , – коэффициент  $m_T = 1$ ; при температуре  $+50^{\circ}\text{C}$ , – коэффициент  $m_T = 0,8$ . Для промежуточных значений температуры коэффициент принимается по интерполяции;

в) для изгибаемых, внецентренно-сжатых, сжато-изгибаемых и сжатых клееных элементов прямоугольного сечения высотой более 50 см значения расчетных сопротивлений изгибу и сжатию вдоль волокон – коэффициент  $m_b$ , указанный в [1, табл. 10];

г) для растянутых элементов с ослаблением в расчетном сечении и изгибаемых элементов из круглых лесоматериалов с подрезкой в расчетном сечении – коэффициент  $m_o = 0,8$ ;

д) для элементов, подвергнутых глубокой пропитке антипиренами под давлением, – коэффициент  $m_a = 0,9$ ;

е) для изгибаемых, внецентренно-сжатых, сжато-изгибаемых и сжатых клееных элементов, в зависимости от толщины слоев, значения расчетных сопротивлений изгибу, скалыванию и сжатию вдоль волокон – коэффициент  $m_{сл}$ , указанный в [1, табл. 11];

ж) для гнутых элементов конструкций значения расчетных сопротивлений растяжению, сжатию и изгибу – коэффициент  $m_{гн}$ , указанный в [1, табл. 12];

и) в зависимости от срока службы – коэффициент  $m_{с.с.}$ , указанный в [1, табл. 13], примерные сроки службы сооружений приведены в [3, табл. А3];

к) для смятия поперек волокон при режимах нагружения Г – К [1, табл. 4] – коэффициент  $m_{см} = 1,15$ .

### 1.3. Пример задачи № 1

Определить расчетное сопротивление растяжению вдоль волокон бруса из березы 2-го сорта, размерами  $10 \times 15$  см, имеющего ослабления в виде отверстий, не выходящих на кромку. Условия эксплуатации конструкции – под навесом в нормальной зоне влажности, режим нагружения «Г», срок службы сооружения 50 лет.

Решение:

1. По [1, табл. 3] определяем базовое расчетное сопротивление сосны 2-го сорта по п. 2а:  $R_p^A = 10,5$  МПа.

2. Коэффициент длительной прочности:  $m_{дл} = 0,66$  в соответствии с [1, табл. 4] при режиме нагружения «Г» от совместного действия постоянной и кратковременной снеговой нагрузок.

3. Поскольку таблица 3 [1] составлена для сосны, ели и лиственницы европейской, то расчетные сопротивления березы корректируем путем умножения базового расчетного сопротивления на переходной коэффициент при растяжении  $m_{п} = 1,1$ , указанный в [1, табл. 5].

4. Коэффициент, зависящий от условий эксплуатации,  $m_B = 0,9$  в соответствии с [1, табл. А.2 прил. А] по дополнительным характеристикам – эксплуатация конструкции под навесом в нормальной зоне влажности.

5. Учет ослаблений сечения в растянутом элементе производим согласно [1, п. 6.9 г]:  $m_o = 0,8$ .

6. Учет срока службы производится по [1, табл. 13]. Примерные сроки службы сооружений приведены в [1, табл. А.3 прил. А]. Данное здание относится к массовым сооружениям сроком службы, равным 50 лет, следовательно,  $m_{с.с.} = 1$ .

7. Расчетное сопротивление данного элемента:

$$R^P = R^A \cdot m_{дл} \cdot \prod m_i = 10,5 \cdot 0,66 \cdot 1,1 \cdot 0,9 \cdot 0,8 \cdot 1 = 5,49 \text{ МПа} .$$

#### 1.4. Задача №1 для самостоятельного решения

Определить расчетное сопротивление для деревянного элемента.

Исходные данные для самостоятельного решения задачи № 1 указаны в табл. 1.1.

Таблица 1.1

№ вар.	Вид напряженного состояния, сечение ( $h \times b$ )	Древесина		Условия эксплуатации		Режим нагружения	Срок службы (лет)
		порода	сорт				
1	Растяжение вдоль волокон не клееных элементов	Сосна	1	Внутри отапливаемых помещений при температуре до +35°C, при относительной влажности воздуха:	до 65%	А	50
2		Ель	2		от 65% до 75%	Б	75
3		Кедр сибирс.	1		от 75% до 85%	В	100
4	Изгиб, брус(125×100)	Пихта	1	Внутри неотапливаемых помещений	В сухой зоне	Г	50
5		Дуб	2		в нормальной зоне	Д	75
6		Ясень	3		во влажной зоне	Е	100
7	Сжатие, брус(100×75)	Клен	1	На открытом воздухе	В сухой зоне	Ж	50
8		Граб	2		в нормальной зоне	И	75
9		Акация	3		во влажной зоне	К	100

Окончание табл. 1.1

№ вар.	Вид напряженного состояния, сечение ( $h \times b$ )	Древесина		Условия эксплуатации	Режим нагружения	Срок служ. (лет)	
		порода	сорт				
10	Скалывание вдоль волокон при изгибе не клееных элементов	Береза	1	Внутри отапливаемых помещений при температуре до +35°C, и относительной влажности воздуха	до 65%	Л	50
11		Бук	2		от 65% до 75%	М	75
12		Вяз	3		от 75% до 85%	А	100
13	Растяжение вдоль волокон не клееных элементов	Ольха	1	Внутри неотапливаемых помещений	в сухой зоне	Б	50
14		Липа	2		в нормальной зоне	В	75
15		Осина	1		во влажной зоне	Г	100
16	Изгиб, брус (125×100)	Сосна	1	На открытом воздухе	в сухой зоне	Д	50
17		Ель	2		в нормальной зоне	Е	75
18		Кедр сибир.	3		во влажной зоне	Ж	100
19	Сжатие, брус (100×75)	Пихта	1	Внутри отапливаемых помещений при температуре до +35°C, и относительной влажности воздуха	до 65%	И	50
20		Дуб	2		от 65% до 75%	К	75
21		Ясень	3		от 75% до 85%	Л	100
22	Растяжение вдоль волокон не клееных элементов	Клен	1	Внутри неотапливаемых помещений	в сухой зоне	М	50
23		Граб	2		в нормальной зоне	А	75
24		Акация	2		во влажной зоне	Б	100
25	Изгиб, брус (125×100)	Береза	1	На открытом воздухе	в сухой зоне	В	50
26		Бук	2		в нормальной зоне	Г	75
27		Вяз	3		во влажной зоне	Д	100
28	Сжатие, брус (100×75)	Ольха	1	Внутри отапливаемых помещений при температуре до +35°C, и относительной влажности воздуха	до 65%	Е	50
29		Липа	2		от 65% до 75%	Ж	75
30		Осина	3		от 75% до 85%	И	100

## 2. Расчет центрально-растянутого элемента

### 2.1. Проверка несущей способности

Проверка несущей способности центрально-растянутого элемента согласно [1, п. 7.1] производится по формуле:

$$\sigma = N/F_{\text{нт}} \leq R_p,$$

где  $N$  – действующее усилие растяжения в элементе;

$F_{\text{нт}}$  – площадь поперечного сечения нетто;

$R_p$  – расчетное сопротивление растяжению древесины вдоль волокон с учетом условий работы.

Для центрально-растянутых элементов при определении  $F_{\text{нт}}$  ослабления, расположенные на участке длиной не более 200 мм, следует принимать совмещенными в одном сечении ослабления (рис. 2.1).

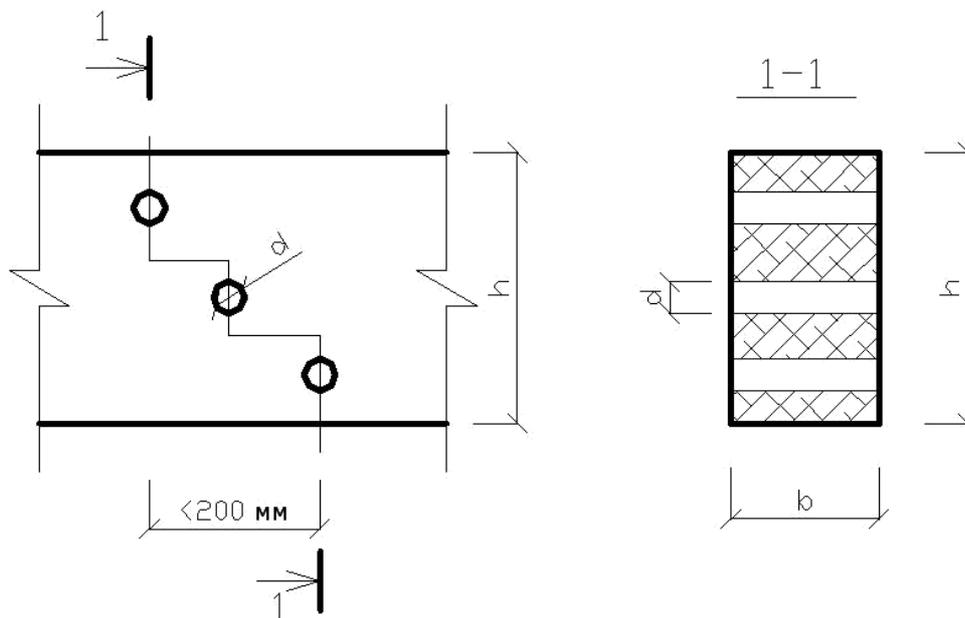


Рис. 2.1. Совмещение ослаблений в сечении растянутого элемента

Площадь сечения за вычетом ослабления  $F_{\text{нт}}$  может определяться по формулам:  $F_{\text{нт}} = F_{\text{бр}} - F_{\text{осл}}$ ;  $F_{\text{бр}} = b \cdot h$ ;  $F_{\text{осл}} = n \cdot d \cdot b$ ,  
здесь  $n$  – количество ослаблений отверстиями диаметром  $d$ .

### 2.2. Пример задачи № 2

Подобрать сечение стержня, в котором действует растягивающее усилие вдоль волокон  $N = 120$ кН. Стержень имеет ослабления двумя отверстиями диаметром по 10 мм, просверленных в широкой пласти на расстоянии 15см друг от друга по длине элемента. Материал – пихта 2-го сорта. Конструкция эксплуатируется на открытом воздухе с эксплуатационной влажностью до 20%, в режиме нагружения «Г», сроком службы 75 лет.

Решение:

1. Определение коэффициентов и расчетного сопротивления:

Базовое расчетное сопротивление сосны, ели, лиственницы европейской 2-го сорта определяем по [1, п. 2а табл. 3] –  $R_p^A = 10,5$  МПа.

Учет температурно-влажностных условий эксплуатации конструкции производится по классу условий эксплуатации, который устанавливается по эксплуатационной или относительной влажности по [1, табл. 1] или по дополнительным характеристикам эксплуатации по [1, табл. А2 прил. А]. Эксплуатация конструкции на открытом воздухе при влажности до 20% соответствует классу 4а, следовательно –  $m_b = 0,85$ .

Учет породы древесины –  $m_{п} = 0,8$ , по таблице 5 [1] для породы «пихта» и для напряженного состояния «растяжение».

По [1, п. 6.9 г] для растянутых элементов с ослаблением в расчетном сечении учитываем коэффициент  $m_o = 0,8$ .

Коэффициент  $m_{дл}$  определяем по [1, табл. 4] при режиме загрузки «Г» от совместного действия постоянной и кратковременной снеговой нагрузок –  $m_{дл} = 0,66$ .

Учет срока службы бруса производим по [1, табл. 13] для 75 лет при растяжении вдоль волокон –  $m_{с.с.} = 0,85$ .

Окончательно устанавливаем расчетное сопротивление, соответствующее заданной породе (пихта), сорту (2-й сорт), растянутый вдоль волокон элемент с ослаблением в расчетном сечении и условиями эксплуатации (на открытом воздухе с эксплуатационной влажностью до 20%, в режиме нагружения «Г», сроком службы 75 лет), используя найденные коэффициенты:

$$R^p = R_p^A \cdot m_{дл} \cdot \prod m_i = 10,5 \cdot 0,66 \cdot 0,85 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 0,85 = 3,2 \text{ МПа.}$$

2. Определение требуемых характеристик сечения:

Преобразуя формулу проверки несущей способности (2.1) относительно  $F_{нт}$ , получаем соотношение для нахождения требуемой площади сечения:

$$F_{нт,тр} = \frac{N}{R_p} = \frac{120 \text{ кН}}{0,32 \text{ кН/см}^2} = 375 \text{ см}^2.$$

3. Назначение размеров  $b$  и  $h$ :

Для выбора размеров пиломатериалов необходимо использовать сортамент в соответствии с ГОСТ 24454-80 «Пиломатериалы хвойных пород. Размеры», указанные в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Номинальные размеры толщины и ширины пиломатериалов (мм).

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

Чтобы подобрать, например, квадратное сечение можно найти длину стороны квадрата с площадью 375 см<sup>2</sup>:  $a = \sqrt{375} = 19,37$  см, и затем по сортаменту принять брус 20×20 см.

Учитывая отверстия получаем:

$$F_{нт} = F_{бр} - F_{осл} = 400 - 2 \cdot 1 \cdot 20 = 360 \text{ см}^2 < F_{нт,тр},$$

следовательно, необходимо увеличить сечение – 20×22,5 см. Проверяем снова:

$$F_{нт} = F_{бр} - F_{осл} = 405 - 2 \cdot 1 \cdot 20 = 410 \text{ см}^2 > F_{нт,тр},$$

принятое сечение удовлетворяет условие.

4. Проверка несущей способности сечения элемента

$$\sigma = \frac{N}{F_{нт}} = \frac{120 \text{ кН}}{410 \text{ см}^2} = 0,293 \text{ кН/см}^2 = 2,93 \text{ МПа} \leq R_p = 3,2 \text{ МПа}.$$

Прочность обеспечена, принимаем сечение 200х225 мм.

5. Вывод: Окончательно принимаем сечение 200х225 мм.

### 2.3. Задача №2 для самостоятельного решения

Подобрать сечение стержня, в котором действует растягивающее усилие  $N_p$ . Сечение имеет ослабление отверстиями в более широких пластьях.

Исходные данные для самостоятельного решения задачи № 2 указаны в табл. 2.2.

Таблица 2.2

№ вар.	N <sub>p</sub> , кН	Ослабления		Древесина		Условия эксплуатации		Режим нагру- жения	Срок службы (лет)
		Кол-во	Диаметр см	порода	сорт				
1	80	2	1,2	Пихта	1	Внутри отапливаемых помещений при температуре до +35°С, и относительной влажности воздуха	до 65%	И	50
2	100	2	1,4	Пихта	2		от 65% до 75%	К	75
3	120	2	1,6	Пихта	1		от 75% до 85%	Л	100
4	140	2	1,8	Лиственница европейская	2	Внутри неотапливаемых помещений	в сухой зоне	М	50
5	150	1	2	Лиственница европейская	1		в нормаль- ной зоне	А	75
6	180	1	1,2	Лиственница европейская	2		во влажной зоне	Б	100
7	200	1	1,4	Лиственница европейская	1	На открытом воздухе	в сухой зоне	В	50
8	90	2	1,2	Ель	2		в нормаль- ной зоне	Г	75
9	110	1	1,6	Ель	1		во влажной зоне	Д	100
10	130	3	2	Ель	2	Внутри отапливаемых помещений при температуре до +35°С, и относительной влажности воздуха	до 65%	Е	50
11	150	1	1,2	Сосна	1		от 65% до 75%	Ж	75
12	170	1	1,2	Сосна	2		от 75% до 85%	И	100
13	190	3	1	Сосна	1	Внутри неотапливаемых помещений	в сухой зоне	И	50
14	21	3	1	Сосна	2		в нормаль- ной зоне	К	75
15	70	2	2,2	Осина	1		во влажной зоне	Л	100

Окончание табл. 2.2

№ вар.	N <sub>p</sub> , кН	Ослабления		Древесина		Условия эксплуатации	Режим нагру- жения	Срок служб ы (лет)	
		Кол-во	Диаметр см	порода	сорт				
16	80	2	2	Осина	2	На открытом воздухе	в сухой зоне	М	50
17	90	2	1,8	Осина	2		в нормально й зоне	А	75
18	100	2	1,6	Осина	1		во влажной зоне	Б	100
19	110	2	1,4	Липа	2	Внутри отапливаемых помещений при температуре до +35°С, и относительной влажности воздуха	до 65%	В	50
20	120	1	1,2	Липа	1		от 65% до 75%	Г	75
21	130	1	1,8	Тополь	2		от 75% до 85%	Д	100
22	140	1	1,6	Тополь	1	Внутри неотапливаемых помещений	в сухой зоне	Е	50
23	150	1	1,4	Береза	2		в нормально й зоне	Ж	75
24	160	1	1,2	Береза	1		во влажной зоне	И	100
25	170	1	1,2	Береза	2	На открытом воздухе	в сухой зоне	К	50
26	180	3	2	Береза	1		в нормаль- ной зоне	Л	75
27	190	3	1,6	Дуб	2		во влажной зоне	М	100
28	200	3	1,4	Дуб	1	Внутри отапливаемых помещений при температуре до +35°С, и относительной влажности воздуха	до 65%	А	50
29	210	3	1,2	Дуб	2		от 65% до 75%	Б	75
30	220	3	1,2	Дуб	1		от 75% до 85%	В	100

### 3. Расчет центрально-сжатого элемента

#### 3.1. Проверка несущей способности

Проверка несущей способности центрально-сжатого элемента (постоянного и цельного сечения) согласно [1, п. 6.2] производится по формулам:

по прочности:

$$\sigma = N/F_{\text{нт}} \leq R_p$$

по устойчивости:

$$\sigma = N/\varphi \cdot F_{\text{расч}} \leq R_c$$

где  $N$  – действующее усилие сжатия в элементе;

$F_{\text{нт}}$  – площадь сечения нетто (площадь сечения за вычетом ослаблений);

$F_{\text{расч}}$  – расчетная площадь сечения;

$\varphi$  – коэффициент продольного изгиба, определяемый по [1, п. 7.3].

Определение коэффициента продольного изгиба для элементов из древесины:

- при гибкости элемента  $\lambda \leq 70$   $\varphi = 1 - 0,8 \left( \frac{\lambda}{100} \right)^2$ ;
- при гибкости элемента  $\lambda \geq 70$   $\varphi = \frac{3000}{\lambda^2}$ .

Гибкость элементов цельного сечения определяется по формуле  $\lambda = l_0/r$  и не должна превышать предельно допустимого по [1, табл. 16] значения  $[\lambda] = 120$ ,

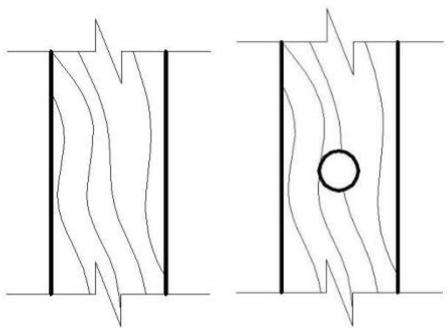
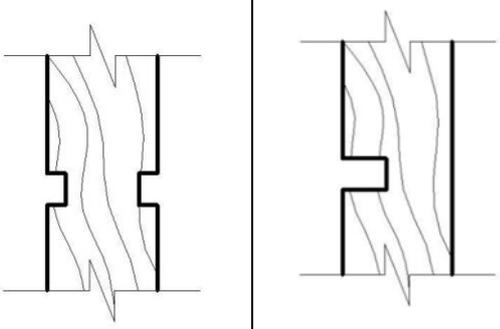
где  $l_0$  – расчетная длина элемента, равная  $l_0 = l \cdot \mu$  (геометрической длине элемента на коэффициент приведения длины, при шарнирном закреплении,  $\mu = 1$ , при других вариантах закрепления концов стержня см. [1, п. 7.23]);

$r$  – минимальный радиус инерции сечения элемента относительно осей X и Y.

Радиус инерции – это геометрическая характеристика сечения, равная  $r = \sqrt{I/F}$ . Для прямоугольного сечения высотой  $h$  радиус инерции приближенно равен  $r = 0,289h$ ; для круглого сечения  $r = 0,25d$ .

Расчетную площадь поперечного сечения элемента необходимо определять в соответствии с [1, п. 7.2] или по табл. 3.1 пособия.

Таблица 3.1

$F_{расч}=F_{бр}$	$F_{расч}=4/3F_{нт}$	$F_{расч}=F_{нт}$	Расчет как внецентренно- сжатого элемента
- если нет ослаблений; - если ослабления не входят на кромку и $F_{осл} \leq 0,25F_{бр}$	- если ослабления не входят на кромку и $F_{осл} > 0,25F_{бр}$	- если ослабления симметричные и входят на кромку	- если ослабления несимметричные и входят на кромку
			

### 3.2. Пример задачи № 3

Проверить сечение  $150 \times 200$  мм брусчатой стойки длиной  $l=5,5$  м с шарнирно закрепленными концами, ослабленное двумя отверстиями диаметром по 30 мм, просверленными в широкой пласти, не выходящими на кромку сечения. В стойке действует сжимающая сила  $N=110$  кН. Материал – клен 3-го сорта. Условия эксплуатации – на открытом воздухе с относительной влажностью 85% в режиме нагружения «Б», сроком службы 100 лет

Решение:

#### 1. Определение коэффициентов и расчетных сопротивлений

Учет температурно-влажностных условий эксплуатации конструкции производится по классу условий эксплуатации, который устанавливается по эксплуатационной или относительной влажности по таблице 1 [1] или по дополнительным характеристикам эксплуатации [1, табл. А2 прил. А]. В нашем примере по относительной влажности 85% определяем по таблице 1 [1] класс – 4а. А затем по [1, табл. 9]  $m_B = 0,85$ .

Учет породы древесины – по [1, табл. 5] для клена и для напряженного состояния «сжатие вдоль волокон» определяем коэффициент  $m_{п} = 1,3$ .

По [1, п. 1в табл. 3] определяем базовое расчетное сопротивление сжатию сосны, ели, лиственницы 3-го сорта для прямоугольного сечения  $15 \times 20$  см  $R_c^A = 16,5$  Мпа.

Коэффициент  $m_{дл}$  определяем по [1, табл. 4] пособия при режиме нагружения «Б» от совместного действия постоянной и длительной временной нагрузок:  $m_{дл} = 0,53$ .

Учет срока службы стойки производим по [1, табл. 13] для 100 лет при растяжении вдоль волокон  $m_{с.с} = 0,8$ .

Окончательно устанавливаем расчетное сопротивление, соответствующее заданной породе (клён), сорту (3-й сорт) и условиям эксплуатации (на открытом воздухе с эксплуатационной влажностью до 85%, в режиме нагружения «Б», сроком службы 100 лет), используя найденные коэффициенты:

$$R_c = R_c^A \cdot m_{дл} \cdot \prod m_i = 16,5 \cdot 0,53 \cdot 1,3 \cdot 0,85 \cdot 0,8 = 7,73 \text{ МПа.}$$

2. Вычисление геометрических характеристик для проверяемого сечения элемента.

Необходимые геометрические характеристики в данном случае – это расчетная площадь.

Для определения  $F_{расч}$  вычисляем:

$$F_{бр} = 15 \cdot 20 = 300 \text{ см}^2,$$

$$F_{осл} = 2 \cdot 3 \cdot 15 = 90 \text{ см}^2,$$

и по соотношению:

$$F_{осл}/F_{бр} = 90/300 = 0,3 > 0,25,$$

вычисляем:

$$F_{расч} = 4/3 \cdot F_{нт} = 4/3(F_{бр} - F_{осл}) = 4/3 \cdot (300 - 90) = 280 \text{ см}^2.$$

Далее вычисляем минимальный радиус инерции, принимаемый по меньшей из сторон рассматриваемого сечения  $b$  или  $h$ :

$$r_{\min} = 0,289 \cdot 15 = 4,335 \text{ см.}$$

Вычисляем максимальную гибкость:

$$\lambda = l_0/r_{\min} = 550/4,335 = 126,87 > [\lambda] = 120.$$

Условие по предельной гибкости не выполняется, следует изменить сечение (по форме приближающееся к симметричному сечению, например, квадратному), сохранив по возможности площадь. Принимаем сечение  $17,5 \times 20$  см.

Вычисляем:

$$F_{бр} = 17,5 \cdot 20 = 350 \text{ см}^2 \text{ и } F_{осл} = 2 \cdot 3 \cdot 17,5 = 105 \text{ см}^2,$$

и по соотношению:

$$F_{осл}/F_{бр} = 105/350 = 0,30 > 0,25,$$

определяем:

$$F_{расч} = 4/3 \cdot F_{нт} = 4/3(F_{бр} - F_{осл}) = 4/3(350 - 105) = 326,67 \text{ см}^2.$$

Минимальный радиус инерции равен:

$$r_{\min} = 0,289 \cdot 17,5 = 5,058 \text{ см.}$$

Максимальная гибкость в этом случае равна:

$$\lambda = l_0/r_{\min} = 550/5,058 = 108,75 < 120 = [\lambda].$$

По максимальной гибкости  $\lambda > 70$  вычисляем коэффициент продольного изгиба:

$$\varphi = 3000/\lambda^2 = 3000/(108,75)^2 = 0,254.$$

3. Проверка несущей способности сечения элемента.

$$\frac{N}{\varphi \cdot F_{\text{расч}}} = \frac{110}{(0,245 \cdot 326,67)} = 1,326 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} > 0,773 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}.$$

Проверяемое сечение  $17,5 \times 20$  см не обладает достаточной несущей способностью.

4. Корректировка сечения.

Следует изменить сечение, например, увеличить ширину бруса на величину:

$$\sigma/R_c = 1,326/0,773 = 1,72.$$

Новая ширина сечения:

$$b = 17,5 \cdot 1,72 = 30 \text{ см}.$$

По сортаменту принимаем брус сечением  $25 \times 25$  см (близкий по площади к требуемой), вычисляем необходимые геометрические характеристики и повторяем проверку.

Расчетную площадь:

$$F_{\text{бр}} = 25 \cdot 25 = 625 \text{ см}^2, F_{\text{осл}} = 2 \cdot 3 \cdot 25 = 150 \text{ см}^2,$$

$$F_{\text{осл}}/F_{\text{бр}} = 150/625 = 0,24 < 0,25,$$

$$F_{\text{расч}} = F_{\text{нт}} = (F_{\text{бр}} - F_{\text{осл}}) = (625 - 150) = 475 \text{ см}^2.$$

Радиус инерции:

$$r_{\text{min}} = 0,289 \cdot 25 = 7,225 \text{ см}.$$

Максимальная гибкость:

$$\lambda = l_0/r = 550/7,22 = 76,12 < 120 = [\lambda].$$

Коэффициент продольного изгиба:

$$\varphi = 3000/\lambda^2 = 3000/(76,12)^2 = 0,517.$$

Проверяем устойчивость:

$$\frac{N}{\varphi \cdot F_{\text{расч}}} = \frac{110}{(0,517 \cdot 475)} = 0,448 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} < 0,773 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}.$$

5. Вывод: Принятое сечение  $25 \times 25$  см обладает достаточной несущей способностью.

### 3.3. Задача № 3 для самостоятельного решения

Проверить сечение стойки из бруса размерами  $b \times h$  длиной  $l$ , нагруженной сжимающей силой  $N$ . Стойка шарнирно закреплена с обеих сторон. Ослабления – отверстия соответствующего диаметра, просверлены в более широких пластьях.

Исходные данные для самостоятельного решения задачи № 3 указаны в табл. 3.2.

Таблица 3.2

№ вар.	N, кН	Ослабле- ния		Сечение, см		Древесина		Условия эксплуатации		Режим нагрузки	Срок службы (лет)
		Кол-во	Диаметр см	b	h	порода	сорт				
1	8	0	–	10	10	Сосна	3	Внутри отапливаемых помещений при температуре до +35°С, и относительной влажности воздуха	до 65%	И	50
2	15	1	2,8	10	12,5	Сосна	2		от 65% до 75%	К	75
3	25	0	–	10	15	Сосна	1		от 75% до 85%	Л	100
4	25	1	2,6	10	17,5	Сосна	3	Внутри неотапливаемых помещений	в сухой зоне	М	50
5	70	0	–	12,5	15	Сосна	1		в нормаль- ной зоне	А	75
6	30	1	2	12,5	17,5	Ель	2		во влажной	Б	100
7	30	0	–	12,5	15	Ель	3	На открытом воздухе	в сухой	В	50
8	85	2	1,8	12,5	15	Ель	2		нормаль- ной зоне	Г	75
9	85	0	–	15	17,5	Ель	1		во влажной	Д	100
10	75	1	3,2	15	17,5	Ель	3	Внутри отапливаемых помещений при температуре до +35°С, и относительной влажности воздуха	до 65%	Е	50
11	50	0	–	15	15	Осина	1		от 65% до 75%	Ж	75
12	65	2	2,4	15	20	Осина	2		от 75% до 85%	И	100
13	65	0	–	15	17,5	Осина	3	Внутри неотапливаемых помещений	в сухой	И	50
14	160	2	1,6	17,5	20	Осина	2		нормаль- ной зоне	К	75
15	80	0	–	17,5	12,5	Осина	1		во влажной зоне	Л	100

Окончание табл. 3.2

№ варианта	N, кН	Ослабление		Сечение		Древесина		Условия эксплуатации	Режим нагружения	Срок службы (лет)	
		Кол-во	Диаметр см	<i>b</i>	<i>h</i>	порода	сорт				
16	90	2	2,4	10	10	Береза	3	На открытом воздухе	в сухой зоне	М	50
17	280	1	1,4	10	20	Береза	2		нормальной зоне	А	75
18	400	2	3,2	20	25	Береза	1		во влажной зоне	Б	100
19	350	1	1,6	25	25	Береза	3	Внутри отапливаемых помещений при температуре до +35°C, и относительной влажности воздуха	до 65%	В	50
20	85	2	1,2	20	10	Береза	1		от 65% до 75%	Г	75
21	40	2	2,6	5	12,5	Дуб	2		от 75% до 85%	Д	100
22	40	1	1,2	5	12,5	Дуб	3	Внутри неотапливаемых помещений	в сухой зоне	Е	50
23	100	2	2,4	4,5	15	Дуб	2		нормальной зоне	Ж	75
24	120	1	1,4	4	15	Дуб	1		во влажной зоне	И	100
25	120	2	1,8	3,5	15	Дуб	3	На открытом воздухе	в сухой зоне	К	50
26	140	1	2,6	3	15	Клён	1		нормальной зоне	Л	75
27	250	2	2,6	5	20	Клён	2		во влажной зоне	М	100
28	250	1	3,2	4,5	20	Клён	3	Внутри отапливаемых помещений при температуре до +35°C, и относительной влажности воздуха	до 65%	А	50
29	470	2	2,4	4	25	Клён	2		от 65% до 75%	Б	75
30	250	1	2	3,5	17,5	Клён	1		от 75% до 85%	В	100

#### 4. Расчет изгибаемых, сжато-изогнутых и внецентренно-сжатых, внецентренно-растянутых и растянуто-изогнутых элементов

##### 4.1. Расчет изгибаемого элемента

##### 4.1.1. Проверка несущей способности

Расчет изгибаемого элемента по предельному состоянию первой группы, обеспеченного от потери устойчивости плоской формы деформирования производится по формулам:

на прочность по нормальным напряжениям [1, п. 7.9]:

$$\sigma = \frac{M}{W_{расч}} \leq R_{и},$$

на прочность по касательным напряжениям [1, п. 7.10]:

$$\tau = \frac{QS_{бр}}{J_{бр}b_{расч}} \leq R_{ск},$$

где  $M$  – расчетный изгибающий момент в элементе,

$W_{расч}$  – расчетный момент сопротивления поперечного сечения (для цельного сечения  $W_{расч} = W_{нт}$ );

$W_{нт}$  – площадь сечения нетто (ослабления сечения, расположенные на участке до 200 мм, должны совмещаться в одном сечении);

$Q$  – расчетная перерезывающая сила в элементе;

$S_{бр}$  – статический момент сечения;

$J_{бр}$  – момент инерции сечения;

$b_{расч}$  – расчетная ширина сечения;

$R_{и}$  – расчетное сопротивление изгибу;

$R_{ск}$  – расчетное сопротивление скалыванию.

Расчет изгибаемого элемента по второй группе предельных состояний производится по формуле:

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

где  $f/l$  – относительный прогиб элемента, определяемый по параметрам поперечного сечения;

$[f/l]$  – допускаемый относительный прогиб, принимаемый по [2, табл. Д.1].

В соответствии с этой таблицей допускаемый относительный прогиб при  $l \leq 1$  м,  $f=1/120$ ; при  $l=3$  м,  $f=1/150$ ; при  $l=6$  м,  $f=1/200$ ;  $l=24$  м,  $f=1/250$ .

##### 4.1.2. Пример задачи №4

Проверить прочность и жесткость брусчатой балки пролетом  $l=2,25$  м сечением  $b \times h=7,5 \times 10,0$  см, без ослаблений, изгибаемой в направлении большего размера расчетной равномерной погонной нагрузкой  $q=1,25$  кН/м (нормативная нагрузка 0,75 от расчетной), с шарнирно закрепленными концами. Материал – пихта 2-го сорта. Условия эксплуатации – на открытом

воздухе, с эксплуатационной влажностью до 20%, в режиме нагружения «В», сроком службы – 50 лет. Расчетная схема приведена на рис. 4.1.

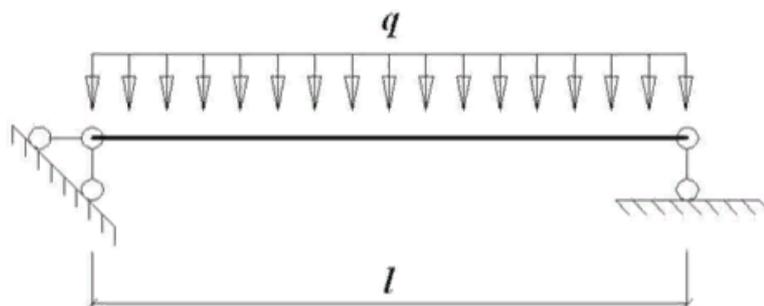


Рис. 4.1. Расчетная схема балки

Решение:

### 1. Определение коэффициентов и расчетных сопротивлений

Учет температурно-влажностных условий эксплуатации конструкции производится по классу условий эксплуатации, который устанавливается по эксплуатационной влажности [1, по табл. 1] или по дополнительным характеристикам эксплуатации [1, табл. А2 прил. А]. В нашем примере по эксплуатационной влажности до 20% находим по [1, табл. 1] класс – 4а. А по [1, табл. 9]  $m_b=0,85$ .

Учет породы древесины – по [1, табл. 5] для пихты и для напряженного состояния «изгиб» определяем коэффициент  $m_{п}=0,8$ , для скалывания –  $m_{п}=0,8$ .

По [1, п. 1а табл. 3] определяем расчетное сопротивление изгибу сосны, ели, лиственницы 2-го сорта  $R_{и}^A=19,5$  МПа и расчетное сопротивление скалыванию вдоль волокон [1, п. 5а табл. 3]  $R_{ск}^A=2,4$  МПа.

Коэффициент  $m_{дл}$  определяем по [1, табл. 4] при режиме нагружения «В», как наиболее часто используемом для нашего климатического района, от совместного действия постоянной и кратковременной снеговой нагрузок  $m_{дл}=0,66$ .

Учет срока службы бруса производим по [1, табл. 13] или для наиболее массового строительства сроком 50 лет,  $m_{с.с}=1$ .

Окончательно устанавливаем расчетное сопротивление, соответствующее заданной породе (пихта), сорту (2) и условиям эксплуатации (на открытом воздухе с эксплуатационной влажностью до 20%), используя найденные коэффициенты:

$$R_{и} = R_{и}^A \cdot m_{дл} \cdot m_{п} \cdot m_b \cdot m_{с.с} = 19,5 \cdot 0,66 \cdot 0,8 \cdot 0,85 \cdot 1 = 8,75 \text{ МПа,}$$

$$R_{ск} = R_{ск}^A \cdot m_{дл} \cdot m_{п} \cdot m_b \cdot m_{с.с} = 2,4 \cdot 0,66 \cdot 0,8 \cdot 0,85 \cdot 1 = 1,08 \text{ МПа.}$$

### 2. Статический расчет

По условию задачи имеем расчетную схему однопролетной шарнирно опертой балки, загруженной равномерно распределенной нагрузкой. Для такой расчетной схемы максимальный момент в середине балки равен:

$$M = \frac{ql^2}{8},$$

перерезывающая сила максимальна на опоре и равна:

$$Q = \frac{ql}{2},$$

максимальный относительный прогиб в середине балки:

$$\frac{f}{l} \leq \frac{5q^H l^3}{384EJ}.$$

Численные значения этих величин равны:

$$M = \frac{ql^2}{8} = \frac{1,25 \cdot 2,25^2}{8} = 0,791 \text{ кН} \cdot \text{м} = 79,1 \text{ кН} \cdot \text{см},$$

$$Q = \frac{ql}{2} = \frac{1,25 \cdot 2,25}{2} = 1,4 \text{ кН}.$$

3. Вычисление геометрических характеристик для проверяемого сечения элемента

Необходимые геометрические характеристики в данном случае, это:

$$W_{\text{расч}} = \frac{bh^2}{6} = \frac{7,5 \cdot 100}{6} = 125 \text{ см}^3,$$

$$J_{\text{бр}} = \frac{bh^3}{12} = \frac{7,5 \cdot 1000}{12} = 625 \text{ см}^4,$$

$$S = \frac{bh^2}{8} = \frac{7,5 \cdot 100}{8} = 93,75 \text{ см}^3.$$

4. Проверки двух предельных состояний изгибаемого элемента

Проверяем нормальные напряжения по формуле:

$$\sigma_{\text{н}} = \frac{M}{W_{\text{расч}}} \leq R_{\text{н}},$$

$$\sigma_{\text{н}} = \frac{79,1 \text{ кН} \cdot \text{см}}{125 \text{ см}^3} = 0,63 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} < R_{\text{н}} = 0,875 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}.$$

Проверяем касательные напряжения по формуле:

$$\tau = \frac{QS_{\text{бр}}}{J_{\text{бр}} b_{\text{расч}}} \leq R_{\text{ск}},$$

$$\tau = \frac{1,4 \cdot 93,75}{625 \cdot 7,5} = 0,028 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} < R_{\text{ск}} = 0,108 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}.$$

Проверяем жесткость (второе предельное состояние) по формуле:

$$\frac{f}{l} \leq \frac{1}{150},$$

$$\frac{f}{l} \leq \frac{5q^H l^3}{384EJ} = \frac{5 \cdot 0,009375 \cdot 225^3}{384 \cdot 10^5 \cdot 625} = 0,0022 < 0,0067,$$

где  $q^H = 1,25 \cdot 0,75 = 0,9375 \text{ кН/м} = 0,009375 \text{ кН/см}$

## 5. Вывод

Проверяемое сечение  $7,5 \times 10,0$  см обладает достаточной несущей способностью и жесткостью.

Однако для желающих снизить расход дерева и уменьшить сечение балки рекомендуем уменьшить ширину балки « $b$ », т.к. запас даже по нормальным напряжениям « $\sigma$ » около 30%. А если балка не проходит по « $\sigma$ », « $\tau_{ск}$ » или « $f$ », рекомендуется увеличивать высоту балки « $h$ », т.к. в формулах  $W$  и  $J$  она в степенной зависимости.

### 4.1.3. Задача № 4 для самостоятельного решения

Проверить прочность брусчатого стержня пролетом  $l$ , сечением  $b \times h$ , без ослаблений. Брус изгибается в направлении большего размера сечения равномерной нагрузкой  $q_n = 0,75q$  (рис. 4.1).

Исходные данные для самостоятельного решения задачи № 4 указаны в табл. 4.1.

Таблица 4.1

№ вар.	$q$ , кН/м	$l$ , м	Сечение, см		Материал		Условия эксплуатации		
			$b$	$h$	порода	сорт			
1	2	2	10	12,5	сосна	1	Режим нагружения «В», срок службы – 50 лет	Внутри отапливаемых помещений при температуре 30°C, и относительной влажности воздуха	До 65%
2	2,5	2,5	10	15	сосна	2			До 65%
3	3	3	10	17,5	сосна	3			До 65%
4	3,5	3,5	10	20	ель	1			Свыше 65 до 75%
5	4	4	10	22,5	ель	2			Свыше 65 до 75%
6	2,5	4,5	10	25	ель	3			Свыше 65 до 75%
7	1	5	12,5	12,5	листвен- ница	1			Свыше 75 до 85%
8	1,5	5,5	12,5	15	листвен- ница	2			Свыше 75 до 85%
9	2	6	12,5	17,5	листвен- ница	3			Свыше 75 до 85%
10	2,5	5,5	12,5	20	береза	1			Свыше 75 до 85%

№ вар.	$q$ , кН/м	$l$ , м	Сечение, см		Материал		Условия эксплуатации		
			$b$	$h$	порода	сорт			
11	3	5	12,5	22,5	береза	2	Внутри неотапливае мых помещений	В сухой зоне	
12	2	4,5	12,5	25	береза	3		В сухой зоне	
13	2,5	4	15	12,5	пихта	1		В сухой зоне	
14	3	3,5	15	15	пихта	2		В нормальной зоне	
15	3,5	3	15	17,5	пихта	3	Внутри неотаплива емых помещений	В нормальной зоне	
16	4	2,5	15	20	дуб	1		В нормальной зоне	
17	4,5	2	15	22,5	дуб	2		Во влажной зоне	
18	2	2,5	15	25	дуб	3		Во влажной зоне	
19	2	3	17,5	12,5	осина	1	На открытом воздухе	В сухой зоне	
20	1,5	3,5	17,5	15	осина	2		В сухой зоне	
21	3	4	17,5	17,5	осина	3		В сухой зоне	
22	2	4,5	17,5	20	липа	1		В сухой зоне	
23	2,5	5	17,5	22,5	липа	2		В нормальной зоне	
24	3	5,5	17,5	25	липа	3		В нормальной зоне	
25	1,5	6	20	12,5	клен	1		В нормальной зоне	
26	2,5	3	20	15	клен	2		В нормальной зоне	
27	3	3,5	20	17,5	клен	3		Во влажной зоне	
28	1,5	4	20	20	сосна	1		Во влажной зоне	
29	2	1,5	20	22,5	сосна	2		Во влажной зоне	
30	2,5	5	20	25	сосна	3		Во влажной зоне	

Режим нагружения «В», срок службы – 50 лет

## 4.2. Расчет внецентренно-растянутого и растянуто-изгибаемого элемента

### 4.2.1. Проверка несущей способности

Расчет внецентренно-растянутого и растянуто-изгибаемого элемента по предельному состоянию первой группы производится согласно [1, п. 7.16] по формуле:

$$\sigma_{\text{и}} = \frac{N}{F_{\text{расч}}} + \frac{M_{\text{д}} R_{\text{р}}}{W_{\text{расч}} R_{\text{и}}} \leq R_{\text{р}},$$

где  $N$  – действующее усилие растяжения в элементе;

$F_{\text{расч}}$  – площадь расчетного сечения нетто (площадь сечения за вычетом ослаблений);

$W_{\text{расч}}$  – расчетный момент сопротивления поперечного сечения (для цельного сечения,  $W_{\text{расч}} = W_{\text{нт}}$ );

$W_{\text{нт}}$  – площадь сечения нетто (ослабления сечения, расположенные на участке до 200 мм должны совмещаться в одном сечении);

$R_{\text{и}}$  – расчетное сопротивление изгибу;

$R_{\text{с}}$  – расчетное сопротивление сжатию.

### 4.2.2. Пример задачи № 5

Проверить прочность брусчатого стержня пролетом  $l=2,25$  м, сечением  $b \times h = 7,5 \times 10,0$  см, без ослаблений, изгибаемого в направлении большего размера расчетной равномерной нагрузкой  $q=2$  кН/м и сжимаемого усилием  $N_{\text{р}}=10$  кН (стержень шарнирно закреплен по концам). Материал – пихта 2-го сорта. Условия эксплуатации – на открытом воздухе с эксплуатационной влажностью до 20%, в режиме нагружения «В», сроком службы – 50 лет. Расчетная схема приведена на рис. 4.2.

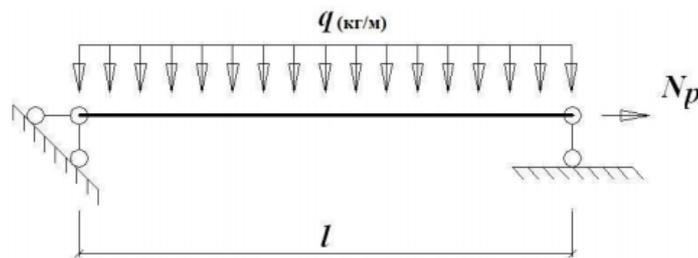


Рис. 4.2. Расчетная схема балки

Решение:

1. Определение всех необходимых коэффициентов и расчетных сопротивлений

Учет температурно-влажностных условий эксплуатации конструкции производится по классу условий эксплуатации, который устанавливается по эксплуатационной (как в данном примере) или относительной влажности по [1, табл. 1] или по дополнительным характеристикам эксплуатации [1, табл.

A2 прил. А]. В нашем примере по эксплуатационной влажности до 20% находим по таблице 1 [1] класс – 4а. А по [1, табл. 9]  $m_b=0,85$ .

Учет породы древесины – по [1, табл. 5] для пихты и для напряженного состояния «изгиб» определяем коэффициент  $m_{II}=0,8$ .

По [1, п. 1а и 2а табл. 3] определяем расчетное сопротивление изгибу сосны, ели, лиственницы 2-го сорта  $R_p^A=10,5$  МПа и базовое расчетное сопротивление изгибу  $R_{II}^A=19,5$  МПа.

Коэффициент  $m_{дл}$  определяем по [1, табл. 4] при режиме нагружения «В», как наиболее часто используемом для нашего климатического района, от совместного действия постоянной и кратковременной снеговой нагрузок  $m_{дл}=0,66$ .

Учет срока службы бруса производим по [1, табл. 13] для наиболее массового строительства сроком 50 лет,  $m_{с.с}=1$ .

Окончательно устанавливаем расчетное сопротивление, соответствующее заданной породе (пихта), сорту (2) и условиям эксплуатации (на открытом воздухе с эксплуатационной влажностью до 20%), используя найденные коэффициенты:

$$R_u = R_u^A \cdot m_{дл} \cdot m_{II} \cdot m_b \cdot m_{с.с} = 19,5 \cdot 0,66 \cdot 0,8 \cdot 0,85 \cdot 1 = 8,75 \text{ МПа},$$

$$R_p = R_p^A \cdot m_{дл} \cdot m_{II} \cdot m_b \cdot m_{с.с} = 10,5 \cdot 0,66 \cdot 0,8 \cdot 0,85 \cdot 1 = 4,71 \text{ МПа}.$$

## 2. Статический расчет

По условию задачи имеем расчетную схему однопролетной шарнирно опертой балки, нагруженной равномерно распределенной нагрузкой  $q$  и продольной силой  $N_p$  (рис. 4.2). Для такой расчетной схемы максимальный момент – в середине балки – равен:  $M=ql^2/8$ . Численное значение его равно:

$$M = \frac{ql^2}{8} = \frac{2 \cdot 2,25^2}{8} = 1,2656 \text{ кН} \cdot \text{м} = 126,56 \text{ кН} \cdot \text{см}.$$

3. Вычисление геометрических характеристик для проверяемого сечения элемента

Необходимые геометрические характеристики в данном случае, это:

$$W_{расч} = \frac{bh^2}{6} = \frac{7,5 \cdot 100}{6} = 125 \text{ см}^3,$$

$$F_{расч} = bh = 7,5 \cdot 10 = 75 \text{ см}^2.$$

4. Проверка первого предельного состояния растянуто-изгибаемого элемента

Проверяем первое предельное состояние по формуле:

$$\sigma_{II} = \frac{N}{F_{расч}} + \frac{M_{д} R_p}{W_{расч} R_{II}} \leq R_p,$$

$$\sigma_{II} = \frac{10}{75} + \frac{126,56 \cdot 0,471}{125 \cdot 0,875} = 0,68 \text{ кН/см}^2 > R_p = 0,47 \text{ кН/см}^2.$$

Условие не выполняется, следует увеличить сечение. Наиболее эффективным будет увеличение высоты сечения  $h$ , т.к. высота балки  $h$  в формулах  $W$  и  $J$  представлена в степенной функции ( $h^2$  и  $h^3$ ). При небольшой

разнице  $\sigma$  и  $R_p$  можно по сортаменту принять следующее за проверяемым значение высоты бруса. В нашем случае при проверяемом значении высоты  $h=100$  мм следующее за ним в сортаменте – 125 мм. При значительной разнице между  $\sigma$  и  $R_p$  можно увеличить  $h$  на недостающую часть несущей способности  $\sigma/R_p = 67,85/47,6=1,42$  и подобрать в сортаменте ближайшее к нему значение высоты бруса ( $h \cdot 1,42 = 100 \cdot 1,42 = 142$  мм).

Рекомендуемое соотношение для балок:  $h/b = 3/6$ .

Принимаем новое значение высоты бруса:  $h=125$  мм. Определяем значения геометрических характеристик для нового сечения:

$$b \times h = 7,5 \times 12,5 \text{ см},$$

$$W_{\text{расч}} = \frac{bh^2}{6} = \frac{7,5 * 12,5^2}{6} = 195,3 \text{ см}^3,$$

$$F_{\text{расч}} = bh = 7,5 \cdot 12,5 = 93,75 \text{ см}^2.$$

Заново проверяем напряжения по формуле:

$$\sigma_{\text{и}} = \frac{N}{F_{\text{расч}}} + \frac{M_{\text{д}} R_p}{W_{\text{расч}} R_{\text{и}}} \leq R_p,$$

$$\sigma_{\text{и}} = \frac{10}{93,75} + \frac{126,56 \cdot 0,471}{195,3 \cdot 0,875} = 0,107 + 0,354 = 0,457 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} < R_p.$$

#### 5. Вывод

Принятое сечение  $b \times h = 7,5 \times 12,5$  см обладает достаточной несущей способностью.

#### 4.2.3. Задача № 5 для самостоятельного решения

Проверить прочность брусчатого стрелы пролетом  $l$ , сечением  $b \times h$ , без ослаблений. Брус изгибается в направлении большего размера сечения равномерной погонной нагрузкой  $q$  (рис. 4.2).

Исходные данные для самостоятельного решения задачи № 5 указаны в табл. 4.2.

Таблица 4.2

№ вар.	N <sub>p</sub> , кН	q, кН/м	l, м	Сечение, см		Материал		Условия эксплуатации		
				b	h	порода	сорт			
1	50	2	2	10	12,5	сосна	1	Режим нагружения «В», срок службы – 50 лет	Внутри отапливаемых помещений при температуре 30°С, относительной влажности воздуха	До 65%
2	45	2,5	2,5	10	15	сосна	2			До 65%
3	40	3	3	10	17,5	сосна	2			До 65%
4	30	3,5	3,5	10	20	ель	1			Свыше 65 до 75%
5	25	4	4	10	22,5	ель	2			Свыше 65 до 75%
6	20	0,5	4,5	10	25	ель	2			Свыше 65 до 75%
7	15	1	5	12,5	12,5	Лиственница	1			Свыше 75 до 85%
8	10	1,5	5,5	12,5	15	Лиственница	2			Свыше 75 до 85%
9	8	2	6	12,5	17,5	Лиственница	2			Свыше 75 до 85%
10	6	2,5	5,5	12,5	20	береза	1			Свыше 75 до 85%
11	9	1	5	12,5	22,5	береза	2		Внутри неотапливаемых помещений	В сухой зоне
12	8	2	4,5	12,5	25	береза	1			В сухой зоне
13	12	2,5	4	7,5	25	пихта	1			В сухой зоне
14	13	3	3,5	7,5	10	пихта	2			В нормальной зоне
15	15	3,5	3	7,5	12,5	пихта	2			В нормальной зоне
16	20	4	2,5	7,5	15	дуб	1			В нормальной зоне
17	25	4,5	2	15	15	дуб	2		На открытом воздухе	Во влажной зоне
18	30	2	2,5	15	17,5	дуб	1			Во влажной зоне
19	35	1	3	15	20	осина	1			Во влажной зоне
20	40	1,5	3,5	15	22,5	осина	2			Во влажной зоне

№ вар.	$N_p$ , кН	$q$ , кН/м	$l$ , м	Сечение, см		Материал		Условия эксплуатации		
				$b$	$h$	порода	сорт			
21	45	1	4	15	25	осина	2	Режим нагружения «В», срок службы – 50 лет	На открытом воздухе	В сухой зоне
22	20	2	4,5	17,5	17,5	липа	2			В сухой зоне
23	15	2,5	5	17,5	20	липа	2			В нормальной зоне
24	20	3	5,5	17,5	22,5	липа	1		На открытом воздухе	В нормальной зоне
25	10	1,5	6	17,5	25	клен	2			В нормальной зоне
26	50	0,5	3	20	20	клен	2			Во влажной зоне
27	45	1	3,5	20	22,5	клен	1			Во влажной зоне
28	40	1,5	4	20	25	сосна	2			Во влажной зоне
29	30	2	4,5	22,5	22,5	сосна	2			Во влажной зоне
30	25	2,5	5	22,5	25	сосна	1			Во влажной зоне

### 4.3. Расчет внецентренно-сжатого и сжато-изгибаемого элемента

#### 4.3.1. Проверка несущей способности

Расчет таких элементов по предельному состоянию первой группы производится по формуле согласно [1, п. 7.17]:

$$\sigma_{и} = \frac{N}{F_{расч}} + \frac{M_{д}}{W_{расч}} \leq R_c,$$

где  $N$  – действующее усилие растяжения в элементе;

$M_{д}$  – изгибающий момент от действия поперечных нагрузок, определенный по деформированной схеме.

Для шарнирно-опорных сжато-изгибаемых и внецентренно-сжатых элементов при симметричных эпюрах изгибающих моментов синусоидального, полигонального и близких к ним очертаний, а также для консольных элементов  $M_d$  допускается выполнять по формуле:

$$M_d = \frac{M}{\xi}.$$

где  $\xi$  – коэффициент, изменяющийся от 1 до 0, учитывающий дополнительный момент от продольной силы вследствие прогиба элемента, рассчитываемый по формуле:

$$\xi = 1 - \frac{N_c}{\varphi \cdot R_c \cdot F_{бр}}$$

$M$  – изгибающий момент в расчетном сечении без учета дополнительного момента от продольной силы;

$R_c$  – расчетное сопротивление сжатию вдоль волокон древесины;

$\varphi$  – коэффициент, рассчитываемый по формуле (14) [1]:

$$\varphi = \frac{A}{\lambda^2},$$

где  $A$  – коэффициент для древесины  $A=3000$ ;  
гибкость:

$$\lambda = \frac{l_0}{r},$$

где  $l_0$  – рассчитанная длина элемента;

$r$  – максимальный радиус инерции брутто относительно осей  $x$  и  $y$ :

$$r = 0,289h, (h > b),$$

$F_{бр}$  – площадь сечения брутто;

$F_{расч}$  – площадь расчетного сечения нетто (площадь сечения за вычетом ослаблений);

$W_{расч}$  – расчетный момент сопротивления поперечного сечения (для цельного сечения,  $W_{расч} = W_{нт}$ ;

$W_{нт}$  – площадь сечения нетто (ослабления сечения, расположенные на участке до 200 мм должны совмещаться в одном сечении);

$\varphi$  – коэффициент продольного изгиба;

$R_{и}$  – расчетное сопротивление изгибу;

$R_c$  – расчетное сопротивление сжатию.

#### 4.3.2. Пример задачи № 6

Проверить прочность брусчатого стержня пролетом  $l=2,25$  м, сечением  $b \times h = 7,5 \times 10,0$  см, без ослаблений, изгибаемого в направлении большего размера расчетной равномерной нагрузкой  $q=2$  кН/м и сжимаемого усилием  $N_c=10$  кН (стержень шарнирно закреплен по концам). Материал – пихта 2-

го сорта. Условия эксплуатации – на открытом воздухе с эксплуатационной влажностью до 20%.

Решение:

1. Определение всех необходимых коэффициентов и расчетных сопротивлений

Учет температурно-влажностных условий эксплуатации конструкции производится по классу условий эксплуатации, который устанавливается по эксплуатационной (как в данном примере) или относительной влажности по [1, табл. 1] или по дополнительным характеристикам эксплуатации [1, табл. А2 прил. А]. В нашем примере по эксплуатационной влажности до 20% находим по [1, табл. 1] класс – 4а. А по [1, табл. 9]  $m_B = 0,85$ .

Учет породы древесины – по [1, табл. 5] для пихты и для напряженного состояния «изгиб» определяем коэффициент  $m_{II} = 0,8$ , для скалывания  $m_{II} = 0,8$ .

Коэффициент  $m_{дл}$  определяем по [1, табл. 4] при режиме нагружения «В», как наиболее часто используемом для нашего климатического района, от совместного действия постоянной и кратковременной снеговой нагрузок,  $m_{дл} = 0,66$ .

Учет срока службы бруса производим по [1, табл. 13] для наиболее массового строительства сроком 50 лет,  $m_{с.с} = 1$ .

По [1, п. 1а табл. 3] определяем базовое расчетное сопротивление сжатию и изгибу сосны, ели 2-го сорта  $R_c^A = 19,5$  МПа.

Окончательно устанавливаем расчетное сопротивление, соответствующее заданной породе (пихта), сорту (2-й) и условиям эксплуатации (на открытом воздухе, с эксплуатационной влажностью 20%), используя найденные коэффициенты:

$$R_{и} = R_c^A \cdot m_{дл} \cdot m_{II} \cdot m_B \cdot m_{с.с} = 19,5 \cdot 0,66 \cdot 0,8 \cdot 0,85 \cdot 1 = 8,74 \text{ МПа.}$$

2. Статический расчет

По условию задачи имеем расчетную схему однопролетной шарнирно опертой балки, нагруженной равномерно распределенной погонной нагрузкой  $q$  и продольной силой  $N_c$  (рис. 4.3). Для такой расчетной схемы максимальный момент в середине балки равен:

$$M = ql^2/8 = 200 \cdot 2,25^2/8 = 126,56 \text{ кН} \cdot \text{см.}$$

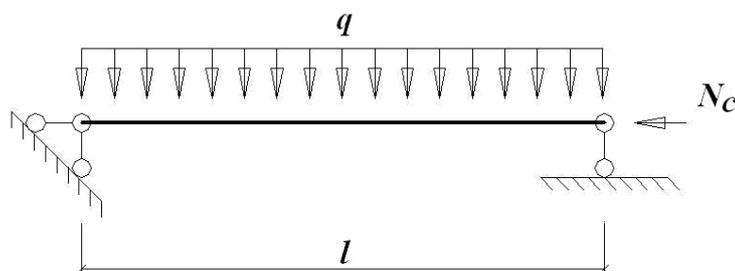


Рис.4.3. Расчетная схема балки

3. Вычисление геометрических характеристик для проверяемого сечения элемента. Необходимые геометрические характеристики в данном случае, это:

$$W_{расч} = bh^2/6 = 7,5 \cdot 10,0^2/6 = 125 \text{ см}^3,$$

$$F_{расч} = bh = 7,5 \cdot 10 = 75 \text{ см}^2,$$

$$i = 0,289h = 0,289 \cdot 10 = 2,89 \text{ см.}$$

4. Проверка первого предельного состояния сжато-изгибаемого элемента

$$\lambda = l/i = 225/2,89 = 77,85 > [\lambda] = 70,$$

$$\varphi = 3000/\lambda^2 = 3000/77,85^2 = 0,495,$$

$$\xi = 1 - \frac{N_c}{\varphi R_c F_{бр}} = 1 - \frac{1000}{0,498 \cdot 87,5 \cdot 75} = 1 - 0,3029 = 0,697,$$

$$M_D = \frac{M}{\xi} = \frac{126,56}{0,697} = 181,57 \text{ кН} \cdot \text{см},$$

$$\sigma_u = \frac{N}{F_{расч}} + \frac{M_D}{W_{расч}} = \frac{10}{75} + \frac{181,57}{125} = 1,58 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} > R_c = 0,875 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}.$$

Проверяемое сечение 7,5x10,0 см не обладает достаточной несущей способностью.

Увеличиваем высоту сечения  $h$ . Ближайшее большее значение размера пиломатериалов к 100 мм по сортаменту – 125 мм. Принимаем новое сечение:  $b \times h = 7,5 \times 12,5$  см. Новые геометрические характеристики сечения:

$$W_{расч} = bh^2/6 = 7,5 \cdot 12,5^2/6 = 195,3 \text{ см}^3,$$

$$F_{расч} = bh = 7,5 \cdot 12,5 = 93,75 \text{ см}^2,$$

$$i = 0,289h = 0,289 \cdot 12,5 = 3,61 \text{ см.}$$

Проверяем сечение:

$$\lambda = l/i = 225/3,61 = 62,28 < 70 = [\lambda],$$

$$\varphi = 1 - 0,8(\lambda/100)^2 = 1 - 0,8(62,28/100)^2 = 0,69,$$

$$\xi = 1 - \frac{N_c}{\varphi R_c F_{бр}} = 1 - \frac{1000}{0,69 \cdot 87,5 \cdot 75} = 1 - 0,175 = 0,825,$$

$$M_D = \frac{M}{\xi} = \frac{126,56}{0,825} = 153,38 \text{ кН} \cdot \text{см}.$$

Проверяем первое предельное состояние по формуле:

$$\sigma_u = \frac{N}{F_{расч}} + \frac{M_D}{W_{расч}} = \frac{10}{93,75} + \frac{153,38}{195,3} = 0,89 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} > R_c = 0,875 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}.$$

Проверяемое сечение  $b \times h = 7,5 \times 12,5$  см не обладает достаточной несущей способностью, следовательно, необходимо еще раз изменить сечение. При небольшой разнице напряжений и расчетного сопротивления можно увеличить ширину сечения  $b$ . Ближайшее большее значение размера пиломатериалов по ширине – 75 мм, по сортаменту – 100 мм. Принимаем

новое сечение:  $b \times h = 10 \times 12,5$  см. Новые геометрические характеристики сечения:

$$W_{\text{расч}} = bh^2/6 = 10 \cdot 12,5^2/6 = 260,4 \text{ см}^3,$$

$$F_{\text{расч}} = bh = 10 \cdot 12,5 = 125 \text{ см}^2,$$

$$i = 0,289h = 0,289 \cdot 12,5 = 3,61 \text{ см.}$$

Проверяем сечение:

$$\lambda = l/i = 225/3,61 = 62,28 < 70 = [\lambda],$$

$$\varphi = 1 - 0,8(\lambda/100)^2 = 1 - 0,8(62,28/100)^2 = 0,69,$$

$$\xi = 1 - \frac{N_c}{\varphi R_c F_{\text{бр}}} = 1 - \frac{1000}{0,69 \cdot 87,5 \cdot 75} = 1 - 0,175 = 0,825,$$

$$M_D = \frac{M}{\xi} = \frac{126,56}{0,825} = 153,38 \text{ кН} \cdot \text{см.}$$

Проверяем первое предельное состояние по формуле:

$$\sigma_{\text{и}} = \frac{N}{F_{\text{расч}}} + \frac{M_D}{W_{\text{расч}}} = \frac{10}{125} + \frac{153,38}{260,4} = 0,67 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} < R_c = 0,875 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}.$$

5. Вывод: Окончательно принимаем сечение  $b \times h = 10 \times 12,5$  см.

#### 4.3.3. Задача № 6 для самостоятельного решения

Проверить прочность стержня длиной  $l$ , сечением  $b \times h$ , без ослаблений, с шарнирно-закрепленными концами. На стержень действуют продольная сжимающая сила  $N_c$  и равномерная поперечная, нагрузкой  $q$ , в направлении большего размера сечения (рис. 6.1).

Исходные данные для самостоятельного решения задачи № 6 указаны в табл. 4.3.

Таблица 4.3

№ вар.	$N_c$ , кН	$q$ , кН/ м	$l$ м	Сечение, см		Материал		Условия эксплуатации		
				$b$	$h$	порода	сорт			
1	100	2	2	12,5	12,5	сосна	1	Режим нагружения «В» срок службы 50лет	Внутри отапливаемых помещений при температуре 30°C, и относительной влажности воздуха	До 65%
2	90	2,5	3,5	12,5	15	сосна	2			До 65%
3	80	3	3	12,5	17,5	сосна	3			До 65%
4	70	3,5	3,5	12,5	20	ель	1			Свыше 65 до 75%
5	60	4	4	12,5	22,5	ель	2			Свыше 65 до 75%
6	50	1	4,5	12,5	25	ель	3			Свыше 65 до 75%
7	40	1,5	5	15	10	листвен- ница	1			Свыше 75 до 85%
8	130	2	2	15	12,5	листвен- ница	2			Свыше 75 до 85%
9	120	2,5	2,5	15	15	листвен- ница	3			Свыше 75 до 85%
10	110	3	3	15	17,5	берёза	1			Свыше 75 до 85%
11	100	1	3,5	15	20	берёза	2		В сухой зоне	
12	90	1,5	4	15	22,5	берёза	3		В сухой зоне	
13	80	2	4,5	17,5	25	пихта	1		В сухой зоне	
14	70	2,5	5	17,5	10	пихта	2		В нормальной зоне	
15	60	3	5,5	17,5	12,5	пихта	3		В нормальной зоне	
16	50	3,5	6	17,5	15	дуб	1		В нормальной зоне	
17	40	4	5,5	17,5	17,5	дуб	2		Во влажной зоне	
18	30	4,5	5	17,5	20	дуб	3		Во влажной зоне	
19	45	2,5	4,5	20	22,5	осина	1		Во влажной зоне	

№ вар.	$N_c$ , кН	$q$ , кН/ м	$l$ м	Сечение, см		Материал		Условия эксплуатации		
				$b$	$h$	порода	сорт			
20	50	3	4	20	25	осина	2	Режим нагружения «В» срок службы – 50 лет	На открытом воздухе	В сухой зоне
21	55	2	3,5	20	10	осина	3			В сухой зоне
22	60	1,5	3	20	12,5	липа	2			В сухой зоне
23	65	1	2,5	20	15	липа	2			В нормальной зоне
24	70	0,5	3	20	17,5	липа	3			В нормальной зоне
25	75	1	3,5	22,5	20	клён	2			В нормальной зоне
26	40	1,5	4	22,5	22,5	клён	2			Во влажной зоне
27	45	2	4,5	22,5	25	клён	3			Во влажной зоне
28	50	2,1	5	22,5	10	сосна	2			Во влажной зоне
29	60	1	5,5	22,5	12,5	сосна	2			Во влажной зоне
30	65	1	6	22,5	15	сосна	3			Во влажной зоне

### 5. Расчет соединений элементов деревянных конструкций

Врубкой называется соединение, преимущественно работающее на смятие и скалывание.

Расчет врубок производят из условий прочности:

- на смятие вдоль волокон;
- на смятие поперек волокон;
- на смятие под углом  $\alpha$ ;
- на скалывание вдоль волокон.

Расчетная несущая способность соединения определяется по формулам [1, п. 5.2.]:

из условия смятия древесины  $T_{см} = R_{см} \cdot F_{см}$ ;

из условия скалывания древесины  $T_{ск} = R_{ск}^{cp} \cdot F_{ск}$ ,

где  $F_{см}$  – расчетная площадь смятия;

$F_{ск}$  – расчетная площадь скалывания;

$R_{см}$  – расчетное сопротивление древесины смятию;

$R_{ск}^{cp}$  – расчетное сопротивление древесины, среднее по площадке скалывания, определяемое по формуле:

$$R_{ск}^{cp} = \frac{R_{ск}}{1 + \beta \cdot \frac{l_{ск}}{e}}$$

Здесь  $\beta$  – коэффициент, принимаемый равным 0,125 при приложении нагрузки на площадку скалывания с противоположных сторон, равное 0,25 при односторонней нагрузке (п.5.3. [1]),  $R_{ск}$  – расчетное сопротивление древесины скалыванию вдоль волокон,  $l_{ск}$  – расчетная длина скалывания (принимается не более 10 глубин врезки  $h_{вр}$  в элемент),  $e$  – плечо сил скалывания (имеет значения 0,5 $h$  для односторонней врубки (рис. 5.1а) и 0,25 $h$  – для двухсторонней врубки (рис. 5.1б), где  $h$  –высота сечения).

Расчетное сопротивление древесины смятию под углом  $\alpha$  определяется согласно примечанию 2 к таблице 3 [1] по формуле:

$$R_{см,\alpha} = \frac{R_{см}}{1 + \left( \frac{R_{см}}{R_{см,90}} - 1 \right) \cdot \sin^3 \alpha}$$

а)

б)

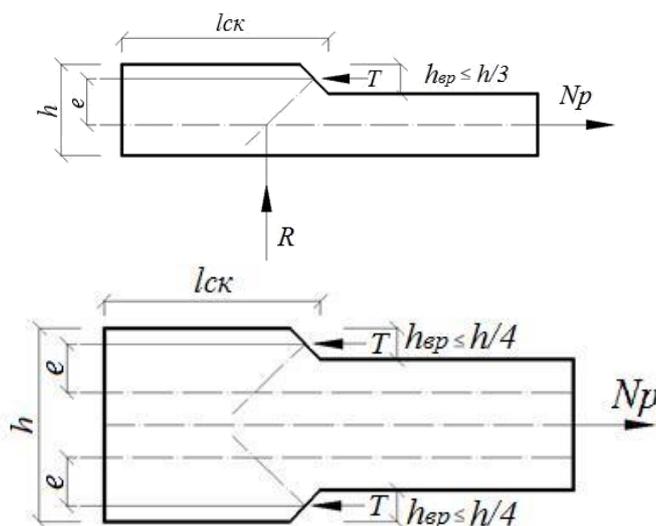


Рис. 5.1. К определению плеча сил скалывания  
а) односторонняя врубка, б) двухсторонняя врубка

## 5.1. Поперечный лобовой упор

### 5.1.1. Пример задачи №7

Проверить прочность поперечного лобового упора при смятии балки, опертой на стойку, сечения которых равны:  $b \times h = 10,0 \times 15,0$  см (рис. 5.2). В стойке действует сжимающая сила  $N_c = 80$  кН. Материал – береза 2-го сорта.

Условия эксплуатации – внутри неотапливаемого помещения (чердак) в нормальной зоне, в режиме нагружения «Б», срок службы – 50 лет.

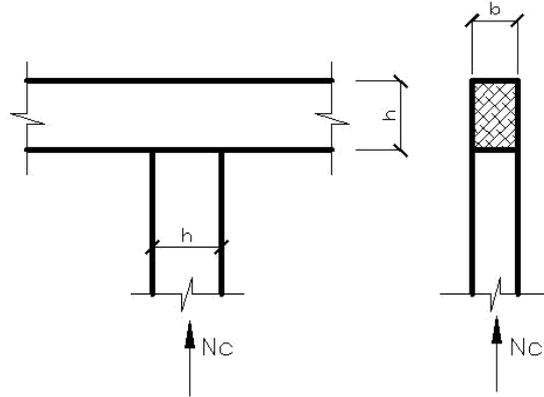


Рис. 5.2. Поперечный лобовой упор

Решение:

1. Определение всех необходимых коэффициентов и несущих способностей.

Учет температурно-влажностных условий эксплуатации конструкции производится по классу условий эксплуатации, который устанавливается по эксплуатационной или относительной влажности по [1, табл. 1], а при необходимости – по дополнительным характеристикам эксплуатации [1, табл. А2 прил. А]. В нашем случае не задана влажность, поэтому воспользуемся дополнительными данными [1, прил. А2]. Видим, что наиболее близкие к заданным условиям п. 3.2 – под навесом в неотапливаемой зоне влажности – 3-й класс условий эксплуатации. По [1, табл. 9] находим:  $m_B = 0.85$ .

Учет породы древесины – по [1, табл. 5] для березы и для напряженного состояния – смятие вдоль волокон – определяем коэффициент  $m_{II} = 1,1$ , смятие поперек волокон:  $m_{II} = 1,6$ .

По [1, табл. 3] базовое расчетное сопротивление смятию вдоль волокон сосны, ели 2-го сорта  $R_{CM}^A = 19,5$  МПа; базовое расчетное сопротивление смятию поперек волокон сосны, ели 2-го сорта  $R_{CM,90}^A = 4,5$  МПа.

Окончательно устанавливаем расчетное сопротивление, соответствующее заданной породе (береза), сорту (2-й) и условиям эксплуатации (внутри неотапливаемого помещения в нормальной зоне), используя найденные коэффициенты:

$$R_{CM} = R_{CM}^A \cdot m_{дл} \cdot m_{II} \cdot m_B \cdot m_{CC} = 19,5 \cdot 0,53 \cdot 1,1 \cdot 1 \cdot 0,85 \cdot 1 = 9,66 \text{ МПа,}$$

$$R_{CM,90} = R_{CM,90}^A \cdot m_{дл} \cdot m_{II} \cdot m_B \cdot m_{CC} = 4,5 \cdot 0,53 \cdot 1,1 \cdot 1 \cdot 0,85 \cdot 1 = 3,24 \text{ МПа.}$$

2. Определение геометрических характеристик сечения

Находим площадь смятия:  $F_{CM} = bh = 10 \cdot 15 = 150 \text{ см}^2$ .

3. Проверка несущей способности

Несущая способность на смятие вдоль волокон (проверка стойки):

$$\begin{aligned}N_{см} &= N_c = 80 \text{ кН}, \\T_{см} &= R_{см} \cdot F_{см} = 0,966 \cdot 150 = 144,9 \text{ кН}, \\N_{см} &= N_c = 80 \text{ кН} < T_{см} = 193 \text{ кН}.\end{aligned}$$

Условие выполняется, прочность на смятие стойки обеспечена.

Несущая способность на смятие поперек волокон (проверка балки):

$$\begin{aligned}N_{см} &= N_c = 80 \text{ кН}, \\T_{см,90} &= R_{см,90} \cdot F_{см} = 0,324 \cdot 150 = 48,6 \text{ кН}, \\N_{см} &= N_c = 80 \text{ кН} > T_{см,90} = 48,6 \text{ кН}.\end{aligned}$$

Условие не выполняется, прочность на смятие балки не обеспечена. Следует увеличить площадь смятия балки, волокна которой работают поперек. При увеличении площади смятия за счет увеличения размера  $b$  необходимо изменять сечение обеих балок, а увеличение размера  $h$  скажется только на изменении сечения стойки. Значение нового размера  $h_n$  можно определить по соотношению ( $N_c / T_{см,90}$ ):

$$h_n = h(N_c / T_{см,90}) = 15 \cdot (80/48,6) = 15 \cdot 1,11 = 24,7 \text{ см}.$$

По сортаменту принимаем:  $h_n = 200$  мм,  $b$  увеличим до 150 мм.

Тогда  $F_{см} = bh = 15 \cdot 20 = 300 \text{ см}^2$ .

Несущая способность на смятие поперек волокон (проверка балки):

$$N_{см} = N_c = 80 \text{ кН} < T_{см,90} = R_{см,90} \cdot F_{см} = 0,324 \cdot 300 = 97,4 \text{ кН}.$$

Условие прочности по смятию опорной части балки поперек волокон выполняется.

4. Вывод: Принимаем сечение стойки поперечного лобового упора  $bh=15 \times 20$  см, сечение балки оставляем прежним.

### 5.1.2. Задача № 7 для самостоятельного решения

Проверить прочность поперечного лобового упора при смятии балки, опертой на стойку, сечения которой имеют размеры  $b \times h$ . В стойке действует предельная сжимающая сила  $N_c$  (рис. 5.2).

Исходные данные для самостоятельного решения задачи № 7 указаны в табл. 5.1.

Таблица 5.1

№ варианта	N <sub>c</sub> , кН	Сечение, см		Материал		Условия эксплуатации		
		b	h	порода	сорт			
1	80	20	20	сосна	1	Внутри неотапливаемых помещений	В сухой зоне	
2	90	20	17,5	сосна	2		В сухой зоне	
3	100	20	15	сосна	3		В сухой зоне	
4	60	15	20	сосна	1		В сухой зоне	
5	70	17,5	20	сосна	2		В сухой зоне	
6	50	17,5	17,5	Лиственница	1	Внутри отапливаемых помещений при температуре 35 <sup>0</sup> С, относительной влажности воздуха	До 65%	
7	55	17,5	22,5	Лиственница	2		До 65%	
8	100	22,5	22,5	Лиственница	3		До 65%	
9	110	20	22,5	Лиственница	1		До 65%	
10	120	17,5	24	Лиственница	2		До 65%	
11	50	17,5	17,5	пихта	1		Свыше 65 до 75%	
12	55	17,5	22,5	пихта	2		Свыше 65 до 75%	
13	100	22,5	22,5	пихта	3		Свыше 65 до 75%	
14	110	20	22,5	Пихта	1		Свыше 65 до 75%	
15	120	17,5	25	пихта	2		Свыше 65 до 75%	
16	140	17,5	20	ель	1		Внутри неотапливаемых помещений	В нормальной зоне
17	110	17,5	17,5	ель	2			В нормальной зоне
18	120	22,5	22,5	ель	3			В нормальной зоне
19	130	20	22,5	ель	1			В нормальной зоне
20	100	17,5	25	ель	2			В нормальной зоне
21	140	17,5	22,5	берёза	1	Во влажной зоне		
22	150	17,5	20	берёза	2	Во влажной зоне		

Режим загрузки «В» срок службы – 50 лет

№ варианта	$N_c$ , кН	Сечение, см		Материал		Условия эксплуатации		
		$b$	$h$	порода	сорт			
23	130	17,5	17,5	берёза	3	Режим нагружения «В», срок службы = 50 лет	Внутри неотапливаемых помещений	Во влажной зоне
24	100	22,5	22,5	берёза	1			Во влажной зоне
25	80	17,5	22,5	берёза	2			Во влажной зоне
26	60	17,5	17,5	осина	1			В сухой зоне
27	50	15	20	осина	2			В сухой зоне
28	40	15	25	осина	1			В сухой зоне
29	70	15	25	осина	2			В сухой зоне
30	35	17,5	20	осина	1			В сухой зоне

## 5.2. Наклонный лобовой упор

### 5.2.1. Пример задачи № 8

Проверить прочность при смятии наклонного лобового упора торцов наклонной стойки и ригеля из брусьев сечением  $b \times h = 10,0 \times 15,0$  см, соединенных под углом  $\alpha = 30^\circ$  (рис. 5.3). Конец наклонной стойки обрезан под прямым углом к оси, и в ней действует продольная сжимающая сила  $N_c = 180$  кН. Опорный конец ригеля обрезан под углом  $\alpha = 30^\circ$  к его оси. Материал - береза 2-го сорта. Условия эксплуатации - неотапливаемого помещения (чердак) в нормальной зоне; в режиме нагружения «Б», срок службы - 50 лет.

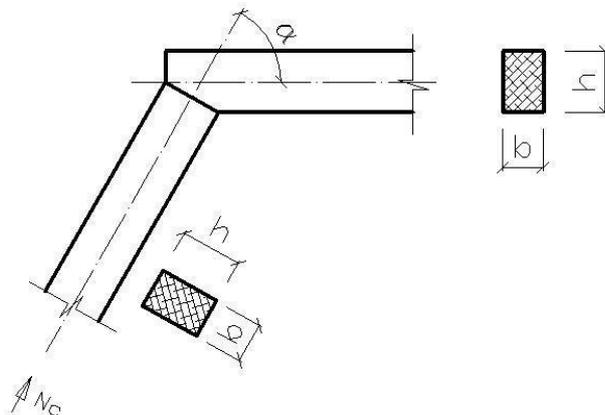


Рис. 5.3. Наклонный лобовой упор

## Решение

1. Определение всех необходимых коэффициентов и несущих способностей.

Учет температурно-влажностных условий эксплуатации конструкции производится по классу условий эксплуатации, который устанавливается по эксплуатационной или относительной влажности по [1, табл. 1], а при необходимости - по дополнительным характеристикам эксплуатации [1, таблице А2 прил. А]. В нашем случае не задана влажность, поэтому воспользуемся дополнительными данными [1, прил. А2]. Видим, что наиболее близкие к заданным условиям п. 3.2 - под навесом в неотапливаемой зоне влажности - 3-й класс условий эксплуатации. По [1, табл. 9] находим:  $m_B = 0,85$ .

Учет породы древесины – по [1, табл. 5] для березы и смятия вдоль волокон определяем коэффициент:  $m_{\Pi} = 1,1$ , для смятия поперек волокон:  $m_{\Pi} = 1,6$ .

По [1, п. 1а и 4а табл. 3] определяем базовое расчетное сопротивление смятию вдоль волокон стандартной породы древесины 2-го сорта  $R_{\text{см}}^A = 19,5$  МПа. Базовое расчетное сопротивление смятию поперек волокон стандартной породы древесины 2-го сорта  $R_{\text{см},90}^A = 4,5$  МПа.

Окончательно устанавливаем расчетное сопротивление, соответствующее заданным условиям эксплуатации – внутри неотапливаемого помещения в нормальной зоне конструкции из березы 2-го сорта:

$$R_{\text{см}} = R_{\text{см}}^A \cdot m_{\text{дл}} \cdot m_{\Pi} \cdot m_B \cdot m_{\text{сс}} = 19,5 \cdot 0,53 \cdot 1,1 \cdot 1 \cdot 0,85 \cdot 1 = 9,66 \text{ МПа,}$$

$$R_{\text{см},90} = R_{\text{см},90}^A \cdot m_{\text{дл}} \cdot m_{\Pi} \cdot m_B \cdot m_{\text{сс}} = 4,5 \cdot 0,53 \cdot 1,6 \cdot 0,85 \cdot 1 = 3,24 \text{ МПа.}$$

Расчетное сопротивление древесины смятию под углом  $\alpha = 30^\circ$  определяется по формуле:

$$R_{\text{см},\alpha} = \frac{R_{\text{см}}}{1 + \left( \frac{R_{\text{см}}}{R_{\text{см},90}} - 1 \right) \sin^3 \alpha} = \frac{9,66}{1 + \left( \frac{9,66}{3,24} - 1 \right) \sin^3 30^\circ} = 7,74 \text{ МПа}$$

2. Определение геометрических характеристик сечения

Находим площадь смятия:  $F_{\text{см}} = bh = 10 \cdot 15 = 150 \text{ см}^2$ .

3. Проверка несущей способности

Несущая способность на смятие вдоль волокон (проверка подвеса):

$$N_{\text{см}} = N_c = 180 \text{ кН, } T_{\text{см}} = R_{\text{см}} \cdot F_{\text{см}} = 0,966 \cdot 150 = 144,9 \text{ кН.}$$

Условие не выполняется, прочность на смятие стойки не обеспечена. Увеличим сечение за счет  $h$  до большего размера:  $h = 200 \text{ мм}$ ,  $F_{\text{см}} = 200 \text{ см}^2$ . Несущая способность нового сечения:

$$T_{\text{см}} = R_{\text{см}} \cdot F_{\text{см}} = 0,966 \cdot 200 = 193,2 \text{ кН,}$$

$$N_{\text{см}} = N_c = 180 \text{ кН,}$$

$$T_{\text{см}} = 193,2 \text{ кН.}$$

Прочность на смятие стойки обеспечена.

Несущая способность на смятие под углом 30° (проверка опорной части ригеля):

$$N_{см} = N_c = 180 \text{ кН},$$

$$T_{см,30} = R_{см,30} \cdot F_{см} = 0,774 \cdot 200 = 154,8 \text{ кН},$$

$$N_{см} = N_c = 180 \text{ кН},$$

$$T_{см,30} = 154,8 \text{ кН}.$$

Условие прочности на смятие опорной части ригеля не выполняется. Увеличим до 150x175 мм:

$$F_{см} = bh = 15 \cdot 17,5 = 262,5 \text{ см}^2,$$

$$T_{см,30} = R_{см,30} \cdot F_{см} = 0,774 \cdot 262,5 = 203,175 \text{ кН} > 180 \text{ кН}.$$

Условие прочности на смятие опорной части ригеля выполняется.

4. Вывод: Окончательно устанавливаем сечения элементов – сечение ригеля 100x225 мм.

### 5.2.2. Задача № 8 для самостоятельного решения

Проверить прочность при смятии наклонного лобового упора торцов наклонной стойки и ригеля из брусьев сечением  $b \times h$ , соединенных под углом  $\alpha$ . Конец наклонной стойки обрезан под прямым углом к оси, и в ней действует продольная сжимающая сила  $N_c$ . Опорный конец (сечение сравнить с сортаментом) ригеля обрезан под углом  $\alpha$  к его оси (рис. 5.3).

Исходные данные для самостоятельного решения задачи № 8 указаны в табл. 5.2.

Таблица 5.2

№ вар.	$N_c$ , кН	Сечение, см			Угол $\alpha$ , °	Материал		Условия эксплуатации		
		$b$	$h$	$d$		порода	сор т			
1	80	20	20		30	сосна	1	Режим загрузки «В», срок службы – 50	Внутри неотопляемых помещений	В сухой зоне
2	90	20	17,5		35	сосна	2			В сухой зоне
3	100	20	15		40	сосна	3			В сухой зоне
4	60	15	20		45	сосна	1			В сухой зоне
5	70	17,5	20		25	сосна	2			В сухой зоне
6	50	17,5	17,5		30	ель	1	Внутри отапливаемых помещений	До 65%	
7	55	17,5	22,5		35	ель	2		До 65%	
8	100	22,5	22,5		41	ель	3		До 65%	
9	110	20	22,5		26	ель	1		До 65%	
10	120	17,5	24		31	ель	2		До 65%	

Окончание табл. 5.2

№ вар.	N <sub>c</sub> , кН	Сечение, см			Угол α, °	Материал		Условия эксплуатации	
		b	h	d		порода	сор т		
11	50	17,5	17,5		30	пихта	1	при температуре 35 <sup>0</sup> С, относительной влажности воздуха	Свыше 65 до 75%
12	55	17,5	22,5		35	пихта	2		Свыше 65 до 75%
13	100	22,5	22,5		40	пихта	3		Свыше 65 до 75%
14	110	20	22,5		45	Пихта	1		Свыше 65 до 75%
15	120	17,5	25		25	пихта	2		Свыше 65 до 75%
16	140			30	25	лиственн ица	1	Режим загрузки «В» срок службы – 50 лет  Внутри неотапливаемых помещений	В нормаль- ной зоне
17	110			20	28	лиственн ица	2		В нормаль- ной зоне
18	120			22	30	лиственн ица	3		В нормаль- ной зоне
19	130			24	32	лиственн ица	1		В нормаль- ной зоне
20	100			28	34	лиственн ица	2		В нормаль- ной зоне
21	140			32	25	берёза	1		Во влажной зоне
22	150			36	28	берёза	2		Во влажной зоне
23	130			18	30	берёза	3		Во влажной зоне
24	100	22,5	22,5		31	берёза	1		Во влажной зоне
25	80	17,5	22,5		33	берёза	2		Во влажной зоне
26	60	17,5	17,5		42	осина	1		В сухой зоне
27	50	15	20		38	осина	2		В сухой зоне
28	40	15	25		35	осина	1		В сухой зоне
29	70	15	25		32	осина	2		В сухой зоне
30	35	17,5	20		30	осина	1		В сухой зоне

### 5.3. Лобовая врубка

#### 5.3.1. Пример задачи № 9

Проверить несущую способность лобовой врубки с одним зубом опорного узла фермы. Стержни верхнего и нижнего пояса имеют сечения  $b \times h = 10,0 \times 15,0$  см. Усилие в верхнем поясе:  $N_c = 60$  кН. Стержень верхнего пояса расположен под углом  $\alpha = 40^\circ$  к стержню нижнего пояса (рис 5.4). Глубина врубки:  $h_{вр} = 5,0$  см. Расстояние от нижней точки врубки до конца пояса  $l_{ск} = 30,0$  см. Материал - береза 2-го сорта. Условия эксплуатации – внутри неотапливаемого помещения (чердак) в нормальной зоне; в режиме нагружения «Б», срок службы - 50 лет.

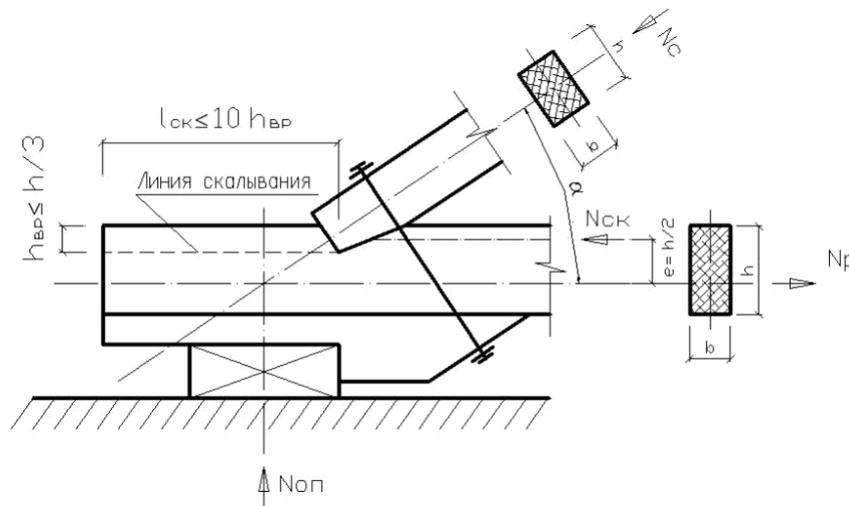


Рис. 5.4. Лобовая врубка

#### Решение

1. Определение всех необходимых коэффициентов и несущих способностей.

Учет температурно-влажностных условий эксплуатации конструкции производится по классу условий эксплуатации, который устанавливается по эксплуатационной или относительной влажности по [1, табл. 1], а при необходимости по дополнительным характеристикам эксплуатации [1, таблице А2 прил. А]. В нашем случае не задана влажность, поэтому воспользуемся дополнительными данными [1, прил. А2]. Видим, что наиболее близкие к заданным условиям п. 3.2 - под навесом в неотапливаемой зоне влажности - 3-й класс условий эксплуатации. По [1, табл. 9] находим:  $m_b = 0,85$ .

Учет породы древесины – о [1, табл. 5] для березы и для напряженного состояния «смятия вдоль волокон» определяем коэффициент:  $m_{п1} = 1,1$ , для смятия поперек волокон:  $m_{п2} = 1,6$ , скальвание:  $m_{п3} = 1,3$ .

По [1, п. 1а, 4а и 5в табл. 3] определяем базовое расчетное сопротивление смятию вдоль волокон стандартной породы древесины 2-го сорта  $R_{см}^A = 19,5$  МПа. Базовое расчетное сопротивление смятию поперек волокон

древесины 2-го сорта  $R_{\text{см},90}^A = 4,5$  МПа. Базовое расчетное сопротивление скалыванию вдоль волокон древесины 2-го сорта  $R_{\text{ск}} = 3,2$  МПа, в режиме нагружения «Б», срок службы - 50 лет.

Окончательно устанавливаем расчетное сопротивление, соответствующее заданной породе (береза), сорту (2-й) и условиям эксплуатации (внутри неотапливаемого помещения в нормальной зоне), используя найденные коэффициенты:

$$R_{\text{см}} = R_{\text{см}}^A \cdot m_{\text{дл}} \cdot m_{\text{п}} \cdot m_{\text{в}} \cdot m_{\text{сс}} = 19,5 \cdot 0,53 \cdot 1,1 \cdot 1 \cdot 0,85 \cdot 1 = 9,66 \text{ МПа},$$

$$R_{\text{см},90} = R_{\text{см},90}^A \cdot m_{\text{дл}} \cdot m_{\text{п}} \cdot m_{\text{в}} \cdot m_{\text{сс}} = 4,5 \cdot 0,53 \cdot 1,6 \cdot 0,85 \cdot 1 = 3,24 \text{ МПа},$$

$$R_{\text{ск}} = R_{\text{ск}}^A \cdot m_{\text{дл}} \cdot m_{\text{п}} \cdot m_{\text{в}} \cdot m_{\text{сс}} = 3,2 \cdot 0,53 \cdot 1,3 \cdot 0,85 \cdot 1 = 1,87 \text{ МПа}.$$

Расчетное сопротивление древесины смятию под углом  $\alpha = 40^\circ$  определяется по формуле:

$$R_{\text{см},\alpha} = \frac{R_{\text{см}}}{1 + \left(\frac{R_{\text{см}}}{R_{\text{см},90}} - 1\right) \sin^3 \alpha} = \frac{9,66}{1 + \left(\frac{9,66}{3,24} - 1\right) \sin^3 40^\circ} = 6,33 \text{ МПа}.$$

Расчетное сопротивление древесины скалыванию среднее по площадке скалывания определяется по формуле:

$$R_{\text{ск}}^{\text{ср},A} = \frac{R_{\text{ск}}}{1 + \beta \frac{l_{\text{ск}}}{e}} = \frac{1,87}{1 + 0,25 \frac{30}{0,5 \cdot 15}} = 0,935 \text{ МПа}.$$

## 2. Определение геометрических характеристик сечения

Находим площадь скалывания:  $F_{\text{ск}} = l_{\text{ск}} \cdot b = 30 \cdot 10 = 300 \text{ см}^2$ .

Находим площадь смятия:

$$F_{\text{см}} = (b \cdot h_{\text{вр}}) / \cos 40^\circ = (10 \cdot 5) / 0,766 = 65,27 \text{ см}^2.$$

## 3. Проверка несущей способности

Несущая способность на смятие под углом  $40^\circ$ :

$$\begin{aligned} N_{\text{см}} &= N_c = 60 \text{ кН}, \\ T_{\text{см},40} &= R_{\text{см},40} \cdot F_{\text{см}} = 0,633 \cdot 65,27 = 41,32 \text{ кН}, \\ 60 \text{ кН} &> 41,32 \text{ кН}. \end{aligned}$$

Условие не выполняется, прочность на смятие под углом  $40^\circ$  не обеспечена.

При невыполнении условий по смятию следует увеличить  $F_{\text{см}}$  либо за счет повышения  $h_{\text{вр}}$  до предельного значения  $h_{\text{вр}}^{\text{пр}} = \frac{h}{3}$ , либо за счет увеличения высоты сечения  $h$ , затем пропорционально увеличить  $h_{\text{пр}}$  и  $l_{\text{ск}}$ . Поскольку увеличение площади  $F_{\text{см},\alpha}$  уже исчерпано за счет увеличения  $h_{\text{вр}}$ , то применяем новое значение  $h=17,5$  см, при  $h_{\text{в}} = \frac{1}{3h} = 5,83$  см.

Новая площадь смятия:

$$F_{\text{см},40} = \frac{bh_{\text{вр}}}{\cos 40^\circ} = 10 \cdot \frac{5,83}{0,77} = 75,71 \text{ см}^2.$$

Новая максимальная площадь скалывания:  $F_{\text{СК}} = l_{\text{СК}} \cdot b$ ;  
 $l_{\text{СК}} \leq 10h_p = 10 \cdot 5,83 \text{ см},$   
 $F_{\text{СК}} = 58,3 \cdot 10 = 583 \text{ см}.$

Проверка несущей способности нового сечения:

$$N_{\text{СМ}} = N_{\text{С}} = 60 \text{ кН},$$

$$T_{\text{СМ},40} = R_{\text{СМ} 40} \cdot F_{\text{СМ} 40} = 0,633 \cdot 75,71 = 47,92 \text{ кН},$$

$$N_{\text{СМ}} = 60 \text{ кН} > 47,92 \text{ кН} = T_{\text{СМ},40}.$$

Условие не выполняется, увеличиваем  $h=22,5 \text{ см}$ :

$$h_{\text{ВР}} = \frac{1}{3} \cdot 22,5 = 7,5 \text{ см},$$

$$F_{\text{СМ},40} = \frac{bh_{\text{ВР}}}{\cos 40^\circ} = 10 \cdot \frac{7,5}{0,77} = 97,4 \text{ см}^2,$$

$$l_{\text{СК}} \geq 10h_{\text{ВР}} = 75 \text{ см},$$

$$F_{\text{СК}} = l_{\text{СК}} \cdot b = 75 \cdot 10 = 750 \text{ см}.$$

Проверка:

$$T_{\text{СМ},40} = R_{\text{СМ} 40} \cdot F_{\text{СМ} 40} = 0,633 \cdot 97,4 = 61,66 \text{ кН} > N_{\text{С}} = 60 \text{ кН}.$$

Условие по смятию выполняется.

Проверяем последнее сечение на скалывание вдоль волокон.

$$N_{\text{СК}} = N_{\text{С}} \cdot \cos \alpha = 60 \cdot \cos 40^\circ = 60 \cdot 0,77 = 46,2 \text{ кН}.$$

$$T_{\text{СК}} = R_{\text{СК}}^{\text{CP}} \cdot F_{\text{СК}} = 0,0935 \cdot 750 = 70,13 \text{ кН} > N_{\text{СК}} = 46,2 \text{ кН}.$$

Условие по скалыванию выполняется с запасом:

$$\frac{T_{\text{СК}}}{N_{\text{СК}}} = 1,5 \text{ раза}.$$

Поскольку зависимость  $T_{\text{СК}}$  от  $l_{\text{СК}}$  линейная, то можем уменьшить второе значение:

$$l_{\text{СК}} = \frac{75}{1,5} = 50 \text{ см}.$$

В целях экономии древесины принимаем:  $l_{\text{СК}} = 50 \text{ см}.$

4. Вывод:  $b = 10 \text{ см}, h = 20,0 \text{ см}, l_{\text{СК}} = 40 \text{ см}.$

### 5.3.2. Задача № 9 для самостоятельного решения

Проверить прочность лобовой врубки с одним зубом опорного узла фермы. Стержни верхнего и нижнего пояса имеют сечения  $b \times h$ , и в них действуют усилия сжатия  $N_{\text{С}}$ . Сжатый стержень наклонен под углом  $\alpha$  к растянутому. Глубина врубки –  $h_{\text{ВР}}$ . Расстояние от нижней точки врубки до конца пояса –  $l_{\text{СК}}$  (рис. 5.4).

Исходные данные для самостоятельного решения задачи № 9 указаны в табл. 5.3.

Таблица 5.3

№ вар.	N <sub>c</sub> , кН	Сечение, см		Угол α, °	h <sub>вруб</sub> , см	l <sub>ск</sub> , см	Материал		Условия эксплуатации	
		b	h				порода	сорт		
1	80	20	20	30	5	50	сосна	1	Внутри неотопляемых помещений	В сухой зоне
2	90	20	17,5	35	4,3	43	сосна	2		В сухой зоне
3	100	20	15	40	4	40	сосна	3		В сухой зоне
4	60	15	20	45	5	50	сосна	1		В сухой зоне
5	70	17,5	20	25	5	50	сосна	2		В сухой зоне
6	50	17,5	17,5	30	8	90	Листвен- ница	1	Внутри отапливаемых помещений при температуре 35°С, относительной влажности воздуха	До 65%
7	55	17,5	22,5	35	9	90	Листвен- ница	2		До 65%
8	100	22,5	22,5	41	6,5	70	Листвен- ница	3		До 65%
9	110	20	22,5	26	5,5	60	Листвен- ница	1		До 65%
10	120	17,5	24	31	5	55	Листвен- ница	2		До 65%
11	50	17,5	17,5	30	4,5	45	пихта	1		Свыше 65 до 75%
12	55	17,5	22,5	35	5,5	60	пихта	2		Свыше 65 до 75%
13	100	22,5	22,5	40	5	60	пихта	3		Свыше 65 до 75%
14	110	20	22,5	45	5,5	60	Пихта	1		Свыше 65 до 75%
15	120	17,5	25	25	6	60	пихта	2		Свыше 65 до 75%

Режим загрузки «В» срок службы – 50 лет

Окончание табл. 5.3

№ вар.	N <sub>c</sub> , кН	Сечение, см		УГОЛ α, °	h <sub>вруб</sub> , см	l <sub>ск</sub> , см	Материал		Условия эксплуатации		
		b	h				порода	сорт			
16	70	17, 5	15	25	7,5	80	ель	1	Режим загрузки «В» срок службы – 50 лет	Внутри неотапливаемых помещений	В нормаль- ной зоне
17	90	20	15	28	5	50	ель	2			В нормаль- ной зоне
18	70	20	17, 5	30	5,5	55	ель	3			В нормаль- ной зоне
19	60	17, 5	12, 5	32	6	60	ель	1			В нормаль- ной зоне
20	70	17, 5	17, 5	34	7	70	ель	2			В нормаль- ной зоне
21	60	17, 5	20	42	4,5	50	берёза	1			Во влажной зоне
22	50	15	25	38	5	50	берёза	2			Во влажной зоне
23	40	17, 5	25	35	6	65	берёза	3			Во влажной зоне
24	70	17, 5	25	32	6	70	берёза	1			Во влажной зоне
25	35	17, 5	20	30	5	60	берёза	2			Во влажной зоне
26	60	20	17, 5	42	4,5	50	осина	1			В сухой зоне
27	50	20	20	38	5	50	осина	2			В сухой зоне
28	40	17, 5	20	35	6	65	осина	1			В сухой зоне
29	70	17, 5	17, 5	32	6	70	осина	2			В сухой зоне
30	50	17, 5	15	30	5	60	осина	1			В сухой зоне

## 6. Расчет соединений элементов деревянных конструкций

### 6.1. Нагельные соединения (цилиндрические нагели)

Расчет нагельных соединений производят из условий:

- изгиба нагеля;
- смятия элементов соединения.

Базовая расчетная несущая способность цилиндрического нагеля на один шов сплавляемых элементов из стандартной породы древесины при направлении действия усилий, передаваемых нагелями вдоль волокон  $[T_{и}]$ ,  $[T_{см}]$ , определяется по [1, табл. 18]. Порода древесины, другие температурно-влажностные условия эксплуатации, угол приложения усилий и т.п. учитываются соответствующими коэффициентами:

- для изгиба нагеля  $T_{и} = [T_{и}] \cdot \sqrt{m_{п} \cdot m_{в} \cdot m_{д} \cdot m_{а} \cdot m_{сс} \cdot m_{т} \cdot k_{\alpha} \cdot k_{н}}$
- для смятия древесины  $T_{см} = [T_{см}] \cdot m_{п} \cdot m_{в} \cdot m_{д} \cdot m_{т} \cdot m_{а} \cdot m_{сс} \cdot k_{\alpha} \cdot k_{н}$ .

Расчетная несущая способность нагеля в соединении принимается наименьшей из значений  $T_{и}$ ,  $T_{см}$ .

Расстановка нагелей должна удовлетворять нормам расстановки, указанным в [1, п.п. 8.18–8.21].

Число нагелей в соединении определяется по формуле:

$$n_{н} \geq \frac{N}{T_{\min} * n_{ш}}$$

где  $N$  – расчетное усилие,

$T_{\min}$  – наименьшая расчетная несущая способность одного нагеля в соединении,

$n_{ш}$  – число расчетных швов одного нагеля.

Для гвоздей определяется расчетная длина защемления конца гвоздя (толщина крайнего элемента). Вначале необходимо определить общую толщину пробиваемого пакета, учитывая зазор между элементами, равный 2 мм [1, п. 8.20]. Затем эта величина сравнивается с длиной принимаемого гвоздя. При выходе гвоздя из крайней доски (длина гвоздя больше толщины пробиваемого пакета) толщина этой доски должна быть уменьшена на  $1,5d$  из-за повреждения наружных волокон [1, п. 8.20]. Если длина гвоздя меньше толщины пробиваемого пакета, определяется величина защемления гвоздя в крайнем элементе, при этом заостренная часть гвоздя не учитывается в защемлении, т.е. расчетная длина защемления становится меньше на  $1,5d$  [1, п. 8.20].

Если расчетная длина защемления конца гвоздя меньше  $4d$ , то количество рассчитываемых швов уменьшается на единицу.

В соответствии с нормами рекомендуется использовать следующую расстановку нагелей (рис. 6.1).

Для стальных цилиндрических нагелей (болтов)  $S_1=7d$ ;  $S_2=3,5d$ ;  $S_3=3d$ .

Для гвоздей  $S_1=15d$ ;  $S_2=4d$ ;  $S_3=4d$ .

Рекомендуемые диаметры болтов приведены в табл. 6.1 в соответствии с ГОСТ 1759.0-87 и СП 16.13330.2017.

Таблица 6.1

$d$ (диаметр), мм	8	10	12	16	20	24	27	30	36
Площадь нетто, см <sup>2</sup>	0,35	0,55	0,74	1,41	2,18	3,16	4,18	5,06	7,44
Площадь брутто, см <sup>2</sup>	0,5	0,78	1,13	2,01	3,14	4,52	5,72	7,06	10,17

Рекомендуемые размеры принимаемых гвоздей приведены в приложении, табл. 6.2 в соответствии с ГОСТ 4028-63.

Таблица 6.2

$d$ (диаметр), мм	1,8	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	5,0	6,0	8,0
$l$ (длина), мм	32, 40, 50, 60	40, 50	50, 60	70, 80	90	100, 120	120, 150	150, 200	250

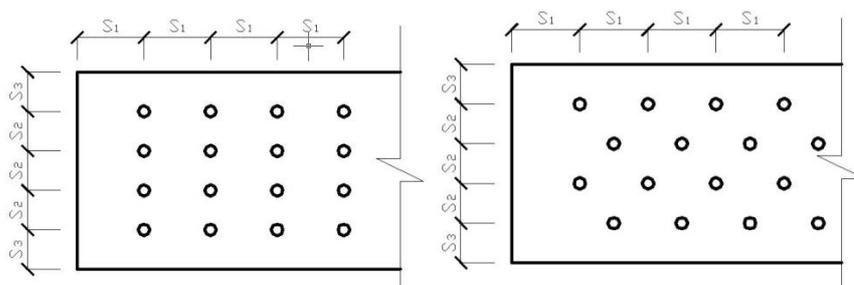


Рис. 6.1. Расстановка нагелей: б) расстановка в шахматном порядке

### 6.1.1. Пример задачи № 10

Подобрать сечение и определить необходимое количество болтов в стыке двух брусьев сечением  $b \times h = 15,0 \times 20,0$  см с двухсторонними накладками сечением  $b_1 \times h = 8,0 \times 20,0$  см. Болты располагаются в два ряда (рис. 6.2). В соединении действует продольное растягивающее усилие  $N = 160$  кН. Материал – береза. Условия эксплуатации – на открытом воздухе, в нормальной зоне, сроком службы – 50 лет.

Решение:

1. Определение всех необходимых коэффициентов.

Учет температурно-влажностных условий эксплуатации конструкции производится по классу условий эксплуатации, который устанавливается по эксплуатации или относительной влажности по [1, табл. 1] или по дополнительным характеристикам эксплуатации [1, табл. А2 прил. А]. В нашем примере не задана влажность, поэтому воспользуемся дополнительными данными [1, прил. А2]. Видим, что наиболее близок к заданным условиям (п. 4а – влажные атмосферные условия) – 4-й класс;  $m_B = 0,9$ .

Учет породы древесины – по [1, табл. 5] для березы и для напряженного состояния «смятие вдоль волокон» определяем коэффициент  $m_n=1,1$

Учет срока производительности – по [1, табл. 13], итог – 50 лет:  $m_{cc} = 1$ .

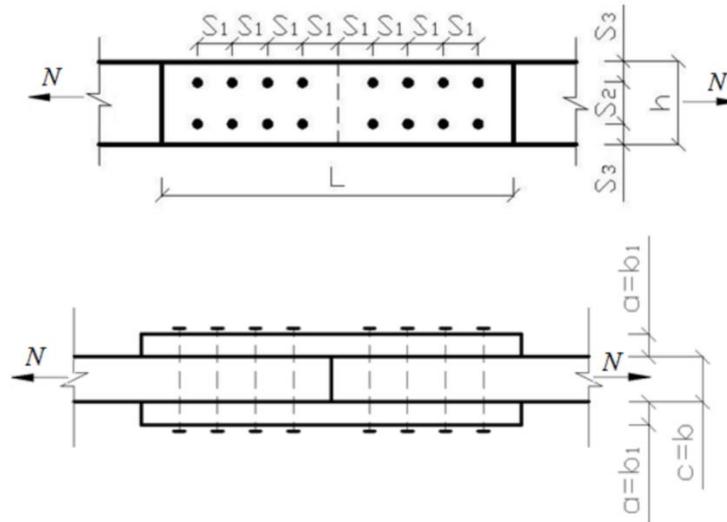


Рис. 6.2. Нагельное соединение двух брусьев накладками

## 2. Назначение диаметра болтов

Определяем максимально допустимый диаметр болтов по нормам расстановки. При расстановке болтов в два ряда на широкой пласти размером  $h$  должно разместиться два ряда болтов. По нормам расстановки расстояния между ними не менее  $S_2$ , а расстояния между кромкой и осью ближайшего болта –  $S_3$ . Следовательно, (см. рис. 6.1 и 6.2),  $h=S_3+S_2+S_3$ . Для стальных цилиндрических нагелей  $S_2= 3,5d$ ,  $S_3= 3d$ . Следовательно,  $h=S_3+S_2+S_3= 3d+3,5d+3d=9,5d$ . Отсюда максимальный диаметр болта не должен быть больше:  $d=h/9,5=200/9,5=21$  мм.

Ближайший меньший диаметр болта – 20 мм. Принимаем болт диаметром 20 мм ( $d=2$  см, т.к. в [1, табл. 18] подставляемые величины толщин и диаметров должны быть выражены в см).

## 3. Определение несущей способности соединения

Соединение классифицируется как симметричное, с двумя швами сплачивания ( $n_{ш}=2$ ), усилие действует вдоль волокон ( $k_q=1$ ). Толщина среднего элемента  $c=b=15,0$  см (в [1, табл. 18] обозначение толщины среднего слоя принято за «с»), следовательно,  $c=15$  см. Толщина крайнего элемента (накладка)  $a=b_1=8,0$  см (в [1, табл. 18] обозначение толщины крайнего слоя принято за «а»), следовательно,  $a=8$  см.

Базовая несущая способность одного шва болта равна (таблица 18 [1]):

– по изгибу болта  $[T_{из}] = 2,2 \cdot d^2 + 0,025 \cdot a^2 = 2,8 \cdot 2^2 + 0,025 \cdot 8^2 = 10,4$  кН, но не более  $3,1 \cdot d^2 = 3,1 \cdot 2^2 = 12,4$  кН,

– по смятию крайнего элемента  $[T_{см}^{кр}] = 1,2 \cdot a \cdot d = 1,2 \cdot 8 \cdot 2 = 19,2$  кН,

– по смятию среднего элемента  $[T_{см}^{ср}] = 0,75 \cdot c \cdot d = 0,75 \cdot 15 \cdot 2 = 22,5$  кН.

Несущая способность одного шва болта равна с учетом породы древесины (береза) и температурно-влажностных условий (эксплуатация на открытом воздухе в нормальной зоне, до 50 лет [1, п. 8.16]):

– по изгибу болта:

$$T_{и}=[T_{и}] \cdot \sqrt{m_{сс} \cdot m_{в} \cdot m_{п}} = 10,4 \cdot \sqrt{1,1 \cdot 0,9 \cdot 1} = 10,35 \text{ кН},$$

– по смятию крайнего элемента:

$$T_{ср см}^{кр}=[T_{ср см}^{кр}] \cdot m_{сс} \cdot m_{в} \cdot m_{п}=12,8 \cdot 1,1 \cdot 0,75 \cdot 1 = 10,56 \text{ кН};$$

– по смятию среднего элемента:

$$T_{ср см}^{кр}=[T_{ср см}^{кр}] \cdot m_{сс} \cdot m_{в} \cdot m_{п}= 15 \cdot 1,1 \cdot 0,9 \cdot 1 = 22,275 \text{ кН}.$$

Расчетная несущая способность – наименьшее значение из приведенных трех:

$$T= T_{\min} = 10,35 \text{ кН}.$$

4. Определение количества болтов и конструирование узла соединения

Требуемое количество болтов в половине стыка:

$$n= N/(T_{\min} \cdot n_{ш}) =160/(9,45 \cdot 2) = 8,46 \text{ шт.}$$

Принимаем 8 болтов на половине стыка диаметром 20 мм. Длина половины накладки определяется по нормам расстановки нагелей. Расстояние между нагелями вдоль волокон –  $S_1$ . Таких участков на половине накладки будет:  $8/2 + 1$  (т.к. болты размещаются в два ряда). Следовательно, длина половины накладки равна:  $(8/2+1) \cdot S_1=5 \cdot 7 \cdot d=5 \cdot 7 \cdot 20=700$  мм (здесь учтено, что  $S_1=7 \cdot d$ ). Всего в стыке будет 16 болтов, расположенных в два ряда, и длина всей накладки:  $L=2 \cdot 700 = 1400$  мм.

5. Вывод: Принимаем диаметр болтов 16 мм, количество болтов на половине стыка 8 шт., длина накладки  $L=1400$  мм.

### 6.1.2. Задача № 10 для самостоятельного решения

Подобрать сечение болтов и определить необходимое их количество в стыке двух брусьев сечением  $b \times h$  с двухсторонними накладками сечением  $b_1 \times h$ , в котором действует продольное растягивающее усилие  $N_p$ . В соответствии с нормами расстановки определить длину накладки  $L$  (рис. 6.2).

Исходные данные для самостоятельного решения задачи № 10 указаны в табл. 6.3.

Таблица 6.3

№ вар.	N <sub>p</sub> , кН	Сечение, см			Материал		Условия эксплуатации		
		b	h	b <sub>1</sub>	порода	сорт			
1	160	20	22,5	10	Листвен- ница	1	Режим загрузки «В» срок службы – 50 лет	На открытом воздухе	В сухой зоне
2	150	17,5	22,5	10	Листвен- ница	2			В нормаль- ной зоне
3	140	15	22,5	7,5	Листвен- ница	3			В нормаль- ной зоне
4	130	15	22,5	7,5	Листвен- ница	1			Во влажный зоне
5	120	12,5	22,5	5	Листвен- ница	2			Во влажный зоне
6	150	15	22,5	7,5	береза	1			В сухой зоне
7	140	15	17,5	7,5	береза	2			В сухой зоне
8	130	15	15	7,5	береза	3			В сухой зоне
9	120	15	15	7,5	береза	1			В нормаль- ной зоне
10	110	15	12,5	7,5	береза	2			В нормаль- ной зоне
11	100	12,5	17,5	5	дуб	3		Во влажной зоне	
12	90	12,5	15	5	дуб	2		Во влажной зоне	
13	80	12,5	15	5	дуб	3		Во влажной зоне	
14	150	15	17,5	5	дуб	1		Во влажной зоне	
15	160	17,5	22,5	10	дуб	2		Во влажной зоне	
16	110	20	20	10	сосна	1		Внутри неотапливаемых помещений	В сухой зоне
17	100	18	20	10	сосна	2			В сухой зоне
18	90	16	20	8	сосна	3			В нормаль- ной зоне
19	80	14	20	8	сосна	1			В нормаль- ной зоне
20	70	12	20	8	сосна	2			В нормаль- ной зоне

№ вар.	$N_p$ , кН	Сечение, см			Материал		Условия эксплуатации	
		$b$	$h$	$b_1$	порода	сорт		
21	200	22	20	12	ель	1	Режим загрузки «В» срок службы – 50 лет Внутри отапливаемых помещений при температуре 35°C, относительной влажности воздуха	До 65%
22	190	22	18	12	ель	2		До 65%
23	180	16	20	8	ель	2		До 65%
24	170	16	16	8	ель	1		Свыше 65, до 75%
25	160	16	18	8	ель	3		Свыше 65, до 75%
26	160	22	20	12	пихта	1		До 65%
27	150	22	18	12	пихта	2		До 65%
28	140	16	20	8	пихта	2		До 65%
29	130	16	16	8	пихта	1		Свыше 65, до 75%
30	120	16	18	8	пихта	3		Свыше 65, до 75%

## 6.2. Гвоздевое соединение

### 6.2.1. Пример задачи № 11

Подобрать размер и число гвоздей в узле крепления вертикальной стойки сечением  $b \times h = 5,0 \times 15,0$  см к двум горизонтальным элементам того же сечения (рис. 6.3). В соединении к стойке приложено продольное растягивающее усилие  $N = 8$  кН. Материал – осина. Условия эксплуатации – на открытом воздухе, в нормальной зоне, сроком службы – 50 лет

Решение:

1. Определение всех необходимых коэффициентов.

Учет температурно-влажностных условий эксплуатации конструкции производится по классу условий эксплуатации, который устанавливается по эксплуатации или относительной влажности по [1, табл. 1] или по дополнительным характеристикам эксплуатации [1, табл. А2 прил. А]. В нашем примере не задана влажность, поэтому воспользуемся дополнительными данными [1, прил. А2]. Видим, что наиболее близок к заданным условиям (п. 4а – влажные атмосферные условия) – 4-й класс;  $m_B = 0,9$ .

Учет породы древесины – по [1, табл. 5] для осины и для напряженного состояния смятие вдоль волокон – определяем коэффициент  $m_{\text{п}}=0,8$ , смятие поперек волокон  $m_{\text{п}}=1,0$ .

## 2. Определение размеров гвоздей в соединении

Определяем максимально допустимый диаметр гвоздей по нормам расстановки. Расстановка гвоздей предполагается следующая (рис. 6.4). Расстояние между крайними гвоздями должно соответствовать большему из двух значений  $S_1$  и  $S_2$ . Расстояние от крайних гвоздей до кромки доски должно быть не менее  $S_3$ . Следовательно,  $h=S_3+S_1+S_3=4d+15d+4d=30,5d$ . Отсюда максимальный диаметр гвоздя не должен быть больше  $d=h/30,5=15/30,5=4,9$  мм.  $S_1$  [1, п. 8.25], увеличим на 50%,  $S_3$  [1, п. 8.29].

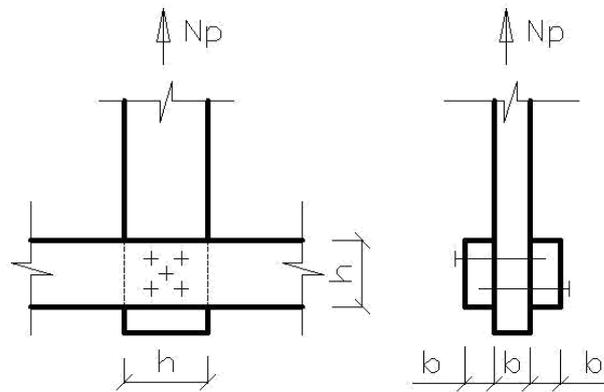


Рис. 6.3. Гвоздевое соединение вертикальной стойки и двух горизонтальных досок

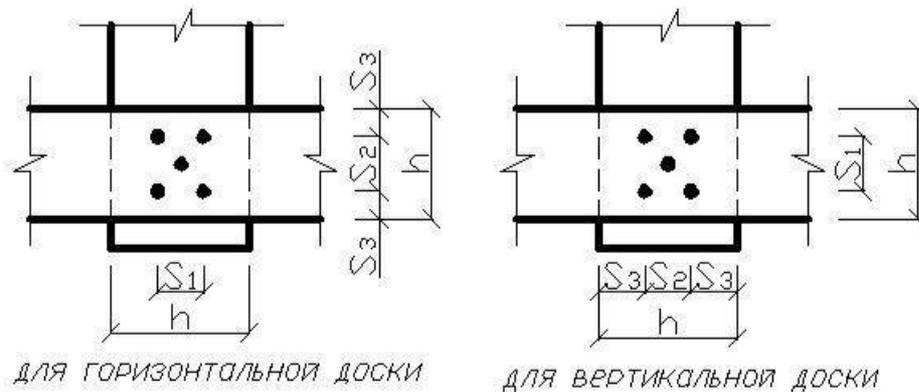


Рис. 6.4. К определению диаметров гвоздей по нормам расстановки

Ближайший меньший диаметр гвоздя – 5 мм. Принимаем гвоздь диаметром 5 мм, длиной 200 мм ( $d=0,5$  см, т.к. в [1, табл. 18] подставляемые величины толщин и диаметров должны быть выражены в см).

## 3. Определение несущей способности соединения

Соединение классифицируется как симметричное, с двумя швами сплачивания ( $n_{\text{ш}}=2$ ). Толщина среднего элемента  $c=b=50$  мм (в [1, табл. 17] обозначение толщины среднего слоя принято за «с»), следовательно,  $c=5$  см.

Толщина крайнего элемента определяется по расчетной длине заземления конца гвоздя (в [1, табл. 18] обозначение толщины крайнего слоя принято за «а»). Общая толщина пробиваемого пакета равна 154 мм (рис. 6.5). Длина принятого гвоздя 200 мм. Следовательно, гвоздь пробивает пакет насквозь. Расчетная длина заземления конца гвоздя равна толщине доски (b) минус длина заостренной части гвоздя (1,5d).

$$a = b - 1,5d = 50 - 7,5 = 42,5 \text{ мм.}$$

Это больше минимальной расчетной длины заземления конца гвоздя ( $4d = 4 \cdot 5 = 20$  мм), следовательно, этот крайний элемент будет участвовать в работе соединения.

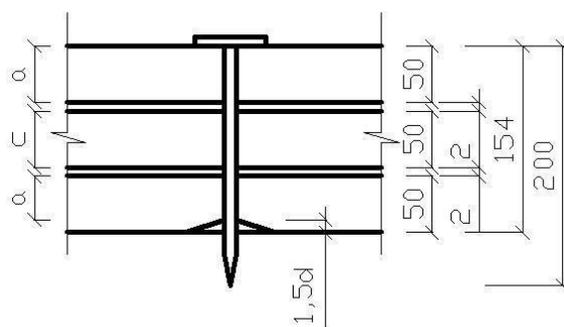


Рис. 6.5. К определению расчетной длины заземления конца гвоздя

Базовая несущая способность одного шва гвоздя равна [1, табл. 17]:

– по изгибу гвоздя:

$$[T_{и}] = 3,1 \cdot d^2 + 0,012 \cdot a^2 = 3,1 \cdot 0,5^2 + 0,012 \cdot 4,25^2 = 0,99 \text{ кН,}$$

но не более  $5 \cdot d^2 = 5 \cdot 0,5^2 = 1,25$  кН.

– по смятию крайнего элемента:

$$[T_{см}^{кр}] = 1,2 \cdot a \cdot d = 1,2 \cdot 4,25 \cdot 0,5 = 2,55 \text{ кН;}$$

– по смятию среднего элемента:

$$[T_{см}^{ср}] = 0,75 \cdot c \cdot d = 0,5 \cdot 5 \cdot 0,5 = 1,875 \text{ кН.}$$

Несущая способность одного шва гвоздя равна, с учетом породы древесины (осина) и температурно-влажностных условий (эксплуатация на открытом воздухе в нормальной зоне):

– по изгибу гвоздя:

$$T_{и} = [T_{и}] \cdot \sqrt{m_{п} \cdot m_{в} \cdot m_{сс}} = 0,99 \cdot \sqrt{0,8 \cdot 0,9 \cdot 1} = 0,84;$$

– по смятию крайнего элемента:

$$T_{см}^{кр} = [T_{см}^{кр}] \cdot m_{п} \cdot m_{в} \cdot m_{сс} = 2,55 \cdot 0,8 \cdot 0,9 = 1,836 \text{ кН,}$$

здесь учтено, что крайний элемент сминается поперек волокон, т.е.  $m_{п} = 1,0$ ;

– по смятию среднего элемента:

$$T_{см}^{ср} = [T_{см}^{ср}] \cdot m_{п} \cdot m_{в} \cdot m_{сс} = 1,875 \cdot 0,8 \cdot 0,9 = 1,35 \text{ кН,}$$

здесь учтено, что средний элемент сминается вдоль волокон, т.е.  $m_{п} = 0,8$ .

Расчетная несущая способность – наименьшее значение из приведенных трех:

$$T = T_{\min} = 0,84 \text{ кН.}$$

4. Определение количества гвоздей в узле соединения

Требуемое количество гвоздей в стыке:

$$n = N / (T_{\min} \cdot n_{\text{шт}}) = 8,00 / (0,84 \cdot 2) = 4,46 \text{ шт.}$$

Принимаем 5 гвоздей в стыке размерами 200×5 мм.

5. Вывод: Принимаем гвозди 200×5 в количестве 5 шт, размещение гвоздей показано на рис. 6.4.

### 6.2.2. Задача №11 для самостоятельного решения

Подобрать размер и число гвоздей, требуемых для крепления вертикальной доски сечением  $b \times h$  (см), в которой действует продольная растягивающая сила  $N_p$ , к двум горизонтальным доскам такого же сечения (рис. 6.3).

Исходные данные для самостоятельного решения задачи № 11 указаны в табл. 6.4.

Таблица 6.4

№ вар.	$N_p$ , кН	Сечение, см		Материал		Условия эксплуатации		
		$b$	$h$	порода	сор т			
1	8	5	15	лиственница	1	Режим нагружения «В» срок службы – 50 лет	На открытом воздухе	в сухой зоне
2	9	6	15	лиственница	2			в нормальной зоне
3	10	7,5	15	лиственница	3			в нормальной зоне
4	6	7,5	15	лиственница	1			во влажный зоне
5	5	4	15	лиственница	2			во влажный зоне
6	9	4	15	береза	1			в сухой зоне
7	10	5	15	береза	2			в сухой зоне
8	11	5	17,5	береза	3			в сухой зоне
9	12	4	17,5	береза	1			в нормальной зоне

Окончание табл. 6.4

№ вар.	№, кН	Сечение, см		Материал		Условия эксплуатации		
		<i>b</i>	<i>h</i>	порода	сорт			
10	13	3,2	17,5	береза	2	Режим нагружения «В» срок службы – 50 лет	Внутри неотапливаемых помещений	в нормальной зоне
11	14	3,2	20	дуб	3			во влажный зоне
12	12	4	20	дуб	2			во влажный зоне
13	10	5	20	дуб	3			во влажный зоне
14	8	4	15	дуб	1			во влажный зоне
15	9	4	15	дуб	2			во влажный зоне
16	7	5	15	сосна	1			в сухой зоне
17	8	6	15	сосна	2			в сухой зоне
18	9	7,5	15	сосна	3			в нормальной зоне
19	10	7,5	15	сосна	1			в нормальной зоне
20	11	4	15	сосна	2		в нормальной зоне	
21	12	4	12,5	ель	1		Внутри отапливаемых помещений при температуре 35°С, относительной влажности воздуха	до 60%
22	5	5	12,5	ель	2			до 60%
23	6	3,2	12,5	ель	2			до 60%
24	7	2,5	15	ель	1			Свыше 60 до 75%
25	8	3,2	15	ель	3			Свыше 60 до 75%
26	12	4	12,5	пихта	1			до 60%
27	5	5	12,5	пихта	2			до 60%
28	6	3,2	12,5	пихта	2			до 60%
29	7	2,2	15	пихта	1			Свыше 60 до 75%
30	8	3,2	15	пихта	3	Свыше 60 до 75%		

## 7. Расчет составных стоек

### 7.1. Расчет составной стойки

В связи с ограниченностью сортамента пиломатериалов возникает ситуация, когда требуемое сечение стойки превышает максимальные размеры цельных брусьев, выпускаемых промышленностью. В этом случае сечение стойки составляется из нескольких параллельно расположенных ветвей, соединенных между собой по длине различными связями (цилиндрические нагели, болты, гвозди, пластинчатые нагели, шпонки, колодки, когтевые шайбы).

Особенностью расчета составных стоек является учет влияния податливостей связей. Податливость связей повышает деформативность составного стержня, увеличивается его гибкость, это приводит к снижению несущей способности составного сечения по сравнению с цельным сечением.

По конструктивным и расчетным особенностям составные стержни разделяются на три основных типа (рис. 7.1):

- стержни-пакеты, состоящие из ветвей равной длины, одинаково нагруженных сжимающей силой (рис. 7.1а);
- стержни с короткими прокладками (рис. 7.1б);
- стержни со сплошными прокладками или накладками, в которых прокладки или боковые накладки не доходят до опорных концов стержня. Сжимающее усилие передается только на основные ветви (рис. 7.1в, г).

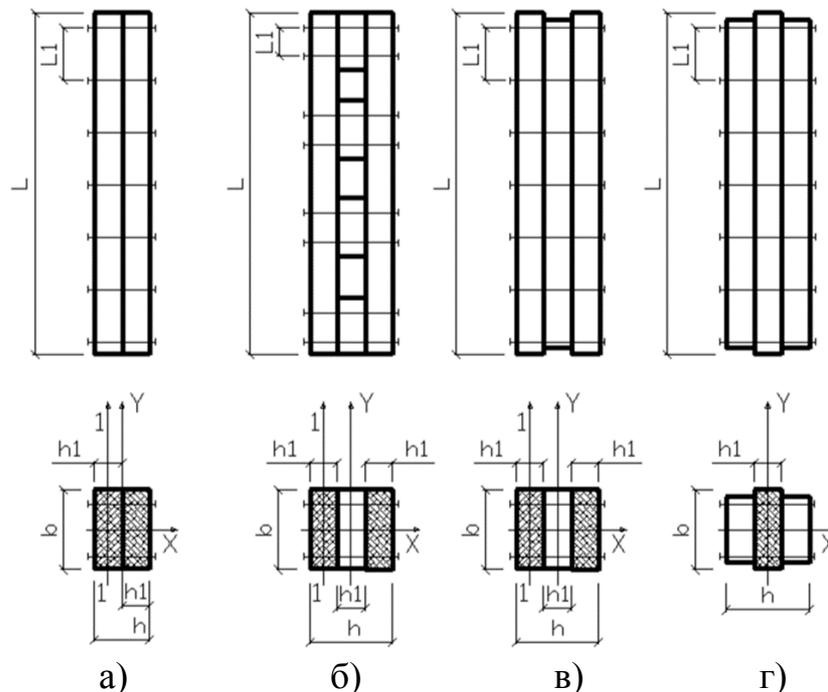


Рис. 7.1. Виды составных стоек:

- а) стержни-пакеты, б) стержни с короткими прокладками, в) стержни со сплошными прокладками, г) стержни со сплошными накладками

Проверка несущей способности составного сечения аналогична проверке несущей способности целого сечения:

$$\sigma = \frac{N}{\varphi F_{\text{расч}}} \leq R_c.$$

Различие имеется в определении гибкости:

для оси, перпендикулярной плоскости сдвига (сплачивания) «х», гибкость определяется, как для элемента целого сечения  $\lambda_x = l_0/r_x$ ;

для оси, параллельной плоскости сдвига «у», определяется приведенная гибкость, учитывающая податливость соединений по формуле 17 [1],:

$$\lambda_{\text{пр}} = \sqrt{(\mu_y \cdot \lambda_y)^2 \cdot \lambda_1^2},$$

где  $\lambda_y$  – гибкость цельного сечения стержня с расчетной длиной  $l_0$  без учета податливости соединений относительно оси «у»;

$\lambda_1$  – гибкость отдельной ветви относительно ее центральной оси 1–1 (рис.7.1а) с расчетной длиной ветви  $L_1$  (при  $L_1 < 7$  толщин ветви  $h_1$  принимают:  $\lambda_1=0$ );

$$\mu_y = \sqrt{1 + k_c \frac{b \cdot h \cdot n_{\text{ш}}}{l_0^2 \cdot n_c}} \text{ – коэффициент приведения гибкости.}$$

Здесь  $k_c$  – коэффициент податливости соединений (таблица 14 [1]);

$b$  и  $h$  – полная ширина и высота сечения (см);

$n_{\text{ш}}$  – число швов сдвига между ветвями составного стержня;

$l_0$  – расчетная длина элемента (м);

$n_c$  – расчетное количество связей (болтов) на 1 погонный метр элемента.

По вычисленным гибкостям определяют коэффициенты продольного изгиба  $\varphi_y$  и  $\varphi_x$  обычным образом:

- при гибкости элемента  $\lambda \leq 70$   $\varphi = 1 - 0,8(\lambda/100)^2$ ;

- при гибкости элемента  $\lambda > 70$   $\varphi = 3000/(\lambda)^2$ ,

и затем находят минимальный  $\varphi_{\text{min}}$  из двух  $\varphi_x$  и  $\varphi_y$ .

Таблица 7.1

Особенности определения геометрических характеристик разных типов составных стоек

Стержни-пакеты	Стержни с короткими прокладками, со сплошными прокладками или накладками
$J_y = J_y$ (считая сечение, как целое)	$J_y = J_0 + J_{\text{н.0}} J_x = J_0 + 0,5 J_{\text{н.0}}$
$J_x = J_x$ (считая сечение, как целое)	$J_0$ – момент инерции опертых ветвей, $J_{\text{н.0}}$ – момент инерции не опертых ветвей
$r_y = \sqrt{\frac{J_y}{F}} r_x = \sqrt{\frac{J_x}{F}}$	$r_y = \sqrt{\frac{J_y}{F_0}} r_x = \sqrt{\frac{J_x}{F_0}}$
	$F_0$ – расчетная площадь сечения только опертых ветвей

### 7.1.1. Пример задачи № 12

Вычислить несущую способность сжатой стойки составного сечения, выполненной из двух брусьев сечением  $b \times h_1 = 13 \times 10$  см, соединенных болтами  $d = 12$  мм, расположенными в два ряда, с шагом  $L_1 = 50$  см. Стойка имеет длину  $L = 2,8$  м, с шарнирным опиранием по обоим концам (рис. 7.2). Материал – пихта 2-го сорта. Условия эксплуатации – на открытом воздухе, с эксплуатационной влажностью до 20%, в режиме нагружения «Б»; срок службы – 50 лет.

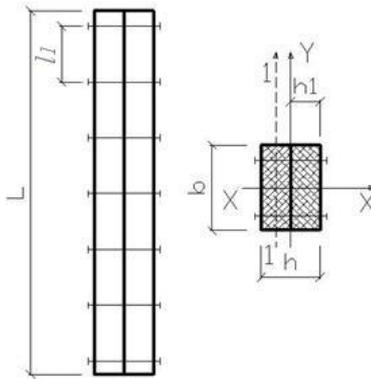


Рис.7.2. Составная стойка

Решение:

1. Определение всех необходимых коэффициентов и расчетных сопротивлений.

Учет температурно-влажностных условий эксплуатации конструкции производится по классу условий эксплуатации, который устанавливается по эксплуатации или относительной влажности по [1, табл. 1] или по дополнительным характеристикам эксплуатации [1, табл. А2 прил. А]). В нашем примере не задана влажность, поэтому воспользуемся дополнительными данными [1, прил. А2]. Видим, что наиболее близок к заданным условиям (п. 4а – влажные атмосферные условия) – 4-й класс;  $m_B = 0,75$ .

Учет породы древесины – по [1, табл. 5] для пихты и для напряженного состояния «сжатие» определяем коэффициент:  $m_{II} = 0,8$ .

По [1, п. 1а табл. 3] определяем базовое расчетное сопротивление сжатию сосны, ели, лиственницы 2-го сорта  $R_C^A = 19,5$  МПа в режиме нагружения «Б», срок службы – 50 лет.

Окончательно устанавливаем расчетное сопротивление, соответствующее заданной породе (пихта), сорту (2-й) и условиям эксплуатации (на открытом воздухе во влажной зоне), используя найденные коэффициенты.

$$R_C = R_C^A \cdot m_{дл} \cdot m_n \cdot m_B \cdot m_{с.с} = 19,5 \cdot 0,53 \cdot 0,8 \cdot 0,85 \cdot 1 = 7,027 \text{ МПа.}$$

2. Вычисление геометрических характеристик для заданного сечения элемента

Определяем геометрические характеристики как для целого сечения:

$$J_y = (b \cdot h^3) / 12 = (13 \cdot 20^3) / 12 = 8666,67 \text{ см}^4,$$

$$J_x = (h \cdot b^3)/12 = (20 \cdot 13^3)/12 = 3661,67 \text{ см}^4,$$

$$F_{\text{расч}} = F_{\text{бр}} = hb = 20 \cdot 13 = 260 \text{ см}^2 = 0,0260 \text{ м}^2,$$

$$r_y = \sqrt{\frac{J_y}{F}} = \sqrt{\frac{8666,67}{260}} = 5,77 \text{ см}, r_x = \sqrt{\frac{3661,67}{260}} = 3,75 \text{ см},$$

$$\lambda_x = l_0/r_y = 280/5,77 = 48,53, \lambda_y = l_0/r_x = 280/3,75 = 74,67.$$

Учитываем податливость соединения:

$l_1 = 50$  см, это меньше  $7 \cdot h_1 = 7 \cdot 10 = 70$  см, следовательно,  $\lambda_1 = 0$ . При  $l_1 > 7h_1$  находим гибкость отдельной ветви:  $\lambda_1 = l_1/r_1$ ;  $r_1 = 0,289h_1$ .

По таблице 14 [1] определяем:

$$k_c = 1/(5 \cdot d^2) = 1/(5 \cdot 1,2^2) = 0,139,$$

учитывая, что  $d = 1,2$  см  $< 1,43 = (1/7) \cdot h_1$ .

$n_{\text{ш}} = 1$ , один швов, одна плоскость сдвига между ветвями составного стержня;

$n_c = 4$ , на одном погонном метре шва размещаются 4 болта (2 ряда болтов с шагом 50 см по длине стойки);

$l_0 = l\mu = 2,8 \cdot 1 = 2,8$  м. При шарнирном закреплении обоих концов стойки  $\mu = 1$ .

$$\mu_y = \sqrt{1 + k_c \frac{b \cdot h \cdot n_{\text{ш}}}{l_0^2 \cdot n_c}} = \sqrt{1 + 0,139 \frac{13 \cdot 20 \cdot 1}{2,8^2 \cdot 4}} = \sqrt{2,1524} = 1,467.$$

Формула эмпирическая, поэтому в ней  $b$  и  $h$  подставляются в см, а  $l_0$  – в метрах.

Приведенная гибкость  $\lambda_{\text{пр}} = \mu_y \cdot \lambda_{\text{ц}} = 1,467 \cdot 74,67 = 109,55 > 70$

$$\varphi_y = 3000/(\lambda_y)^2 = 3000/109,55^2 = 0,25;$$

$$\varphi_x = 1 - 0,8(\lambda_x/100)^2 = 0,812;$$

$$\varphi_{\text{min}} = 0,25.$$

3. Вычисление несущей способности составной стойки

Несущая способность составной стойки определяется по выражению:

$$N = \varphi_{\text{min}} * F_{\text{расч}} * R_c = 0,25 \cdot 260 \cdot 0,7 = 45,5 \text{ кН}$$

4. Вывод: Несущая способность составной стойки равна 45,5 кН.

### 7.1.2. Задача № 12 для самостоятельного решения

Определить несущую способность шарнирно-закрепленной деревянной стойки составного сечения длиной  $L$ . Сечение стойки – два бруса толщиной  $h_1$  и шириной  $b$ . Брусья соединены болтами диаметром  $d$ , расположенные с шагом  $L_1$  в два ряда (рис. 7.2).

Исходные данные для самостоятельного решения задачи № 12 указаны в табл. 7.2.

Таблица 7.2

№ вар.	L, м	Сечение, см		Болты		Материал		Условия эксплуатации		
		b	h <sub>1</sub>	L <sub>1</sub> шаг, см	d диаметр, см	порода	сорт			
1	5	10	5	50	1,2	сосна	3	Режим нагружения «В», срок службы - 50 лет	На открытом воздухе	в сухой зоне
2	4,5	12,5	6	50	1,4	сосна	2			в сухой зоне
3	4	15	7,5	50	1,6	сосна	1			в нормальной зоне
4	3,5	17,5	10	50	2	сосна	3			в нормальной зоне
5	3	20	12,5	50	1,2	сосна	2			во влажной зоне
6	5	22,5	5	50	1,4	ель	1			во влажной зоне
7	4,5	10	6	50	1,6	ель	3			соприкасающихся с грунтом
8	4	12,5	7,5	50	2	ель	2			соприкасающихся с грунтом
9	3,5	15	10	50	1,2	ель	1			Постоянно увлажняемых
10	3	17,5	12,5	50	1,4	ель	3			находящихся в воде
11	5	20	5	50	1,6	осина	2		Внутри неотапливаемых помещений	в сухой зоне
12	4,5	22,5	6	50	2	осина	1			в сухой зоне
13	4	10	7,5	50	1,2	осина	3			в сухой зоне
14	3,5	12,5	10	50	1,4	осина	2			в сухой зоне
15	3	15	12,5	50	1,6	осина	1			во влажной зоне
16	3	17,5	5	50	2	береза	3			во влажной зоне
17	3,5	20	6	50	1,2	береза	2			во влажной зоне
18	4	22,5	7,5	50	1,4	береза	1			во влажной зоне
19	4,5	10	10	50	1,6	береза	3			в нормальной зоне
20	5	12,5	12,5	50	2	береза	2			в нормальной зоне

№ вар.	L, м	Сечение, см		Болты		Материал		Условия эксплуатации		
		b	h <sub>1</sub>	L <sub>1</sub> шаг, см	d диаметр , см	порода	сорт			
21	3	15	5	50	1,2	ПИХТ а	1	Режим нагружения «В», срок службы - 50 лет	Внутри неотапливаемых помещений	в сухой зоне
22	3,5	17, 5	6	50	1,4	ПИХТ а	3			в сухой зоне
23	4	20	7,5	50	1,6	ПИХТ а	2			в сухой зоне
24	4,5	22, 5	10	50	2	ПИХТ а	1			в сухой зоне
25	5	10	12, 5	50	1,2	ПИХТ а	3			во влажной зоне
26	3	12, 5	5	50	1,4	дуб	2			во влажной зоне
27	3,5	15	6	50	1,6	дуб	1			во влажной зоне
28	4	17, 5	7,5	50	2	дуб	3			во влажной зоне
29	4,5	20	10	50	1,2	дуб	2			в нормальной зоне
30	5	22, 5	12, 5	50	1,4	дуб	1			в нормальной зоне

## 7.2. Расчет составных балок

Ограниченность сортамента пиломатериалов приводит к необходимости выполнять сечение балки из нескольких брусьев, соединенных между собой. Балки, составленные из 2–3 брусьев и соединенные пластинчатыми деревянными нагелями, называют балками Деревягина (рис. 7.3). Пролет таких балок не превышает 6,5 м, так как соединение по длине не допускается. Промышленность выпускает дубовые и березовые пластинчатые нагели одного типоразмера: толщина пластины  $\delta_{пл}$  – 12 мм, длина пластины  $l_{пл}$  – 58 мм. Ширина пластины  $b_{пл}$  определяется шириной сечения балки. При ширине балки  $b \leq 150$  мм,  $b_{пл} = b$ , и при  $b > 150$  мм,  $b_{пл} = 0,5b + 0,3l_{пл}$ .

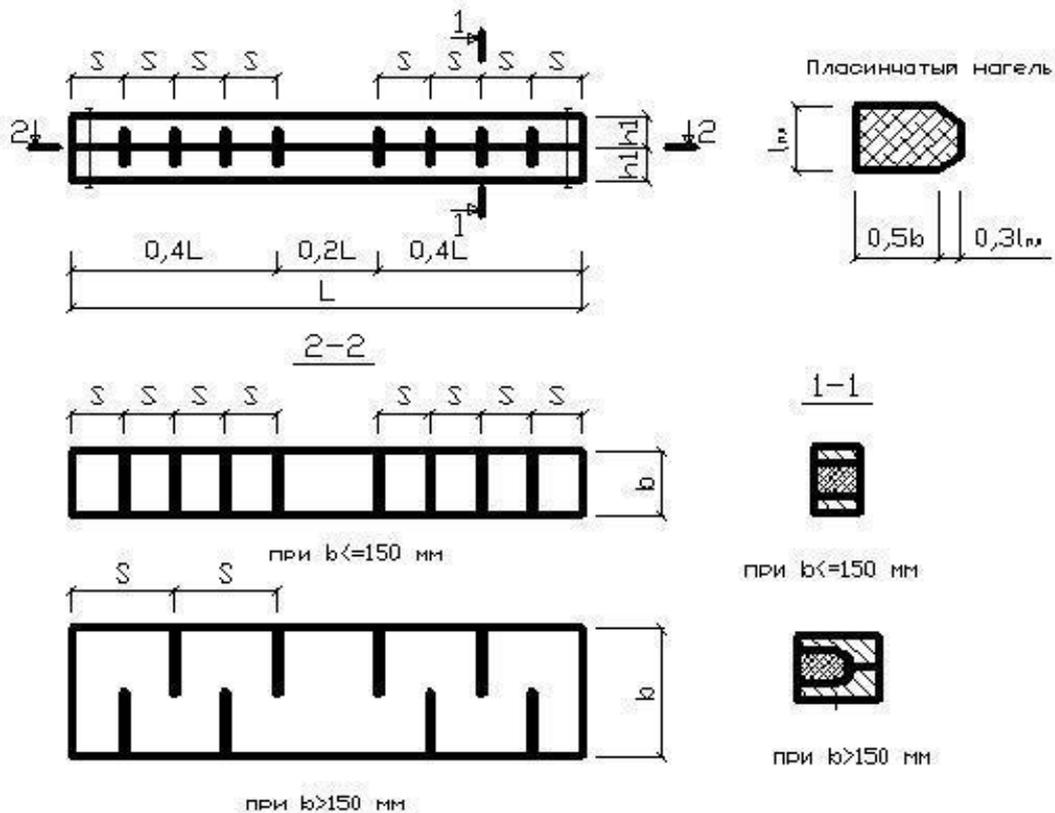


Рис. 7.3. Составная балка (балка Деревягина)

Количество нагелей в каждом шве определяется соотношением:

$$n_{пл} = 1,5 \frac{M_{max} \cdot S_{бр}}{J_{бр} \cdot T_{пл}}$$

здесь  $M_{max}$  – максимальный изгибающий момент в балке;

$S_{бр}$  – статический момент брутто сдвигаемой части сечения относительно нейтральной оси;

$J_{бр}$  – момент инерции брутто всего сечения;

$T_{пл}$  – расчетная несущая способность одного пластинчатого нагеля, определяемая по формуле:

$$T_{пл} = 1,15 \cdot b_{пл} \cdot \Pi_{mi} \cdot m_{дл}$$

Для составной балки из двух брусьев количество нагелей может быть подсчитано по упрощенной формуле:

$$n_{пл} = 1,8 \frac{M_{max}}{h \cdot T_{пл}}$$

Расчетное количество пластинчатых нагелей размещают на балке, как показано на рисунке (см. рис. 7.3). Шаг пластинчатых нагелей  $S$  не должен быть меньше  $9 \cdot \delta_{пл}$ .

В средней части пролета балки нагели не устанавливают. Если подсчитанное количество нагелей не размещается по длине балки, изменяют размер сечения балки или изменяют конструкцию балки.

Проверка второго предельного состояния сводится к определению относительного прогиба с учетом податливости соединения входящих в сечение элементов  $f/l \leq [f/l]$ :

$$f/l = \frac{(5 \cdot q_H \cdot l^3)}{(384 \cdot E \cdot J \cdot k_{ж})},$$

где  $[f/l]$  – допустимый относительный прогиб блока [2, табл. 16].

### 7.2.1. Пример задачи № 13

Рассчитать составную балку из двух брусьев длиной  $L=5$  м под равномерно распределенную расчетную погонную нагрузку  $q=3$  кН/м, нормативная погонная нагрузка  $q^H=2,4$  кН/м. Ширина бруса  $b=15$  см. Материал – сосна 2-го сорта. Условия эксплуатации – внутри неотапливаемого помещения в нормальной зоне, в режиме нагружения «Б», срок службы – 50 лет.

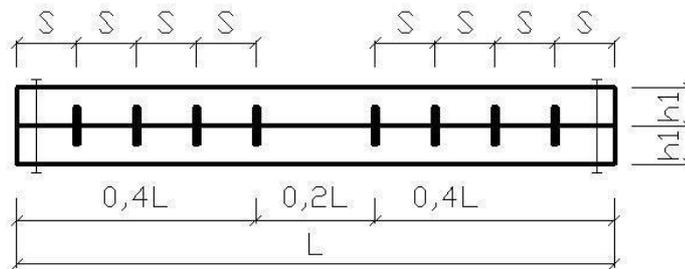


Рис. 7.4. Составная балка

Решение:

1. Определение всех необходимых коэффициентов и расчетных сопротивлений

Учет температурно-влажностных условий эксплуатации конструкции производится по классу условий эксплуатации, который устанавливается по эксплуатации или относительной влажности по [1, табл. 1] или по дополнительным характеристикам эксплуатации [1, табл. А2 прил. А]. В нашем примере не задана влажность, поэтому воспользуемся дополнительными данными [1, прил. А2]. Видим, что наиболее близок к заданным условиям (п. 4а – влажные атмосферные условия) – 2-й класс;  $m_B=0,9$ .

Учет породы древесины – по [1, п. 1а табл. 3] определяем базовое расчетное сопротивление изгибу для стандартной породы древесины 2-го сорта  $R_u^A = 19,5$  МПа в режиме нагружения «Б», срок службы – 50 лет,

Окончательно устанавливаем расчетное сопротивление, соответствующее заданной породе (сосна), сорту (2-й) и условиям эксплуатации (внутри неотапливаемого помещения в нормальной зоне), используя найденные коэффициенты:

$$R_{и} = R_{и}^A \cdot m_{дл} \cdot m_{п} \cdot m_{в} \cdot m_{сс} = 19,5 \cdot 0,53 \cdot 1 \cdot 0,85 \cdot 1 \cdot 1 = 8,78 \text{ МПа.}$$

2. Вычисляем максимальный изгибающий момент:

$$M_{\max} = q \cdot l^2 / 8 = 3 \cdot 5^2 / 8 = 9,4 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

3. Вычисляем требуемые геометрические характеристики для сечения элемента:

$$W_{mp} = \frac{M_{\max}}{(R_{и} \cdot k_w)} = \frac{940}{0,878 \cdot 0,875} = 1220 \text{ см}^2,$$

в соответствии с п. 7.9 [1].

При заданной ширине бруса  $b=15$  см найдем требуемую высоту сечения балки:

$$h = \sqrt{\frac{6 \cdot W_{mp}}{b}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 1220}{15}} = 24,7 \text{ см}.$$

4. Назначение сечения балки

Принимаем балку, составленную из двух брусьев  $b \times h_1 = 15 \times 10$  см, общее сечение балки  $b \times h = 15 \times 25$  см.

Определяем момент инерции сечения как для целого.

$$J_x = (bh^3)/12 = (15 \cdot 25^3)/12 = 19531,25 \text{ см}^4,$$

Ширина пластинчатого нагеля  $b_{пл} = b$ , так как  $b=150$  мм.

5. Проверки принятого сечения и конструирование соединения

Несущая способность одного пластинчатого нагеля будет равна:

$$T_{пл} = 1,15 \cdot b_{пл} \cdot m_{дл} \cdot m_{п} \cdot m_{в} \cdot m_{сс} = 1,15 \cdot 15 \cdot 0,53 \cdot 0,85 \cdot 1 \cdot 1 = 7,77 \text{ кН}.$$

Количество необходимых нагелей определим из соотношения:

$$n_{пл} = 1,8 \frac{M_{max}}{h \cdot T_{пл}} = \frac{1,8 \cdot 937,5}{25 \cdot 7,77} = 8,7 \text{ шт}.$$

Принимаем количество пластинчатых нагелей  $n_{пл} = 10$  шт (четное число, большее необходимого числа нагелей).

Проверяем возможность размещения этого числа нагелей на балке.

На длине  $0,4L$  должно уместиться 5 нагеля с шагом не менее  $S = 110$  мм, т.е.

$$0,4L = 0,4 \cdot 500 = 200 \text{ см} > 4S = 4 \cdot 9 \cdot \delta_{пл} = 4 \cdot 9 \cdot 1,2 = 43,2 \text{ см}.$$

Таким образом, на опорном участке может разместиться требуемое число пластинчатых нагелей с шагом  $0,4L/5 = 0,4 \cdot 500/5 = 200/5 = 40$  см.

6. Проверка второго предельного состояния – жесткости балки  $(f/l) \leq [f/l]$ .

$$f/l = \frac{(5 \cdot q_n \cdot l^3)}{(384 \cdot E \cdot J \cdot k_{ж})} = \frac{(5 \cdot 2,4 \cdot 500^3)}{(384 \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot 19531,25 \cdot 0,7)} = 0,00286,$$

$$f/l = 0,00286 > \left[ \frac{f}{l} \right] = \frac{1}{200} = 0,005.$$

Жесткость балки обеспечена.

7. Выводы: Составная балка должна быть выполнена из двух брусьев сечением  $15 \times 12,5$  см каждый, соединенных 10 пластинчатыми нагелями

(дубовыми или березовыми) размерами шириной 150 мм, длиной 58 мм, толщиной 12 мм с шагом 40 см.

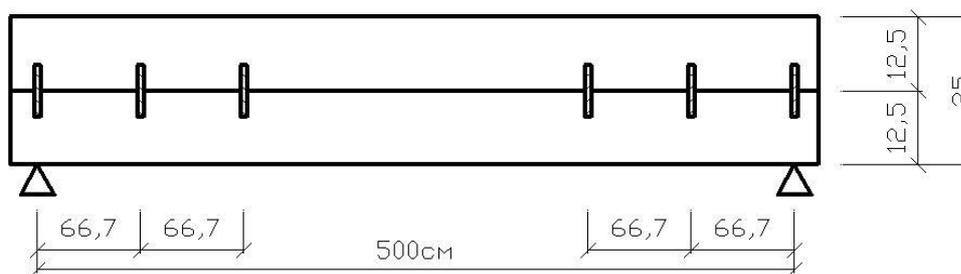


Рис.7.5. Размещение пластинчатых нагелей на балке

### 7.2.2. Задача №13 для самостоятельного решения

Подобрать сечение и определить необходимое количество пластинчатых нагелей для составной балки из двух брусьев. Пролет балки –  $L$ . Балка имеет нормативную равномерно распределенную погонную нагрузку  $q_n$ , расчетную погонную –  $q$ .

Исходные данные для самостоятельного решения задачи № 13 указаны в табл. 7.3.

Таблица 7.3

№ вар.	Нагрузка кН		Пролет м	Ширина см	Материал		Условия эксплуатации		
	$q_n$	$q$			$L$	$b$			
1	3	2,1	5	10	береза	1	Режим нагружения «В», срок службы - 50 лет	На открытом воздухе	в сухой зоне
2	2,1	1,5	5,2	12,5	береза	1			в сухой зоне
3	2,3	1,7	5,4	15	береза	2			в сухой зоне
4	3,8	3,2	5,6	17,5	береза	3			в сухой зоне
5	3,2	2,5	5,2	12,5	береза	2			в нормальной зоне
6	3,4	3	5,4	15	береза	3			в нормальной зоне
7	3	2,1	5,4	20	береза	1			в нормальной зоне
8	3	2,1	5,6	22,5	береза	2			в нормальной зоне
9	2,8	1,8	5,6	17,5	береза	1			во влажной зоне

№ вар.	Нагрузка, кН		Пролет, м	Ширина, см	Материал		Условия эксплуатации		
	$q_n$	$q$			$L$	$b$			
10	2,5	1,5	6,2	20	береза	2	Режим нагружения «В», срок службы - 50 лет	Внутри неотапливаемых помещений	во влажной зоне
11	3,9	3,5	6,2	25	дуб	3			во влажной зоне
12	3	2,1	5,4	10	дуб	2			во влажной зоне
13	2,8	2,1	6	12,5	дуб	3			во влажной зоне
14	2,2	1,7	5,4	15	дуб	1			во влажной зоне
15	2,9	2,2	5,2	17,5	дуб	2			во влажной зоне
16	2,1	1,7	6	22,5	пихта	1			в сухой зоне
17	2,5	2	6,2	25	пихта	2			в сухой зоне
18	5,1	4,8	5	10	пихта	3			в нормальной зоне
19	3,4	2,7	5,2	12,5	пихта	1			в нормальной зоне
20	3,7	3,1	5,4	15	пихта	2			в нормальной зоне
21	3,8	3,4	5,6	17,5	липа	1			до 60%
22	3,6	3	6,2	20	липа	2			до 60%
23	2,3	1,8	6	22,5	липа	2			до 60%
24	3,8	3,4	5,6	17,5	пихта	1			до 60%
25	3,6	3	6,2	20	пихта	2		до 60%	
26	2,3	1,8	6	22,5	пихта	2		до 60%	
27	2,5	1,9	6,2	25	липа	1		свыше 60, до 75%	
28	3,2	2,7	5,8	10	липа	3		свыше 60, до 75%	
29	2,5	1,9	6,2	25	пихта	1		свыше 60, до 75%	
30	3,1	2,8	6	15	пихта	2		свыше 60, до 75%	

## 8. Библиографический список

1. СП 64.13330.2017. Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП-25-80\*.– М.,100 с.
2. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП2.01.07-85\*.– М., 80 с.
3. ГОСТ 9463-2016 Лесоматериалы круглые хвойных пород. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2016 год.
4. ГОСТ 24454-80 Пиломатериалы хвойных пород. Размеры. – М.: Стандартинформ, 2007 год.
5. ГОСТ 4028-63 Гвозди строительные. Конструкция и размеры. – М.: Стандартинформ, 2009 год.
6. ГОСТ 1759.0-87 (СТ СЭВ 4203-83) Болты, винты, шпильки и гайки. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2006 год.