

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
ФГОУ ВПО КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АРХИТЕКТУРНО - СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра металлических конструкций и  
испытания сооружений

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к практическим занятиям по курсу  
«Конструкции из дерева и пластмасс»  
для студентов спец. 291500.

Казань  
2006 год.

Составители: М. А. Дымолазов, Г. Н. Шмелев

Методические указания к практическим занятиям по курсу «Конструкции из дерева и пластмасс» для студентов спец. 291500.

Составители: М. А. Дымолазов, Г. Н. Шмелев КГАСУ, 2006г. 48 с

Рецензент: Дтн, профессор Кузнецов И.Л.

Библиография: 11 наименований

© Казанский государственный архитектурно-строительный университет, 2006 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
Занятие № 1. Знакомство со СНиП II-25-80.....	4
Занятие № 2. Порядок расчета элементов конструкций. Расчет центрально-растянутого элемента.....	7
Занятие № 3. Расчет центрально-сжатого элемента.....	10
Занятие № 4. Расчет изгибаемых элементов.....	13
Занятие № 5. Расчет соединений элементов деревянных конструкций. Лобовые и конструктивные врубки.....	21
Занятие № 6. Расчет соединений элементов деревянных конструкций. Нагельные соединения (цилиндрические нагели)...	30
Занятие № 7. Расчет составных стоек.....	39
Занятие № 8. Расчет составных балок.....	43

Занятие №1  
Тема: Знакомство со СНиП II-25-80

1.1. Введение

При проектировании деревянных конструкций, как новых, так и в реконструируемых зданиях и сооружениях должны соблюдаться нормы СНиП II-25-80 «Деревянные конструкции. Нормы проектирования».

В этой главе Строительных Норм и Правил приводятся материалы, применяемые для изготовления конструкций из дерева, их расчетные характеристики и 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 и т.д.), основные указания по проектированию деревянных конструкций (балок, прогонов, настилов, ферм, арок, сводов, рам).

1.2. Порядок определения расчетного сопротивления древесины

Расчетное сопротивление, принимаемое в расчет, определяется согласно п. 3.1 СНиП II-25-80. Различным напряженным состояниям соответствуют различные расчетные сопротивления. Они могут значительно отличаться, иногда на порядок. Например, расчетное сопротивление изгибу сосны 2-го сорта имеет значение 13 МПа, а расчетное сопротивление скалыванию вдоль волокон при изгибе неклеёных элементов сосны 2-го сорта имеет значение 1,6 МПа. Для сосны, ели и лиственницы (европейской и японской) расчетные сопротивления всех напряженных состояний и сортов древесины приведены в таблице 3 СНиПа. Как правило, в деревянных конструкциях используются три сорта древесины 1, 2, 3.

Расчетные сопротивления других пород устанавливаются путем умножения величин, приведенных в таблице 3 расчетных сопротивлений, на коэффициент, учитывающий породу древесины  $m_p$ , принимаемый по таблице 4. Кроме этого коэффициента при определении расчетного сопротивления необходимо учитывать и другие коэффициенты в зависимости от тех или иных условий:

$m_e$  – коэффициент условий работы, учитывающий температурно-влажностные условия эксплуатации конструкции (таблица 5), предварительно определив группу по условиям эксплуатации (табл. 1);

$m_t$  – коэффициент, учитывающий повышенную температуру эксплуатации конструкции (п.3.2.б);

$m_d$  – коэффициент длительности воздействия нагрузок (п.3.2.в);

$m_n$  – коэффициент, учитывающий кратковременность воздействия нагрузок (таблица 6);

$m_b$  – коэффициент, учитывающий высоту сечения клееных элементов (таблица 7);

- $m_{сл}$  – коэффициент, учитывающий толщину слоев клееных элементов (таблица 8);
- $m_{гн}$  – коэффициент, учитывающий относительную кривизну гнутого элемента (таблица 9);
- $m_o$  – коэффициент, учитывающий ослабление в расчетном сечении (п.3.2.и);
- $m_a$  – коэффициент, учитывающий снижение расчетного сопротивления древесины за счет глубокой пропитки антипиренами под давлением (п.3.2.к).

Расчетные сопротивления фанеры приведены в таблице 10. В необходимых случаях к ним также применяются описанные коэффициенты.

Окончательное значение расчетного сопротивления определяется с учетом всех имеющих место коэффициентов. Для каждого конкретного случая выбираются необходимые коэффициенты.

### Пример

Определить расчетное сопротивление растяжению вдоль волокон бруса из березы 2-го сорта для конструкции, эксплуатирующейся на открытом воздухе во влажной зоне.

### Решение

1) Учет температурно-влажностных условий эксплуатации конструкции.

По таблице 1 определяем температурно-влажностные условия эксплуатации конструкции. Наши исходные данные соответствуют температурно-влажностным условиям эксплуатации В3. По таблице 5 для условий эксплуатации В3 определяем коэффициент  $m_e = 0,85$ .

2) Учет породы древесины.

По таблице 4 для породы береза и для напряженного состояния - растяжение определяем коэффициент  $m_{п} = 1,1$ .

3) По таблице 3 определяем расчетное сопротивление сосны, ели, лиственницы 2-го сорта (п. 2а)  $R_p = 7 \text{ МПа}$  ( $70 \text{ кг/см}^2$ ).

Окончательно устанавливаем расчетное сопротивление соответствующее заданной породе (береза), сорту (2-й) и условиям эксплуатации (на открытом воздухе во влажной зоне) используя найденные коэффициенты  $R_p = 7 * 0,85 * 1,1 = 6,545 \text{ МПа}$  ( $65,45 \text{ кг/см}^2$ ).

Далее самостоятельно определить расчетное сопротивление по варианту при следующих исходных данных:

Таблица 1

## Исходные данные для самостоятельного решения по занятию №1

№ вар-та	Вид напряженного состояния, сечение (высота x ширина)	Древесина		Условия эксплуатации	
		порода	сорт		
1	Растяжение вдоль волокон неклееных элементов	сосна	1	Внутри отапливаемых помещений при температуре до 35 <sup>0</sup> С, относительной влажности воздуха	до 60 %
2		ель	2		свыше 60% до 75%
3		Кедр сибирский	1		свыше 75% до 95%
4	Изгиб, брус (125x100)	Пихта	1	Внутри неотапливаемых помещений	В сухой зоне
5		Дуб	2		в нормальной зоне
6		Ясень	3		во влажной зоне
7	Сжатие, брус (100x75)	Клен	1	На открытом воздухе	В сухой зоне
8		Граб	2		в нормальной зоне
9		Акация	3		во влажной зоне
10	Скалывание влоь волокон при изгибе неклееных элементов	Береза	1	Внутри отапливаемых помещений при температуре до 35 <sup>0</sup> С, относительной влажности воздуха	до 60 %
11		Бук	2		свыше 60% до 75%
12		Вяз	3		свыше 75% до 95%
13	Растяжение вдоль волокон неклееных элементов	Ольха	1	Внутри неотапливаемых помещений	в сухой зоне
14		Липа	2		в нормальной зоне
15		Осина	1		во влажной зоне
16	Изгиб, брус (125x100)	сосна	1	На открытом воздухе	в сухой зоне
17		ель	2		в нормальной зоне
18		Кедр сибирский	3		во влажной зоне
19	Сжатие, брус (100x75)	Пихта	1	Внутри отапливаемых помещений при температуре до 35 <sup>0</sup> С, относительной влажности воздуха	до 60 %
20		Дуб	2		свыше 60% до 75%
21		Ясень	3		свыше 75% до 95%
22	Растяжение вдоль волокон неклееных элементов	Клен	1	Внутри неотапливаемых помещений	В сухой зоне
23		Граб	2		В нормальной зоне
24		Акация	2		во влажной зоне
25	Изгиб, брус (125x100)	Береза	1	На открытом воздухе	В сухой зоне
26		Бук	2		В нормальной зоне
27		Вяз	3		во влажной зоне
28	Сжатие, брус (100x75)	Ольха	1	Внутри отапливаемых помещений при температуре до 35 <sup>0</sup> С, относительной влажности воздуха	до 60 %
29		Липа	2		свыше 60% до 75%
30		Осина	3		свыше 75% до 95%

## Занятие № 2

Тема: Порядок расчета элементов конструкций.  
Расчет центрально-растянутого элемента.

2.1. В практике проектирования встречаются два вида задач:

- задача подбора сечения;
- задача проверки сечения.

Решение обоих видов задач можно описать следующим алгоритмом.

Подбор сечения	Проверка сечения
1. Сбор нагрузок	
2. Статический расчет и определение действующих усилий в элементах	
3. Определение всех необходимых коэффициентов и расчетных сопротивлений	
4. Определение требуемых характеристик сечения	
5. Выбор сечения по сортаменту и уточнение размеров сечения	
6. Вычисление геометрических характеристик для заданного или выбранного сечения элемента	
7. Проверка сечения элемента по двум предельным состояниям - по несущей способности (прочность, устойчивость и т.д.) - по деформациям	
8. При недостаточности несущей способности или жесткости изменение сечения и повторное выполнение алгоритма с п.6	8. Вывод о соответствии предельным состояниям (достаточности несущей способности, жесткости) проверяемого элемента

Использование этого алгоритма рассматривается далее на примерах расчетов. Основные особенности расчетов описываются в начале каждого занятия, далее приводится пример решения той или иной задачи по вышеописанному алгоритму.

2.2. Расчет центрально-растянутого элемента.

Проверка несущей способности растянутого элемента согласно п. 4.1 СНиП II-25-80 производится по формуле

$$\sigma = N / F_{нт} \leq R_p, \quad (1)$$

где  $N$  - действующее усилие растяжения в элементе,

$F_{нт}$  – площадь сечения нетто (площадь сечения за вычетом ослаблений).  
 Для центрально-растянутых элементов ослабления, расположенные на участке длиной до 200 мм совмещают в одном сечении (рис.1).

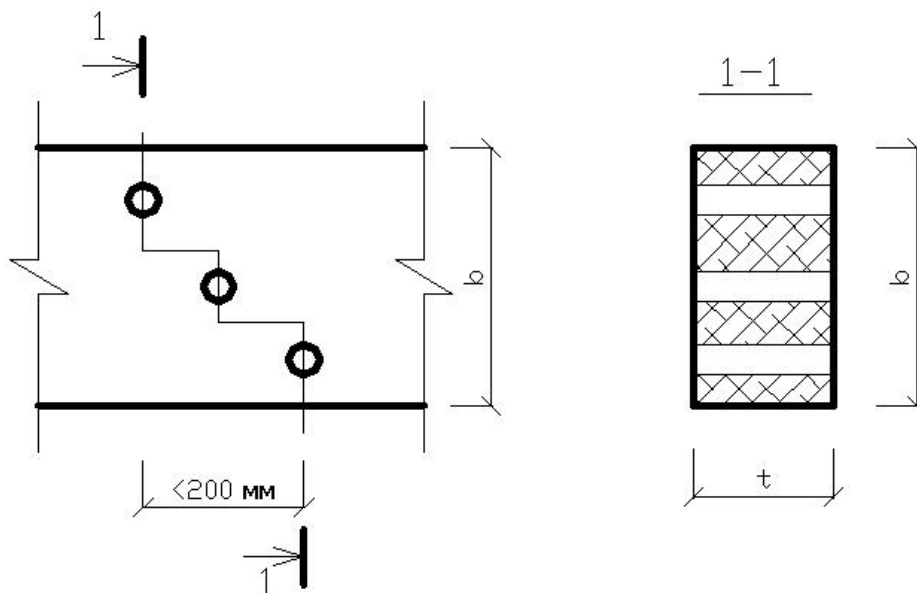


Рис. 1. Совмещение ослаблений в сечении растянутого элемента.

#### Пример

Подобрать сечение стержня, в котором действует растягивающее усилие  $N=12000$  кг. Стержень имеет одно ослабление отверстием диаметром 10 мм просверленное в широкой пластине (большой размер сечения). Материал – пихта 2-го сорта. Конструкция эксплуатируется на открытом воздухе во влажной зоне.

#### Решение

По условию задачи действующее усилие в рассчитываемом элементе задано, следовательно, первые два пункта (сбор нагрузок и статический расчет и определение действующих усилий в элементах) алгоритма опускаем.

### 3. Определение всех необходимых коэффициентов и расчетных сопротивлений

Учет температурно-влажностных условий эксплуатации конструкции.

По таблице 1 определяем температурно-влажностные условия эксплуатации конструкции. Наши исходные данные соответствуют температурно-влажностным условиям эксплуатации В3. По таблице 5 для условий эксплуатации В3 определяем коэффициент  $m_e = 0,85$ .

Учет породы древесины.

По таблице 4 для породы пихта и для напряженного состояния - растяжение определяем коэффициент  $m_{п}=0,8$ .

По таблице 3 определяем расчетное сопротивление сосны, ели, лиственницы 2-го сорта (п. 2а)  $R_p=7\text{МПа}$  ( $70 \text{ кг/см}^2$ ).



По пункту 3.2 (и) для растянутых элементов с ослаблением в расчетном сечении учитываем коэффициент  $m_0=0,8$ .

Окончательно устанавливаем расчетное сопротивление соответствующее заданной породе (пихта), сорту (2-й сорт), растянутый элемент с ослаблением в расчетном сечении и условиям эксплуатации (на открытом воздухе во влажной зоне), используя найденные коэффициенты:

$$R_p = 7 * 0,85 * 0,8 * 0,8 = 3,808 \text{ МПа} (38,08 \text{ кг/см}^2).$$

#### 4. Определение требуемых характеристик сечения

Преобразуя формулу проверки несущей способности (1) относительно  $F_{нт}$ , получаем соотношение для нахождения требуемой площади сечения

$$F_{нт} = N/R_p.$$

Подставляя известные значения, получаем  $F_{нт} = 12000/38,08 = 315,1 \text{ см}^2$ . Для выбора из сортамента пиломатериалов (см. приложение 1) необходимого сечения находим длину стороны квадратного сечения с площадью  $315,1 \text{ см}^2$ .

$$a = \sqrt{315,1} = 17,75 \text{ см.}$$

Теперь можно выбрать ширину бруса исходя из рекомендованных значений сортаментом, например 17,5 см. Затем минимальную высоту сечения бруса  $315,1/17,5 = 18 \text{ см}$ . В сортаменте наибольшее ближайшее значение 20 см. Принимаем сечение бруса  $20 \times 17,5 \text{ см}$ .

Для облегчения выбора в таблице 1 приложения приведены площади стандартных сечений пиломатериалов по ГОСТ 24454-80\*. В таблице необходимо найти значение равного или несколько большего значения требуемой площади и записать толщину и ширину пиломатериала. В нашем случае по значению площади  $315,1 \text{ см}^2$  можно выбрать брус сечением  $150 \times 225$  ( $337,5 \text{ см}^2$ ) или сечением  $200 \times 175 \text{ мм}$  ( $350 \text{ см}^2$ ).

#### 6. Вычисление геометрических характеристик для выбранного сечения элемента.

Необходимые геометрические характеристики в данном случае - это площадь  $F_{нт} = F_{бр} - F_{осл}$ .

$$F_{бр} = 20 \times 17,5 = 350 \text{ см}^2; F_{осл} = 1 \times 17,5 = 17,5 \text{ см}^2; F_{нт} = 350 - 17,5 = 332,5 \text{ см}^2.$$

#### 7. Проверка несущей способности сечения элемента.

$$\sigma = N/F_{нт} = 12000/332,5 = 36,09 \text{ кг/см}^2 < 38,08 \text{ кг/см}^2 = R_p$$

#### 8. Вывод: Принимаем сечение $200 \times 175 \text{ мм}$ .

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

Таблица 2

## Исходные данные для самостоятельного решения по занятию №2

Номер вар-та	№ (кг)	Ослабления		Материал		Условия эксплуатации	
		число	диаметр (см)	порода	сорт		
1	8000	2	1.2	пихта	1	на открытом воздухе	в сухой зоне
2	10000	2	1.4	пихта	2		в сухой зоне
3	12000	2	1.6	пихта	1		в сухой зоне
4	14000	2	1.8	лиственница	2		в сухой зоне
5	15000	1	2	лиственница	1		в нормальной зоне
6	18000	1	1.2	лиственница	2		в нормальной зоне
7	20000	1	1.4	лиственница	1		в нормальной зоне
8	9000	2	1.2	ель	2		во влажной зоне
9	11000	1	1.6	ель	1		во влажной зоне
10	13000	0		ель	2		во влажной зоне
11	15000	1	1.2	сосна	1	Внутри не отапливаемых помещений	в сухой зоне
12	17000	1	1.2	сосна	2		в сухой зоне
13	19000	0		сосна	1		в сухой зоне
14	21000	0		сосна	2		в сухой зоне
15	7000	2	2.2	осина	1		во влажной зоне
16	8000	2	2	осина	2		во влажной зоне
17	9000	2	1.8	осина	2		во влажной зоне
18	10000	2	1.6	осина	1		во влажной зоне
19	11000	2	1.4	липа	2		в нормальной зоне
20	12000	1	1.2	липа	1		в нормальной зоне
21	13000	1	1.8	тополь	2	Внутри отапливаемых помещений при температуре до 35°С, относительной влажности воздуха	свыше 75 до 95%
22	14000	1	1.6	тополь	1		свыше 75 до 95%
23	15000	1	1.4	береза	2		свыше 75 до 95%
24	16000	1	1.2	береза	1		свыше 60 до 75%
25	17000	1	1.2	береза	2		свыше 60 до 75%
26	18000	0		береза	1		свыше 60 до 75%
27	19000	0		дуб	2		свыше 60 до 75%
28	20000	0		дуб	1		до 60%
29	21000	0		дуб	2		до 60%
30	22000	0		дуб	1		до 60%

## Занятие № 3

Тема: Расчет центрально-сжатого элемента.

Проверка несущей способности центрально-сжатого элемента (постоянного и цельного сечения) согласно п. 4.2 СНиП II-25-80 производится по формулам:

По прочности:

$$\sigma = N/F_{нт} \cdot \mathcal{E}R_c . \quad (2)$$

По устойчивости:

$$\sigma = N/(j F_{расч}) \mathcal{E}R_c , \quad (3)$$

где  $N$  - действующее усилие сжатия в элементе, $F_{нт}$  – площадь сечения нетто (площадь сечения за вычетом ослаблений), $F_{расч}$  – расчетная площадь сечения, $j$  - коэффициент продольного изгиба.

Определение расчетной площади поперечного сечения элемента  $F_{расч}$ .

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

Определение коэффициента продольного изгиба для элементов из древесины:

- при гибкости элемента  $l \leq 70$   $j = 1 - 0,8(l/100)^2$ ;
- при гибкости элемента  $l > 70$   $j = 3000/(l)^2$ .

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

где:  $l_0$  – расчетная длина элемента, равная  $l_0 = l * m$  (геометрической длине элемента на коэффициент приведения длины, при шарнирном закреплении,  $m = 1$ , при других вариантах закрепления концов стержня см. п.4.21 СНиП II-25-80);

$r$  – радиус инерции сечения элемента.

Радиус инерции - это геометрическая характеристика сечения, равная

$$r = \sqrt{J/F}$$

Для прямоугольного сечения, высотой  $h$ , радиус инерции приближенно равен  $r = 0,289 * h$ , круглого сечения радиусом  $R$  -  $r = 0,25 * R$ .

#### Пример

Проверить сечение 15x20 см брусчатой стойки длиной  $l = 4$  м с шарнирно закрепленными концами, не имеющее ослаблений. В стойке действует

сжимающая сила  $N=12000$  кг. Материал – клен 3-го сорта. Условия эксплуатации - на открытом воздухе во влажной зоне.

### Решение

По условию задачи действующее усилие в рассчитываемом элементе задано, следовательно, первые два пункта (сбор нагрузок и статический расчет, т.е. определение действующих усилий в элементах) алгоритма опускаем.

### 3. Определение всех необходимых коэффициентов и расчетных сопротивлений Учет температурно-влажностных условий эксплуатации конструкции.

По таблице 1 определяем температурно-влажностные условия эксплуатации конструкции. Наши исходные данные соответствуют температурно-влажностным условиям эксплуатации В3. По таблице 5 для условий эксплуатации В3 определяем коэффициент  $m_b = 0,85$ .

Учет породы древесины.

По таблице 4 для клена и для напряженного состояния - сжатие определяем коэффициент  $m_c=1,3$ .

По таблице 3 определяем расчетное сопротивление сжатию сосны, ели, лиственницы 3-го сорта (п. 1в)  $R_c=11\text{МПа}$  ( $110\text{ кг/см}^2$ ).

Окончательно устанавливаем расчетное сопротивление соответствующее заданной породе (клен), сорту (3-й) и условиям эксплуатации (на открытом воздухе во влажной зоне) используя найденные коэффициенты:

$$R_c=11*0,85*1,3 = 12,155\text{ МПа} (121,55\text{ кг/см}^2).$$

4-й и 5-й пункты алгоритма расчета при проверке сечения отсутствуют.

6. Вычисление геометрических характеристик для проверяемого сечения элемента.

Необходимые геометрические характеристики в данном случае - это площадь  $F_{бр}=15*20=300\text{ см}^2$  и минимальный радиус инерции  $r=0,289*15=4,335\text{ см}$ ., принимаемый по меньшей из сторон рассматриваемого сечения.

7. Проверка несущей способности сечения элемента.

Вычисляем максимальную гибкость  $l = l_0/r=400/4,335=92,3 < 120 = [l]$  и коэффициент продольного изгиба  $j = 3000/l^2 = 3000/(92,3)^2 = 0,35$ . Далее несущую способность по формуле  $N/(j F_{расч}) \leq R_c$ ,

$$\sigma = N/(j F_{расч})=12000/(0,35*300)=114,3\text{ (кг/см}^2) < 121,55\text{ (кг/см}^2) = R_c.$$

8. Вывод: Проверяемое сечение 15x20 см обладает достаточной несущей способностью.

Данные для самостоятельного решения.

Проверить сечение стойки из бруса размерами  $b*h$  или бревна диаметром  $d$  (если указан диаметр  $d$  - бревно, если указаны размеры  $b$  и  $h$  - брус) длиной  $L$  загруженной сжимающей силой  $N$ . Стойка шарнирно-закрепленна с обеих сторон. Ослабления - отверстия соответствующего диаметра, просверлены в более широких пластьях.

Таблица 3

## Исходные данные для самостоятельного решения по занятию №3

Номер вар-та	N (кг)	Ослабления		L (м)	сечение (см)			Материал		Условия эксплуатации	
		число	диаметр (см)		b	h	d	порода	сорт		
1	800	0		5	10	10		сосна	3	На открытом воздухе	в сухой зоне
2	1500	1	2.8	4.5	10	12		сосна	2		в сухой зоне
3	2500	0		4	10	14		сосна	1		в нормальной зоне
4	2500	1	2.6	3.5	10	16		сосна	3		в нормальной зоне
5	7000	0		3	12	14		сосна	2		во влажной зоне
6	3000	1	2	5	12	16		ель	1		во влажной зоне
7	3000	0		4.5	12	18		ель	3	В частях зданий и сооружений	соприкасающихся с грунтом
8	8500	2	1.8	4	15	15		ель	2		соприкасающихся с грунтом
9	8500	0		3.5	14	14		ель	1		постоянно увлажняемых
10	7500	1	3.2	3	14	16		ель	3	Внутри неотопливаемых помещений	находящихся в воде
11	5000	0		5	14	18		осина	2		в сухой зоне
12	6500	2	2.4	4.5	14	20		осина	1		в сухой зоне
13	6500	0		4	16	16		осина	3		в сухой зоне
14	16000	2	1.6	3.5	16	18		осина	2		в сухой зоне
15	8000	0		5	16	20		осина	1		во влажной зоне
16	9000	2	2.4	4.5		20		береза	3		во влажной зоне
17	28000	1	1.4	4		22		береза	2		во влажной зоне
18	40000	2	3.2	3.5		24		береза	1		во влажной зоне
19	35000	1	1.6	3		24		береза	3		во влажной зоне
20	8500	2	1.2	5		18		береза	2		в нормальной зоне
21	4000	2	2.6	5	12	16		дуб	1		в нормальной зоне
22	4000	1	1.2	4.5	12	18		дуб	3		в сухой зоне
23	10000	2	2.4	4	15	15		дуб	2		в сухой зоне
24	12000	1	1.4	3.5	14	14		дуб	1	во влажной зоне	
25	12000	2	1.8	3	14	16		дуб	3	во влажной зоне	
26	14000	1	2.6	5		20		клен	2	На открытом воздухе	в сухой зоне
27	25000	2	2.6	4.5		22		клен	1		в сухой зоне
28	25000	1	3.2	4		24		клен	3		в нормальной зоне
29	47000	2	2.4	3.5		24		клен	2		в нормальной зоне
30	25000	1	2	3		18		клен	1		во влажной зоне
											во влажной зоне

## Занятие № 4

Тема: Расчет изгибаемых элементов (изгибаемых, сжато-изогнутых и внецентренно-сжатых, растянуто-изгибаемых и внецентренно-изгибаемых).

Расчет изгибаемого элемента по предельному состоянию первой группы производится по формулам:

на прочность по нормальным напряжениям (согласно п. 4.9 СНИП II-25-80)

$$\sigma = M/W_{расч} \leq R_u, \quad (4)$$

на прочность по касательным напряжениям (согласно п. 4.10 СНИП II-25-80)

$$\tau = (QS_{бр})/(J_{бр}b_{расч}) \leq R_{ск}, \quad (5)$$

где:  $M$  - расчетный изгибающий момент в элементе,

$W_{нт}$  - площадь сечения нетто (площадь сечения за вычетом ослаблений),

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

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

$Q$  – расчетная перерезывающая сила в элементе;

$S$  – статический момент сечения;

$J_{бр}$  – момент инерции сечения;

$b_{расч}$  – расчетная ширина сечения;

$R_u$  – расчетное сопротивление изгибу;

$R_{ск}$  – расчетное сопротивление скалыванию.

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

$$f/l \leq [f/l], \quad (6)$$

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

$[f/l]$  допускаемый относительный прогиб, принимаемый по таблице 16 СНиП II-25-80.

### Пример

Проверить прочность и жесткость брусчатой балки пролетом 2,25 м сечением 7,5 x 10,0 см, без ослаблений изгибаемой в направлении большего размера расчетной равномерной погонной нагрузкой  $q = 125 \text{ кг/м}$  (нормативная нагрузка 0,75 от расчетной), с шарнирно закрепленными концами. Материал – пихта 2-го сорта. Условия эксплуатации – на открытом воздухе во влажной зоне.

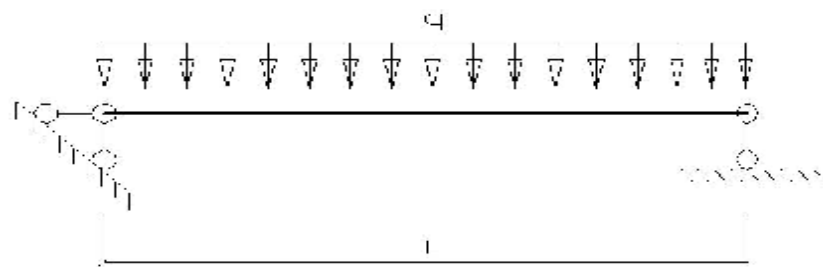


Рис.2. Расчетная схема балки

### Решение

1. Пункт сбор нагрузок для нашей задачи опускаем, т.к. эти нагрузки заданы.

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 и равен  $M = ql^2/8$ , перерезывающая сила максимальна на опоре и равна  $Q = ql/2$ , максимальный

относительный прогиб в середине балки и равен  $f/l = (5q^4 l^3)/(384EJ)$ . Численные значения этих величин равны:

$$M = ql^2/8 = 125 * 2,25^2 / 8 = 79,1016 \text{ кг*м} = 7910,16 \text{ кг*см},$$

$$Q = ql/2 = 125 * 2,25 / 2 = 140,625 \text{ кг},$$

3. Определение всех необходимых коэффициентов и расчетных сопротивлений  
Учет температурно-влажностных условий эксплуатации конструкции.

По таблице 1 определяем температурно-влажностные условия эксплуатации конструкции. Наши исходные данные соответствуют температурно-влажностным условиям эксплуатации В3. По таблице 5 для условий эксплуатации В3 определяем коэффициент  $m_b = 0,85$ .

Учет породы древесины.

По таблице 4 для пихты и для напряженного состояния – изгиб определяем коэффициент  $m_{п1} = 0,8$ , для скалывания  $m_{п2} = 0,8$ .

По таблице 3 определяем расчетное сопротивление сжатию сосны, ели, лиственницы 2-го сорта (п. 1а)  $R_u = 13 \text{ МПа}$  ( $130 \text{ кг/см}^2$ ) и расчетное сопротивление скалыванию вдоль волокон (п. 5а)  $R_{ск} = 1,6 \text{ МПа}$  ( $16 \text{ кг/см}^2$ ).

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

$$R_u = 13 * 0,85 * 0,8 = 8,84 \text{ МПа} (88,4 \text{ кг/см}^2),$$

$$R_{ск} = 1,6 * 0,85 * 0,8 = 1,088 \text{ МПа} (10,88 \text{ кг/см}^2).$$

4-й и 5-й пункты алгоритма расчета при проверке сечения отсутствуют.

6. Вычисление геометрических характеристик для проверяемого сечения элемента.

Необходимые геометрические характеристики в данном случае это:

$$W_{расч} = bh^2/6 = 7,5 * 100 / 6 = 125 \text{ см}^3, J_{бр} = bh^3/12 = 7,5 * 1000 / 12 = 625 \text{ см}^3,$$

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

7. Проверки двух предельных состояний изгибаемого элемента.

Проверяем нормальные напряжения по формуле  $s_u = M/W_{расч} \leq R_u$ ,  
 $s_u = 7910,16 / 125 = 63,28 \text{ (кг/см}^2) < 88,4 \text{ (кг/см}^2) = R_u$ .

Проверяем касательные напряжения по формуле  $t_{ск} = (QS)/(J_{бр} b_{расч}) \leq R_{ск}$ ,  
 $t_{ск} = (140,625 * 93,75) / (625 * 7,5) = 2,81 \text{ (кг/см}^2) < 10,88 \text{ (кг/см}^2) = R_{ск}$ .

Проверяем жесткость (второе предельное состояние) по формуле

$$(f/l) \leq [f/l]$$

$$f/l = (5q^4 l^3)/(384EJ) = (5 * 125 * 2,25^3 * 10^4) / (384 * 100000 * 625) = (71191406,25 / 24000000000) = 1/337.$$

$f/l = 1/337 < 1/200 = [f/l]$ . Здесь  $[f/l] = 1/200$  (для прогонов и стропильных ног покрытия, таблица 16 п. 3а).

8. Вывод: Проверяемое сечение 7,5x10,0 см обладает достаточной несущей способностью и жесткостью.

Данные для самостоятельного решения.

Проверить прочность брусчатого стержня пролетом  $L$ , сечением  $b \times h$ , (круглого диаметром  $d$ ) без ослаблений. Брус изгибается в направлении большего размера сечения равномерной нагрузкой  $q$  (см. рис. 2.).

Таблица 4

Исходные данные для самостоятельного решения по занятию №4

Номер вар-та	q (кг/м)	L (м)	сечение (см)			Материал		Условия эксплуатации	
			b	h	d	порода	сорт		
1	200	2	10	12		сосна	1	внутри отапливаемых помещений при температуре 30°C, относительной влажности воздуха	до 60%
2	250	2.5	10	14		сосна	2		до 60%
3	300	3	10	16		сосна	3		до 60%
4	350	3.5	10	18		ель	1		свыше 60 до 75%
5	400	4	10	20		ель	2		свыше 60 до 75%
6	50	4.5	10	22		ель	3		свыше 60 до 75%
7	100	5	12	12		лиственница	1		свыше 75 до 95%
8	150	5.5	12	14		лиственница	2		свыше 75 до 95%
9	200	6	12	16		лиственница	3		свыше 75 до 95%
10	250	5.5	12	18		береза	1		свыше 75 до 95%
11	100	5	12	20		береза	2	Внутри не отапливаемых помещений	в сухой зоне
12	200	4.5	12	22		береза	3		в сухой зоне
13	250	4	14	10		пихта	1		в сухой зоне
14	300	3.5	14	12		пихта	2		в нормальной зоне
15	350	3	14	14		пихта	3		в нормальной зоне
16	400	2.5	14	16		дуб	1		в нормальной зоне
17	450	2	14	18		дуб	2		во влажной зоне
18	200	2.5	14	20		дуб	3		во влажной зоне
19	100	3	14	22		осина	1		во влажной зоне
20	150	3.5	16	12		осина	2		на открытом воздухе
21	100	4	16	14		осина	3	в сухой зоне	
22	200	4.5	16	16		липа	2	в сухой зоне	
23	250	5		22		липа	2	в нормальной зоне	
24	300	5.5		24		липа	3	в нормальной зоне	
25	150	6		28		клен	2	в нормальной зоне	
26	50	3	10	12		клен	2	во влажной зоне	
27	100	3.5	10	14		клен	3	во влажной зоне	
28	150	4	10	16		сосна	2	во влажной зоне	
29	200	4.5	10	18		сосна	2	во влажной зоне	
30	250	5	10	20		сосна	3	во влажной зоне	

Расчет внецентренно-растянутого и растянуто-изгибаемого элемента по предельному состоянию первой группы производится по формуле (согласно п. 4.16 СНиП II-25-80):

$$\sigma = N/F_{расч} + (MR_p)/(W_{расч}R_u) \leq R_p, \quad (7)$$

где:  $N$  - действующее усилие растяжения в элементе;

$M$  - расчетный изгибающий момент в элементе;

$F_{расч}$  - площадь расчетного сечения нетто;

$W_{нт}$  - площадь 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);

$R_u$  – расчетное сопротивление изгибу;

$R_p$  – расчетное сопротивление растяжению.

### Пример

Проверить прочность брусчатого стержня пролетом 2,25 м сечением 7,5 x 10,0 см без ослаблений, изгибаемого в направлении большего размера расчетной равномерной погонной нагрузкой  $q = 125$  кг/м и растягиваемого усилием  $N_p = 1000$  кг (стержень шарнирно закреплен по концам). Материал – пихта 2-го сорта. Условия эксплуатации - на открытом воздухе во влажной зоне.

### Решение

1. Пункт сбор нагрузок для нашей задачи опускаем, т.к. эти нагрузки заданы.

2. Статический расчет.

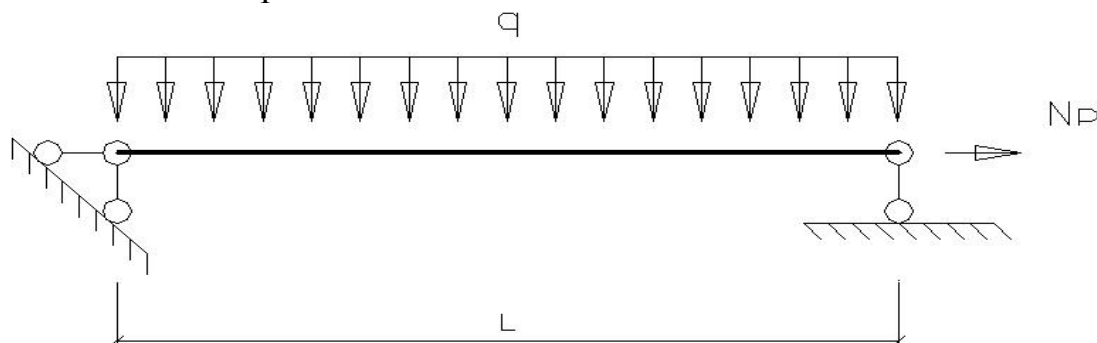


Рис.3. Расчетная схема балки

По условию задачи имеем расчетную схему однопролетной шарнирно опертой балки, загруженной равномерно распределенной нагрузкой  $q$  и продольной силой  $N_p$  (см. рис. 3). Для такой расчетной схемы максимальный момент - в середине балки и равен  $M = ql^2/8$ . Численное значение его равно  $M = ql^2/8 = 125 * 2,25^2 / 8 = 79,1016 \text{ кг*м} = 7910,16 \text{ кг*см}$ .

3. Определение всех необходимых коэффициентов и расчетных сопротивлений

Учет температурно-влажностных условий эксплуатации конструкции.

По таблице 1 определяем температурно-влажностные условия эксплуатации конструкции. Наши исходные данные соответствуют температурно-влажностным условиям эксплуатации В3. По таблице 5 для условий эксплуатации В3 определяем коэффициент  $m_e = 0,85$ .

Учет породы древесины.

По таблице 4 для пихты и для напряженного состояния – изгиб определяем коэффициент  $m_{п} = 0,8$ , для скалывания  $m_{п} = 0,8$ .

По таблице 3 определяем расчетное сопротивление растяжению сосны, ели, лиственницы 2-го сорта (п. 2а)  $R_p=7$  мПа ( $70$  кг/см<sup>2</sup>) и расчетное сопротивление изгибу (п. 1а)  $R_u=13$  мПа ( $130$  кг/см<sup>2</sup>).

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

$$R_u=13*0,85*0,8 = 8,84 \text{ мПа } (88,4 \text{ кг/см}^2),$$

$$R_p=7*0,85*0,8 = 4,76 \text{ мПа } (47,6 \text{ кг/см}^2).$$

4-й и 5-й пункты алгоритма расчета при проверке сечения отсутствуют.

6. Вычисление геометрических характеристик для проверяемого сечения элемента.

Необходимые геометрические характеристики в данном случае это  $W_{расч}=bh^2/6=7,5*100/6=125$  см<sup>3</sup>,  $F_{расч}=bh=7,5*10=75$  см<sup>2</sup>.

7. Проверка первого предельного состояния растянуто-изгибаемого элемента.

Проверяем первое предельное состояние по формуле

$$\sigma = N/F_{расч} + (MR_p)/(W_{расч}R_u) \leq R_p. \quad 1000/75 + (7910,16*47,6)/(125*88,4) =$$

$$= 13,33 + 34,07 = 47,40 \text{ (кг/см}^2) < 47,6 \text{ (кг/см}^2) = R_p.$$

8. Вывод: Проверяемое сечение 75x100 мм обладает достаточной несущей способностью.

Исходные данные для самостоятельного решения

Проверить прочность брусчатого стержня пролетом L, сечением bхh (круглого диаметром d), без ослаблений. Брус изгибается в направлении большего размера сечения равномерной погонной нагрузкой q (см. рис. 3.).

Таблица 5

Исходные данные для самостоятельного решения по занятию №4

Номер варианта	Np (кг)	q (кг/м)	L (м)	сечение (см)			Материал		Условия эксплуатации	
				b	h	d	порода	сорт		
1	5000	200	2	10	12		сосна	1	внутри отапливаемых помещений при температуре 30°C, относительной влажности воздуха	до 60%
2	4500	250	2.5	10	14		сосна	2		до 60%
3	4000	300	3	10	16		сосна	3		до 60%
4	3000	350	3.5	10	18		ель	1		свыше 60 до 75%
5	2500	400	4	10	20		ель	2		свыше 60 до 75%
6	2000	50	4.5	10	22		ель	3		свыше 60 до 75%
7	1500	100	5	12	12		лиственница	1		свыше 75 до 95%
8	100	150	5.5	12	14		лиственница	2		свыше 75 до 95%
9	800	200	6	12	16		лиственница	3		свыше 75 до 95%
10	600	250	5.5	12	18		береза	1		свыше 75 до 95%
11	900	100	5	12	20		береза	2		в сухой зоне
12	800	200	4.5	12	22		береза	3		в сухой зоне
13	1200	250	4	14	10		пихта	1		в сухой зоне
14	1300	300	3.5	14	12		пихта	2		в нормальной зоне
15	1500	350	3	14	14		пихта	3		в нормальной зоне
16	2000	400	2.5	14	16		дуб	1		в нормальной зоне
17	2500	450	2	14	18		дуб	2		во влажной зоне
18	3000	200	2.5	14	20		дуб	3		во влажной зоне
19	3500	100	3	14	22		осина	1		во влажной зоне

20	4000	150	3.5	16	12		осина	2	на открытом воздухе	в сухой зоне
21	4500	100	4	16	14		осина	3		в сухой зоне
22	2000	200	4.5	16	16		липа	2		в сухой зоне
23	1500	250	5			22	липа	2		в нормальной зоне
24	2000	300	5.5			24	липа	3		в нормальной зоне
25	1000	150	6			28	клен	2		в нормальной зоне
26	5000	50	3	10	12		клен	2		во влажной зоне
27	4500	100	3.5	10	14		клен	3		во влажной зоне
28	4000	150	4	10	16		сосна	2		во влажной зоне
29	3000	200	4.5	10	18		сосна	2		во влажной зоне
30	2500	250	5	10	20		сосна	3	во влажной зоне	

Расчет внецентренно-сжатого и сжато-изгибаемого элемента по предельному состоянию первой группы производится по формуле

$$\sigma = N/F_{расч} + (M_d)/(W_{расч}) \leq R_c, \quad (\text{согласно п. 4.17 СНиП II-25-80}).$$

где:  $N$  - действующее усилие растяжения в элементе;

$M_d$  - изгибающий момент в элементе от действия поперечных и продольных нагрузок определенный по деформированной схеме  $M_d = M/x$ ,

где:  $x = 1 - N/(fR_c F_{бр})$ ,

$F_{бр}$  - 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);

$j$  - коэффициент продольного изгиба;

$R_u$  - расчетное сопротивление изгибу;

$R_c$  - расчетное сопротивление сжатию.

### Пример

Проверить прочность брусчатого стержня пролетом 2,25 м сечением 7,5 x 10,0 см без ослаблений изгибаемого в направлении большего размера расчетной равномерной нагрузкой  $q = 125$  кг/м и сжимаемого усилием  $N_p = 1000$  кг (стержень шарнирно закреплен по концам). Материал – пихта 2-го сорта. Условия эксплуатации - на открытом воздухе во влажной зоне.

### Решение

1. Пункт сбор нагрузок для нашей задачи опускаем, т.к. эти нагрузки заданы.

2. Статический расчет.

По условию задачи имеем расчетную схему однопролетной шарнирно опертой балки, загруженной равномерно распределенной погонной нагрузкой  $q$  и продольной силой  $N_p$  (см. рис. 4). Для такой расчетной схемы максимальный

момент в середине балки и равен  $M=ql^2/8$ . Численное значение его равно  $M=ql^2/8 = 125*2,25^2/8 = 79,1016 \text{ кз*м} = 7910,16 \text{ кз*см}$ .

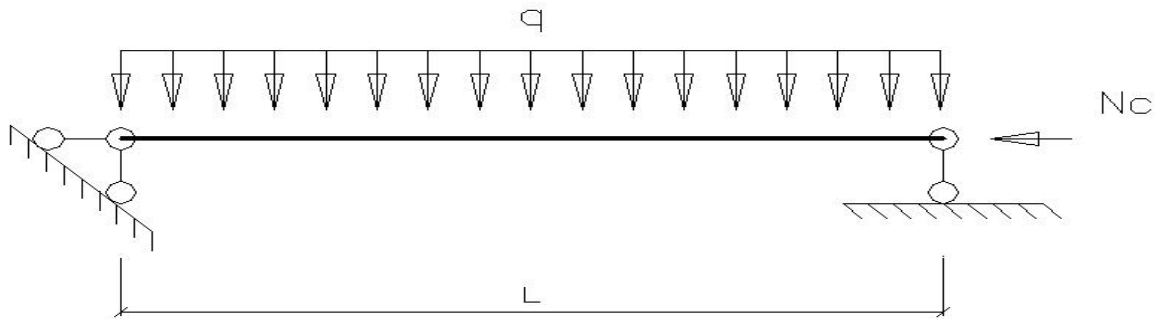


Рис.4. Расчетная схема балки

3. Определение всех необходимых коэффициентов и расчетных сопротивлений

Учет температурно-влажностных условий эксплуатации конструкции.

По таблице 1 определяем температурно-влажностные условия эксплуатации конструкции. Наши исходные данные соответствуют температурно-влажностным условиям эксплуатации В3. По таблице 5 для условий эксплуатации В3 определяем коэффициент  $m_e = 0,85$ .

Учет породы древесины.

По таблице 4 для пихты и для напряженного состояния – изгиб определяем коэффициент  $m_n=0,8$ , для скалывания  $m_n=0,8$ .

По таблице 3 определяем расчетное сопротивление сжатию и изгибу сосны, ели 2-го сорта (п. 1а)  $R_c = R_u = 13 \text{ МПа} (130 \text{ кз/см}^2)$ .

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

$$R_u = R_c = 13 * 0,85 * 0,8 = 8,84 \text{ МПа} (88,4 \text{ кз/см}^2).$$

4-й и 5-й пункты алгоритма расчета при проверке сечения отсутствуют.

6. Вычисление геометрических характеристик для проверяемого сечения элемента.

Необходимые геометрические характеристики в данном случае это:

$$W_{расч} = bh^2/6 = 7,5 * 10,0^2 / 6 = 125 \text{ см}^3, F_{расч} = bh = 7,5 * 10 = 75 \text{ см}^2,$$

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

7. Проверка первого предельного состояния сжато-изгибаемого элемента.

$$l = l/i = 225/2,89 = 77,59. \quad \mathbf{f} = 3000/l^2 = 3000/77,59^2 = 0,498.$$

$$\mathbf{x} = 1 - N/(f R_c F_{оп}) = 1 - 1000/(0,498 * 88,4 * 75) = 1 - 0,3029 = 0,697.$$

$$M_d = M/\mathbf{x} = 7910,16/0,697 = 11348,87 \text{ кз*см}.$$

Проверяем первое предельное состояние по формуле

$$\sigma = N/F_{расч} + M_d/W_{расч} \mathbf{f} R_p.$$

$$1000/75 + 11348,87/0,697 = 13,33 + 90,79 =$$

$$= 104,12 \text{ (кг/см}^2\text{)} > 88,4 \text{ (кг/см}^2\text{)} = R_c.$$

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

Исходные данные для самостоятельного решения

Проверить прочность стержня длиной L, сечением bхh (круглого диаметром d), без ослаблений с шарнирно-закрепленными концами. На стержень действуют продольная сжимающая сила Nс и равномерная поперечная, нагрузкой q, в направлении большего размера сечения (см. рис. 4.).

Таблица 6

Исходные данные для самостоятельного решения по занятию №4

Номер вар-та	Nс (кг)	q (кг/м)	L (м)	сечение (см)			Материал		Условия эксплуатации
				b	h	d	порода	сорт	
1	10000	200	2	12	12		сосна	1	до 60%
2	9000	250	3.5	12	14		сосна	2	до 60%
3	8000	300	3	12	16		сосна	3	до 60%
4	7000	350	3.5	12	18		ель	1	свыше 60 до 75%
5	6000	400	4	12	20		ель	2	свыше 60 до 75%
6	5000	100	4.5	12	22		ель	3	свыше 60 до 75%
7	4000	150	5	14	10		лиственница	1	свыше 75 до 95%
8	13000	200	2	14	12		лиственница	2	свыше 75 до 95%
9	12000	250	2.5	14	14		лиственница	3	свыше 75 до 95%
10	11000	300	3	14	16		береза	1	свыше 75 до 95%
11	10000	100	3.5	14	18		береза	2	в сухой зоне
12	9000	150	4	14	20		береза	3	в сухой зоне
13	8000	200	4.5	16	10		пихта	1	в сухой зоне
14	7000	250	5	16	12		пихта	2	в нормальной зоне
15	6000	300	5.5	16	14		пихта	3	в нормальной зоне
16	5000	350	6	16	16		дуб	1	в нормальной зоне
17	4000	400	5.5	16	18		дуб	2	во влажной зоне
18	3000	450	5	16	20		дуб	3	во влажной зоне
19	4500	250	4.5	18	10		осина	1	во влажной зоне
20	5000	300	4	18	12		осина	2	в сухой зоне
21	5500	200	3.5	18	14		осина	3	в сухой зоне
22	6000	150	3			20	липа	2	в сухой зоне
23	6500	100	2.5			14	липа	2	в нормальной зоне
24	7000	50	3			16	липа	3	в нормальной зоне
25	7500	100	3.5			18	клен	2	в нормальной зоне
26	4000	150	4			20	клен	2	во влажной зоне
27	4500	200	4.5			22	клен	3	во влажной зоне
28	5000	210	5			24	сосна	2	во влажной зоне
29	6000	100	5.5			26	сосна	2	во влажной зоне
30	6500	100	6			28	сосна	3	во влажной зоне

### Занятие № 5

Тема: Расчет соединений элементов деревянных конструкций.

Лобовые и конструктивные врубки.

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 (п.5.2. СНиП II-25-80):

- из условия смятия древесины  $T_{см} = R_{см}F_{см}$ ;
- из условия скалывания древесины  $T_{ск} = R_{ск}^{cp}F_{ск}$ ,

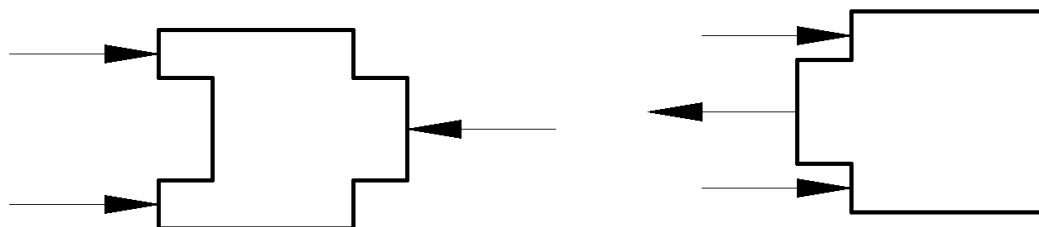
где  $F_{см}$  – расчетная площадь смятия,  $F_{ск}$  - расчетная площадь скалывания,  $R_{см}$  – расчетное сопротивление древесины смятию (табл. 3 СНиП),  $R_{ск}^{cp}$  - расчетное сопротивление древесины среднее по площадке скалывания определяемое по формуле

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

где  $\beta$  – коэффициент, принимаемый равным 0,25 при приложении нагрузки на площадку скалывания с противоположных сторон (рис. 5.а), и равное 0,125 при односторонней нагрузке (рис. 5.б) (п. 5.3. СНиП II-25-80),  $R_{ск}$  – расчетное сопротивление древесины скалыванию вдоль волокон (табл. 3 СНиП,  $l_{ск}$  – расчетная длина скалывания (принимается не более 10 глубин врезки  $h_{вр}$  в элемент),  $e$  – плечо сил скалывания (имеет значения 0,5h для односторонней врубки (рис. 6.а) и 0,25h для двухсторонней врубки (рис. 6.б),  $h$  – высота сечения).

Расчетное сопротивление древесины смятию под углом  $\alpha$  определяется согласно примечанию 2 к таблице 3 СНиП II-25-80 по формуле:

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

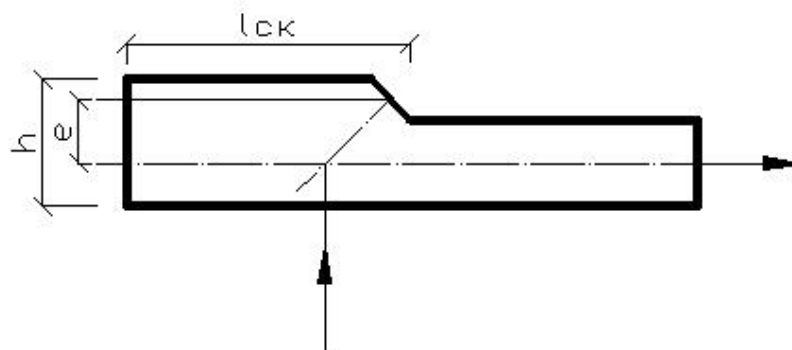


а) схема расположения сил для случая  $\beta=0,25$

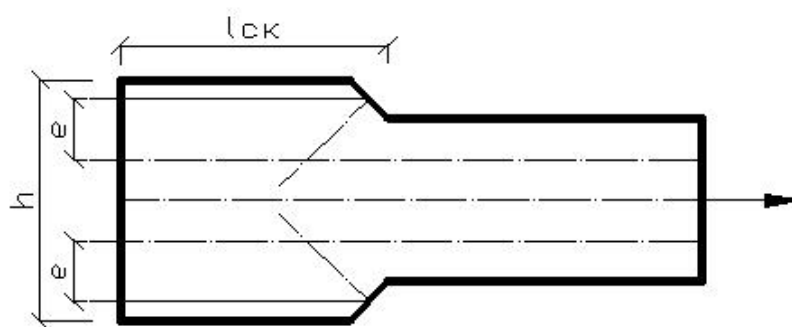
б) схема расположения сил для случая  $\beta=0,125$

Рис. 5. К определению коэффициента  $\beta$

а)



б)



а) односторонняя врубка, б) двухсторонняя врубка  
Рис. 6. К определению плеча сил скалывания

Пример 1 (поперечный лобовой упор)

Проверить прочность поперечного лобового упора при смятии балки, опёртой на стойку, сечения которых равны  $b \times h = 10,0 \times 15,0$  см (см. рис. 7.). В стойке действует сжимающая сила  $N_c = 3000$  кг. Материал – береза 2-го сорта. Условия эксплуатации – внутри неотапливаемого помещения (чердак) в нормальной зоне.

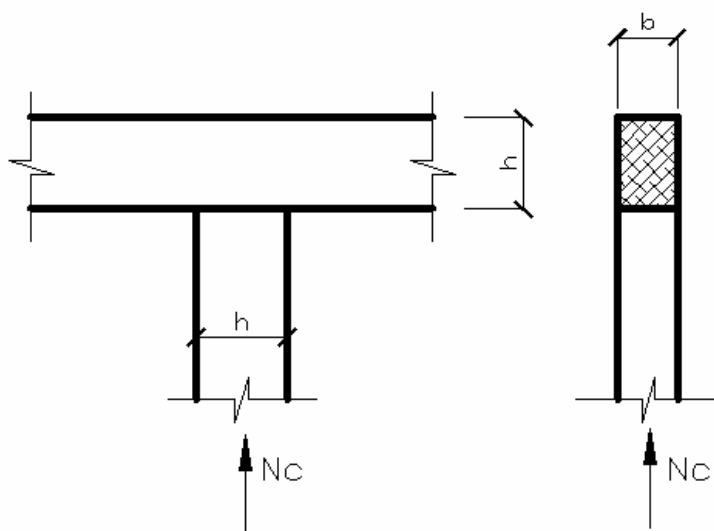


Рис.7. Поперечный лобовой упор

## Решение

1. Пункт сбор нагрузок для нашей задачи опускаем, т.к. эти нагрузки заданы.
2. Статический расчет не производим – усилия заданы.
3. Определение всех необходимых коэффициентов и несущих способностей.

Учет температурно-влажностных условий эксплуатации конструкции.

По таблице 1 определяем температурно-влажностные условия эксплуатации конструкции. Наши исходные данные соответствуют температурно-влажностным условиям эксплуатации Б2. По таблице 5 для условий эксплуатации Б2 определяем коэффициент  $m_b = 1,0$ .

Учет породы древесины.

По таблице 4 для березы и для напряженного состояния – смятие вдоль волокон определяем коэффициент  $m_{\parallel} = 1,1$ , смятие поперек волокон  $m_{\perp} = 1,6$ .

По таблице 3 определяем расчетное сопротивление смятию вдоль волокон сосны, ели 2-го сорта (п. 1а)  $R_{см} = 13 \text{ МПа}$  ( $130 \text{ кг/см}^2$ ). Расчетное сопротивление смятию поперек волокон сосны, ели 2-го сорта (п. 4а)  $R_{см,90} = 3 \text{ МПа}$  ( $30 \text{ кг/см}^2$ )

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

$$R_{см} = 13 * 1,0 * 1,1 = 14,3 \text{ МПа} (143 \text{ кг/см}^2), R_{см,90} = 3 * 1,0 * 1,6 = 4,8 \text{ МПа} (48 \text{ кг/см}^2).$$

4. Определение геометрических характеристик сечения.

Находим площадь смятия  $F_{см} = b * h = 10 * 15 = 150 \text{ см}^2$ .

5. Проверка несущей способности.

Несущая способность на смятие вдоль волокон (проверка стойки)

$$N_{см} = N_c = 3000 \text{ кг}, T_{см} = R_{см} * F_{см} = 143 * 150 = 21450 \text{ кг}, \\ N_{см} = N_c = 3000 \text{ кг} < 21450 \text{ кг} = T_{см}.$$

Условие выполняется, прочность на смятие стойки обеспечена.

Несущая способность на смятие поперек волокон (проверка балки)

$$N_{см} = N_c = 3000 \text{ кг}, T_{см,90} = R_{см,90} * F_{см} = 48 * 150 = 7200 \text{ кг}, \\ N_{см} = N_c = 3000 \text{ кг} < 7200 \text{ кг} = T_{см,90}.$$

Условие выполняется, прочность на смятие балки обеспечена.

6. Вывод: Прочность поперечного лобового упора обеспечена.

Исходные данные для самостоятельного решения

Проверить прочность поперечного лобового упора при смятии балки, опертой на стойку, сечения которых имеют размеры  $b * h$  (или круглое диаметром  $d$ ). В стойке действует предельная сжимающая сила  $N_c$  (см. рис. 7.).



## Исходные данные для самостоятельного решения по занятию №5

Номер вар-та	Nc (кг)	сечение (см)			Материал		Условия эксплуатации	
		b	h	d	порода	сорт		
1	8000	20	20		сосна	1	внутри неотапливаемых помещений	в сухой зоне
2	9000	20	18		сосна	2		в сухой зоне
3	10000	20	16		сосна	3		в сухой зоне
4	6000	16	20		сосна	1		в сухой зоне
5	7000	18	20		сосна	2		в сухой зоне
6	5000	18	18		лиственница	1	внутри отапливаемых помещений при температуре до 35°С, относительной влажности воздуха	до 60%
7	5500	18	22		лиственница	2		до 60%
8	10000	22	22		лиственница	3		до 60%
9	11000	20	22		лиственница	1		до 60%
10	12000	18	24		лиственница	2		до 60%
11	5000	18	18		пихта	1		от 60% до 75%
12	5500	18	22		пихта	2		от 60% до 75%
13	10000	22	22		пихта	3		от 60% до 75%
14	11000	20	22		пихта	1		от 60% до 75%
15	12000	18	24		пихта	2		от 60% до 75%
16	14000			30	ель	1	внутри неотапливаемых помещений	в нормальной зоне
17	11000			20	ель	2		в нормальной зоне
18	12000			22	ель	3		в нормальной зоне
19	13000			25	ель	1		в нормальной зоне
20	10000			28	ель	2		в нормальной зоне
21	14000			32	береза	1		во влажной зоне
22	15000			36	береза	2		во влажной зоне
23	13000			27	береза	3		во влажной зоне
24	10000	22	22		береза	1		во влажной зоне
25	8000	18	22		береза	2		во влажной зоне
26	6000	18	18		осина	1		в сухой зоне
27	5000	16	20		осина	2		в сухой зоне
28	4000	16	24		осина	1		в сухой зоне
29	7000	18	24		осина	2		в сухой зоне
30	3500	18	20		осина	1		в сухой зоне

## Пример 2 (наклонный лобовой упор)

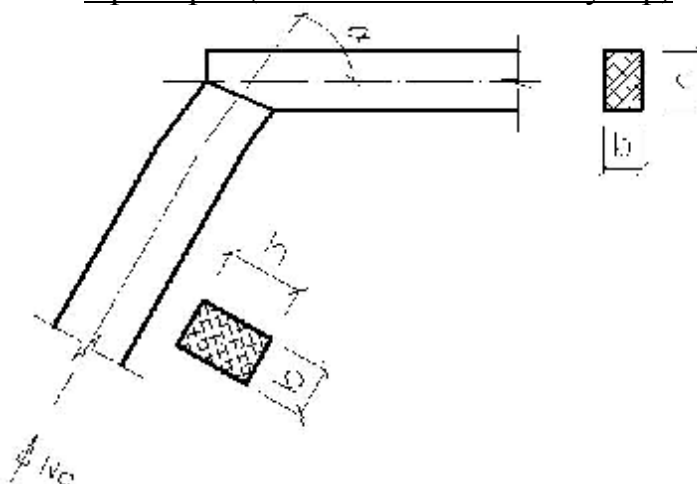


Рис.8. Наклонный лобовой упор

Проверить прочность при смятии наклонного лобового упора торцов подвеса и ригеля из брусев сечением  $b \times h = 10,0 \times 15,0$  см, соединенных под

углом  $\alpha=30^0$  (см. рис. 8.). Конец подвеса обрезан под прямым углом к оси и в нем действует продольная сжимающая сила  $N_c = 12000$  кг. Опорный конец ригеля обрезан под углом в  $\alpha=30^0$  к его оси. Материал – береза 2-го сорта. Условия эксплуатации – внутри неотапливаемого помещения (чердак) в нормальной зоне.

### Решение

1. Пункт сбор нагрузок для нашей задачи опускаем, т.к. эти нагрузки заданы.

2. Статический расчет не производим – усилия заданы.

3. Определение всех необходимых коэффициентов и несущих способностей.

Учет температурно-влажностных условий эксплуатации конструкции.

По таблице 1 определяем температурно-влажностные условия эксплуатации конструкции. Наши исходные данные соответствуют температурно-влажностным условиям эксплуатации Б2. По таблице 5 для условий эксплуатации Б2 определяем коэффициент  $m_e = 1,0$ .

Учет породы древесины.

По таблице 4 для березы и для напряженного состояния – смятие вдоль волокон определяем коэффициент  $m_{\parallel}=1,1$ , смятие поперек волокон  $m_{\perp}=1,6$ .

По таблице 3 определяем расчетное сопротивление смятию вдоль волокон сосны, ели 2-го сорта (п. 1а)  $R_{см}=13\text{МПа}$  ( $130\text{ кг/см}^2$ ). Расчетное сопротивление смятию поперек волокон сосны, ели, лиственницы 2-го сорта (п. 4а)  $R_{см,90}=3\text{МПа}$  ( $30\text{ кг/см}^2$ ).

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

$$R_{см}=13*1,0*1,1 = 14,3\text{ МПа} (143\text{ кг/см}^2), R_{см,90}=3*1,0*1,6 = 4,8\text{ МПа} (48\text{ кг/см}^2).$$

Расчетное сопротивление древесины смятию под углом  $\alpha=30^0$  определяется по формуле

$$R_{см,a} = \frac{R_{см}}{1 + \left( \frac{R_{см}}{R_{см,90}} - 1 \right) \sin^3 a} = \frac{143}{1 + \left( \frac{143}{48} - 1 \right) \sin^3 a} = \frac{143}{1,247} = 114,64\text{ кг/см}^2.$$

4. Определение геометрических характеристик сечения.

Находим площадь смятия  $F_{см}=b*h = 10*15 = 150\text{ см}^2$ .

5. Проверка несущей способности.

Несущая способность на смятие вдоль волокон (проверка подвеса)

$$N_{см} = N_c = 12000\text{ кг}, T_{см} = R_{см} * F_{см} = 143*150 = 21450\text{ кг},$$

$$N_{см} = N_c = 12000\text{ кг} < 21450\text{ кг} = T_{см}$$

Условие выполняется, прочность на смятие стойки обеспечена.

Несущая способность на смятие поперек волокон (проверка опорной части ригеля)

$$N_{см} = N_c = 12000 \text{ кг}, \quad T_{см,30} = R_{см,30} * F_{см} = 114,64 * 150 = 17195 \text{ кг},$$

$$N_{см} = N_c = 12000 \text{ кг} < 17195 \text{ кг} = T_{см,30}$$

Условие выполняется, прочность на смятие опорной части ригеля обеспечена.

6. Вывод: Прочность наклонного лобового упора обеспечена.

Далее самостоятельно решаем задачу с исходными данными, значения которых указаны в таблице 8 в соответствии с номером варианта студента.

Проверить прочность при смятии наклонного лобового упора торцов подвеса и ригеля из брусьев сечением  $b \times h$  (или круглого диаметром  $d$ ), соединенных под углом  $\alpha$ . Конец подвеса обрезан под прямым углом к оси и в нем действует продольная сжимающая сила  $N_c$ . Опорный конец ригеля обрезан под углом  $\alpha$  к его оси (см. рис.8.).

Таблица 8

Исходные данные для самостоятельного решения по занятию №5

Номер вар-та	Nc (кг)	сечение (см)			Угол а (в °)	Материал		Условия эксплуатации	
		b	h	d		порода	сорт		
1	8000	20	20		30	сосна	1	внутри не отапливаемых помещений	в сухой зоне
2	9000	20	18		35	сосна	2		в сухой зоне
3	10000	20	16		40	сосна	3		в сухой зоне
4	6000	16	20		45	сосна	1		в сухой зоне
5	7000	18	20		25	сосна	2		в сухой зоне
6	5000	18	18		30	лиственница	1	внутри отапливаемых помещений при температуре до 35°С, относительной влажности воздуха	до 60%
7	5500	18	22		35	лиственница	2		до 60%
8	10000	22	22		41	лиственница	3		до 60%
9	11000	20	22		26	лиственница	1		до 60%
10	12000	18	24		31	лиственница	2		до 60%
11	5000	18	18		30	пихта	1		от 60% до 75%
12	5500	18	22		35	пихта	2		от 60% до 75%
13	10000	22	22		40	пихта	3		от 60% до 75%
14	11000	20	22		45	пихта	1		от 60% до 75%
15	12000	18	24		25	пихта	2		от 60% до 75%
16	14000			30	25	ель	1	внутри не отапливаемых помещений	в нормальной зоне
17	11000			20	28	ель	2		в нормальной зоне
18	12000			22	30	ель	3		в нормальной зоне
19	13000			25	32	ель	1		в нормальной зоне
20	10000			28	34	ель	2		в нормальной зоне
21	14000			32	25	береза	1		во влажной зоне
22	15000			36	28	береза	2		во влажной зоне
23	13000			27	30	береза	3		во влажной зоне
24	10000	22	22		31	береза	1		во влажной зоне
25	8000	18	22		33	береза	2		во влажной зоне
26	6000	18	18		42	осина	1		в сухой зоне
27	5000	16	20		38	осина	2		в сухой зоне
28	4000	16	24		35	осина	1		в сухой зоне
29	7000	18	24		32	осина	2		в сухой зоне
30	3500	18	20		30	осина	1		в сухой зоне

### Пример 3 (лобовая врубка)

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  $N_c = 3000$  кг. Стержень верхнего пояса расположен под углом  $\alpha = 40^\circ$  к стержню нижнего пояса (см. рис. 9.). 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.

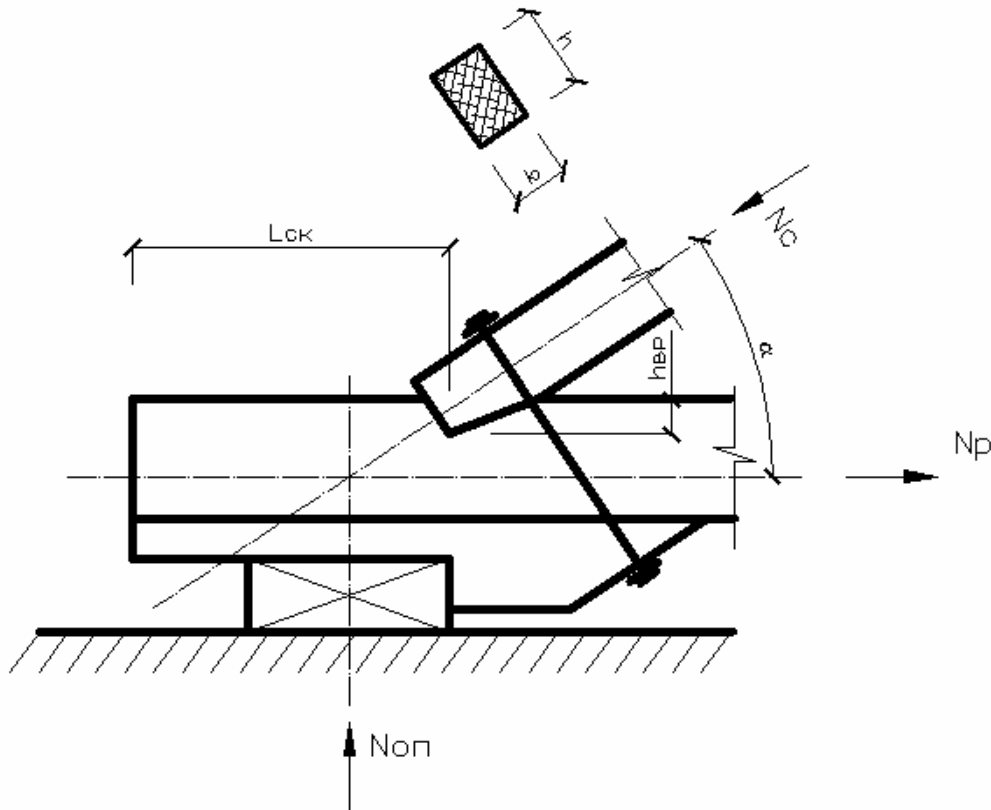


Рис.9. Лобовая врубка

### Решение

1. Пункт сбор нагрузок для нашей задачи опускаем, т.к. эти нагрузки заданы.
2. Статический расчет не производим – усилия заданы.
3. Определение всех необходимых коэффициентов и несущих способностей.

Учет температурно-влажностных условий эксплуатации конструкции.

По таблице 1 определяем температурно-влажностные условия эксплуатации конструкции. Наши исходные данные соответствуют температурно-влажностным условиям эксплуатации Б2. По таблице 5 для условий эксплуатации Б2 определяем коэффициент  $m_g = 1,0$ .

Учет породы древесины.

По таблице 4 для березы и для напряженного состояния – смятие вдоль волокон определяем коэффициент  $m_{\parallel}=1,1$ , смятие поперек волокон  $m_{\perp}=1,6$ , скалывание  $m_{\parallel}=1,3$ .

По таблице 3 определяем расчетное сопротивление смятию вдоль волокон сосны, ели 2-го сорта (п. 1а)  $R_{см}=13\text{МПа}$  ( $130\text{ кг/см}^2$ ). Расчетное сопротивление смятию поперек волокон сосны, ели 2-го сорта (п. 4а)  $R_{см,90}=3\text{МПа}$  ( $30\text{ кг/см}^2$ ). Расчетное сопротивление скалыванию вдоль волокон сосны, ели 2-го сорта (п. 5в)  $R_{ск}=2,1\text{МПа}$  ( $21\text{ кг/см}^2$ ).

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

$$R_{см}=13*1,0*1,1 = 14,3\text{ МПа} (143\text{ кг/см}^2), R_{см,90}=3*1,0*1,6 = 4,8\text{ МПа} (48\text{ кг/см}^2), \\ R_{ск}=2,1*1,0*1,3 = 2,73\text{ МПа} (27,3\text{ кг/см}^2).$$

Расчетное сопротивление древесины смятию под углом  $\alpha=40^0$  определяется по формуле

$$R_{см,a} = \frac{R_{см}}{1 + \left( \frac{R_{см}}{R_{см,90}} - 1 \right) \sin^3 a} = \frac{143}{1 + \left( \frac{143}{48} - 1 \right) \sin^3 40} = \frac{143}{1,5256} = 93,73\text{ кг/см}^2.$$

Расчетное сопротивление древесины скалыванию среднее по площадке скалывания определяется по формуле

$$R_{ск}^{cp} = \frac{R_{ск}}{1 + b \frac{l_{ск}}{e}} = \frac{27,3}{1 + 0,25 \frac{30}{0,5 * 15}} = \frac{27,3}{1 + 4} = 5,46\text{ кг/см}^2.$$

Здесь  $l_{ск} = L = 30\text{ см}$ ,  $e=0,5*h$ ,  $\beta = 0,25$ .

4. Определение геометрических характеристик сечения.

Находим площадь скалывания  $F_{ск}=l_{ск}*b = 30*10 = 300\text{ см}^2$ ,

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

5. Проверка несущей способности.

Несущая способность на скалывание вдоль волокон:

$$N_{ск} = N_c * \cos(\alpha) = 3000 * \cos(40^0) = 2298,13\text{ кг},$$

$$T_{ск} = R_{ск} * F_{ск} = 5,46 * 300 = 1638\text{ кг},$$

$$N_{ск} = 3000\text{ кг} > 1638\text{ кг} = T_{ск}.$$

Условие не выполняется, прочность на скалывание не обеспечена.

Несущая способность на смятие под углом  $40^0$

$$N_{см} = N_c = 3000\text{ кг}, T_{см,40} = R_{см,40} * F_{см} = 93,73 * 65,27 = 6117,85\text{ кг},$$

$$N_{см} = 3000\text{ кг} < 6117,85\text{ кг} = T_{см,40}.$$

Условие выполняется, прочность на смятие под углом  $40^0$  обеспечена.

6. Вывод: Прочность лобовой врубки не обеспечена.

### Исходные данные 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  $N_c$ . Сжатый стержень наклонен под углом  $\alpha$  к растянутому. Глубина врубки  $h_{вр}$ . Расстояние от нижней точки врубки до конца пояса  $L_{ск}$  (см. рис.9).

Таблица 9

### Исходные данные для самостоятельного решения по занятию №5

Номер вар-та	Nc (кг)	сечение (см)		Угол $\alpha$ (в °)	$h_{вр}$ (см)	$L_{ск}$ (см)	Материал		Условия эксплуатации	
		b	h				порода	сорт		
1	8000	20	20	30	5	50	сосна	1	внутри не отапливаемых помещений в сухой зоне	в сухой зоне
2	7000	20	18	35	4.3	43	сосна	2		в сухой зоне
3	6500	20	16	40	4	40	сосна	3		в сухой зоне
4	6000	16	20	45	5	50	сосна	1		в сухой зоне
5	7000	18	20	25	5	50	сосна	2		в сухой зоне
6	5000	18	14	25	8	90	береза	1		во влажной зоне
7	5500	16	16	28	9	90	береза	2		во влажной зоне
8	9000	20	18	30	6.5	70	береза	3		во влажной зоне
9	10000	22	22	31	5.5	60	береза	1		во влажной зоне
10	8000	18	22	33	5	55	береза	2		во влажной зоне
11	5000	18	18	30	4.5	45	дуб	1	внутри отапливаемых помещений при температуре до 35°C, относительной влажности воздуха	до 60%
12	5500	18	22	35	5.5	60	дуб	2		до 60%
13	10000	22	22	41	5	60	дуб	3		до 60%
14	11000	20	22	26	5.5	60	дуб	1		до 60%
15	12000	20	24	31	6	60	дуб	2		до 60%
16	7000	18	14	25	7.5	80	ель	1		свыше 60 до 75%
17	9000	20	16	28	5	50	ель	2		свыше 60 до 75%
18	7000	20	18	30	5.5	55	ель	3		свыше 60 до 75%
19	6000	18	12	32	6	60	ель	1		свыше 60 до 75%
20	7000	18	16	34	7	70	ель	2		свыше 60 до 75%
21	6000	18	18	42	4.5	50	осина	1	на открытом воздухе	в сухой зоне
22	5000	16	20	38	5	50	осина	2		в сухой зоне
23	4000	16	24	35	6	65	осина	1		в сухой зоне
24	7000	18	24	32	6	70	осина	2		в сухой зоне
25	3500	18	20	30	5	60	осина	1		в сухой зоне
26	6000	20	18	42	4.5	50	осина	1		в нормальной зоне
27	5000	20	20	38	5	50	осина	2		в нормальной зоне
28	4000	18	20	35	6	65	осина	1		в нормальной зоне
29	7000	18	18	32	6	70	осина	2		в нормальной зоне
30	5000	18	16	30	5	60	осина	1		в нормальной зоне

### Занятие № 6

Тема: Расчет соединений элементов деревянных конструкций.  
Нагельные соединения (цилиндрические нагели).

Расчет нагельных соединений производят из условий:

- изгиба нагеля;
- смятия элементов соединения.

Расчетная несущая способность ( $T_u^0$ ,  $T_{см}^0$ ) цилиндрического нагеля на один шов сплавляемых элементов из сосны и ели при направлении действия усилий, передаваемых нагелями вдоль волокон, определяется по таблице 17 СНиП II-25-80. Порода древесины, другие температурно-влажностные условия эксплуатации, угол приложения усилий и т.п. учитываются соответствующими коэффициентами:

- для изгиба нагеля  $T_u = T_u^0 * \sqrt{m_n * m_e * k_a * k_n}$  ;
- для смятия древесины  $T_{см} = T_{см}^0 * m_n * m_e * k_a * k_n$ .

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

Расстановка нагелей должна удовлетворять нормам расстановки, указанным в пп. 5.18 - 5.21 СНиП II-25-80.

Число нагелей в соединении определяется по формуле  $n_n \geq \frac{N}{T * n_{uu}}$ ,

где  $N$  – расчетное усилие,  $T$  – наименьшая расчетная несущая способность одного нагеля в соединении,  $n_{uu}$  – 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 равного 2мм (п. 5.20 СНиП II-25-80). 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 (требование п. 5.20 СНиП II-25-80). 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 (требование п. 5.20 СНиП II-25-80). Если расчетная длина защемления конца гвоздя меньше 4d, то количество рассчитываемых швов уменьшается на единицу.

#### Нормы расстановки нагелей

СНиП II-25-80 рекомендует использовать следующую расстановку нагелей (рис. 10).

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

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

Рекомендуется использовать следующие диаметры болтов: 8, 10, 12, 16, 20, 24, 27, 30, 36 мм.

Рекомендуемые размеры принимаемых гвоздей

d – диаметр, мм	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6
L – длина, мм	70; 80	80; 90	100; 110	125	150	175	200

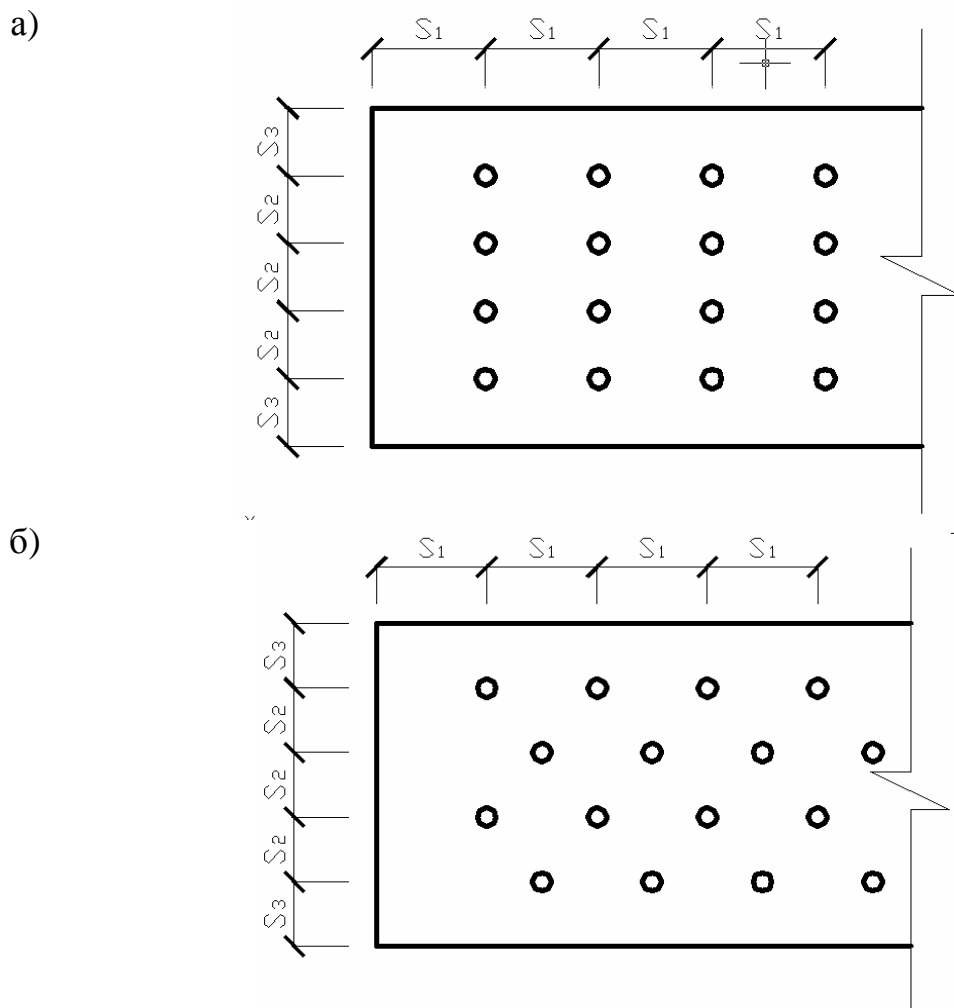


Рис. 10. Расстановка нагелей:

а) прямая расстановка нагелей; б) расстановка в шахматном порядке

### Пример 1

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  $b_1 \times h = 8,0 \times 20,0$  мм. Болты располагаются в два ряда (см. рис. 11.). В соединении действует продольное растягивающее усилие  $N = 160$  кН. Материал – береза. Условия эксплуатации - на открытом воздухе в нормальной зоне.

### Решение

1. Пункт сбор нагрузок для нашей задачи опускаем, т.к. эти нагрузки заданы.
2. Статический расчет не производим – усилия заданы.
3. Определение всех необходимых коэффициентов и несущих способностей.

Учет температурно-влажностных условий эксплуатации конструкции.

По таблице 1 определяем температурно-влажностные условия эксплуатации конструкции. Наши исходные данные соответствуют



температурно-влажностным условиям эксплуатации В2. По таблице 5 для условий эксплуатации В2 определяем коэффициент  $m_b = 0,85$ .

Учет породы древесины.

По таблице 4 для березы и для напряженного состояния – смятие вдоль волокон определяем коэффициент  $m_{пн}=1,1$ .

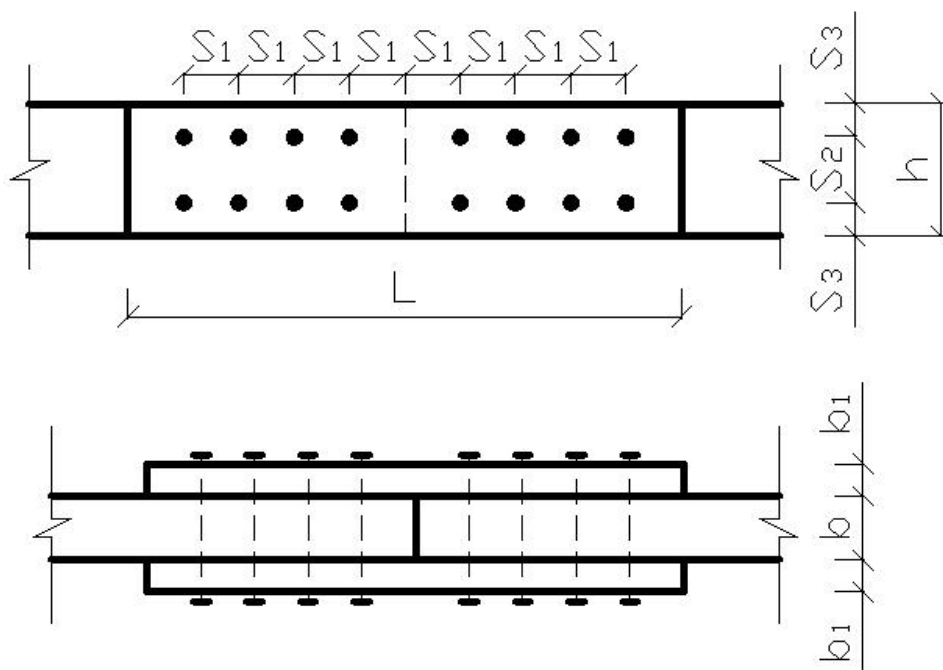


Рис.11. Нагельное соединение двух брусьев накладками

#### 4. Определение требуемых характеристик.

Определяем максимально допустимый диаметр болтов по нормам расстановки. При расстановке болтов в два ряда на широкой пластине 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. 3.),  $h=S_3+S_2+S_3$ . 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 таблице 17 СНиП II-25-80 подставляемые величины толщин и диаметров должны быть выражены в см).

Соединение классифицируется как симметричное, с двумя швами сплавления ( $n_{ш}=2$ ), усилие действует вдоль волокон ( $k_{\alpha}=1$ ). Толщина среднего элемента  $b = 15,0$  см (в таблице 17 СНиП II-25-80 обозначение толщины среднего слоя принято за «с»), следовательно  $s=15$  см. Толщина крайнего элемента (накладка)  $b_1 = 8,0$  см (в таблице 17 СНиП II-25-80 обозначение толщины крайнего слоя принято за «а»), следовательно  $a=8$  см.

Несущая способность одного шва болта равна (таблица 17 СНиП II-25-80):

- по изгибу болта  $T_u^0 = 1,8*d^2 + 0,02*a^2 = 1,8*2^2 + 0,02*8^2 = 8,48 \text{ кН}$ ; но не более  $2,5*d^2 = 2,5*2^2 = 10 \text{ кН}$ .

- по смятию крайнего элемента  $T_{см}^{0кр} = 0,8*a*d = 0,8*8*2 = 12,8 \text{ кН}$ ;

- по смятию среднего элемента  $T_{см}^{0ср} = 0,5*c*d = 0,5*15*2 = 15 \text{ кН}$ .

Несущая способность одного шва болта равна с учетом породы древесины (береза) и температурно-влажностных условий (эксплуатация на открытом воздухе во нормальной зоне):

- по изгибу болта  $T_u = T_u^0 * \sqrt{m_n * m_e} = 8,48 * \sqrt{1,1 * 0,85} = 8,2 \text{ кН}$ ;

- по смятию крайнего элемента  $T_{см}^{кр} = T_{см}^{0кр} * m_n * m_e = 12,8 * 1,1 * 0,85 = 11,97 \text{ кН}$ ;

- по смятию среднего элемента  $T_{см}^{ср} = T_{см}^{0ср} * m_n * m_e = 15 * 1,1 * 0,85 = 14,03 \text{ кН}$ .

Расчетная несущая способность – наименьшее значение из приведенных трех

$$T = T_{мин} = 8,2 \text{ кН.}$$

Требуемое количество болтов в половине стыка

$$n = N/(T*n_u) = 160 \text{ кН}/(8,2 \text{ кН}*2) = 9,756 \text{ шт.}$$

Принимаем 10 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  $10/2 + 1$  (т.к. болты размещаются в два ряда). Следовательно, длина половины накладки равна  $(10/2+1)*S_1 = 6*7*d = 6*7*20 = 840 \text{ мм}$  (здесь учтено, что  $S_1=7*d$ ). Всего в стыке будет 20 болтов расположенных в два ряда и длина всей накладки  $L=2*840 = 1680 \text{ мм}$ .

5. Вывод: Принимаем диаметр болтов 20 мм, количество болтов в стыке 20 шт, длина накладки 1680 мм.

Исходные данные 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  $L$  (см.рис. 11.).

Таблица 10

## Исходные данные для самостоятельного решения по занятию №6

Номер варианта	Np (кг)	сечение (см)			Материал		Условия эксплуатации	
		b	h	b <sub>1</sub>	порода	сорт		
1	16000	20	22	10	лиственница	1	на открытом воздухе	в сухой зоне
2	15000	18	22	10	лиственница	2		в нормальной зоне
3	14000	16	22	8	лиственница	3		в нормальной зоне
4	13000	14	22	8	лиственница	1		во влажной зоне
5	12000	12	22	6	лиственница	2		во влажной зоне
6	15000	16	22	8	береза	1		в сухой зоне
7	14000	14	18	8	береза	2		в сухой зоне
8	13000	14	16	8	береза	3		в сухой зоне
9	12000	14	14	8	береза	1		в нормальной зоне
10	11000	14	12	8	береза	2		в нормальной зоне
11	10000	12	18	6	дуб	3		во влажной зоне
12	9000	12	16	6	дуб	2		во влажной зоне
13	8000	12	14	6	дуб	3		во влажной зоне
14	15000	16	18	6	дуб	1		во влажной зоне
15	16000	18	22	10	дуб	2		во влажной зоне
16	11000	20	20	10	сосна	1		внутри не отапливаемых помещений
17	10000	18	20	10	сосна	2	в сухой зоне	
18	9000	16	20	8	сосна	3	в нормальной зоне	
19	8000	14	20	8	сосна	1	в нормальной зоне	
20	7000	12	20	8	сосна	2	в нормальной зоне	
21	20000	22	20	12	ель	1	внутри отапливаемых помещений при температуре до 35°С, относительной влажности воздуха	до 60%
22	19000	22	18	12	ель	2		до 60%
23	18000	16	20	8	ель	2		до 60%
24	17000	16	16	8	ель	1		свыше 60, до 75%
25	16000	16	18	8	ель	3		свыше 60, до 75%
26	16000	22	20	12	пихта	1		до 60%
27	15000	22	18	12	пихта	2		до 60%
28	14000	16	20	8	пихта	2		до 60%
29	13000	16	16	8	пихта	1		свыше 60, до 75%
30	12000	16	18	8	пихта	3		свыше 60, до 75%

Пример 2

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 (см. рис. 3.). В соединении к стойке приложено продольное растягивающее усилие  $N = 800$  кг. Материал – осина. Условия эксплуатации - на открытом воздухе в нормальной зоне.

Решение

1. Пункт сбор нагрузок для нашей задачи опускаем, т.к. эти нагрузки заданы.
2. Статический расчет не производим – усилия заданы.
3. Определение всех необходимых коэффициентов и несущих способностей.

Учет температурно-влажностных условий эксплуатации конструкции.

По таблице 1 определяем температурно-влажностные условия эксплуатации конструкции. Наши исходные данные соответствуют температурно-влажностным условиям эксплуатации В2. По таблице 5 для условий эксплуатации В2 определяем коэффициент  $m_B = 0,85$ .

Учет породы древесины.

По таблице 4 для осины и для напряженного состояния – смятие вдоль волокон определяем коэффициент  $m_{\parallel} = 0,8$ , смятие поперек волокон  $m_{\perp} = 1,0$ .

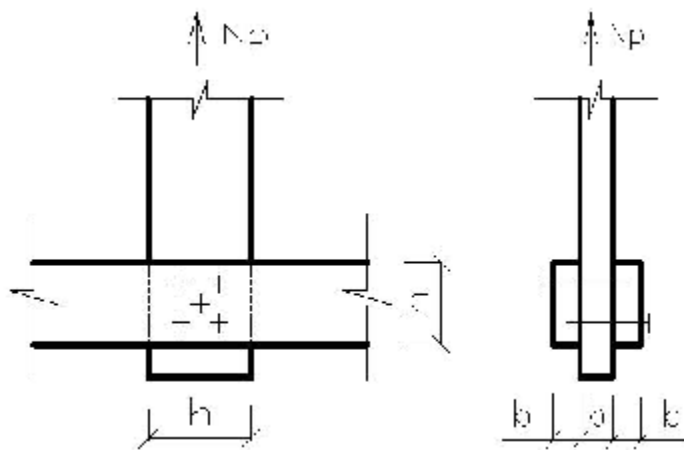


Рис.12 Гвоздевое соединение вертикальной стойки и двух горизонтальных досок

#### 4. Определение требуемых характеристик.

Определяем максимально допустимый диаметр гвоздей по нормам расстановки. Расстановка гвоздей предполагается следующая (рис. 7). 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,  $h = S_3 + S_1 + S_3 = 4d + 15d + 4d = 23d$ . Отсюда максимальный диаметр гвоздя не должен быть больше  $d = h/23 = 150/23 = 6,52$  мм.

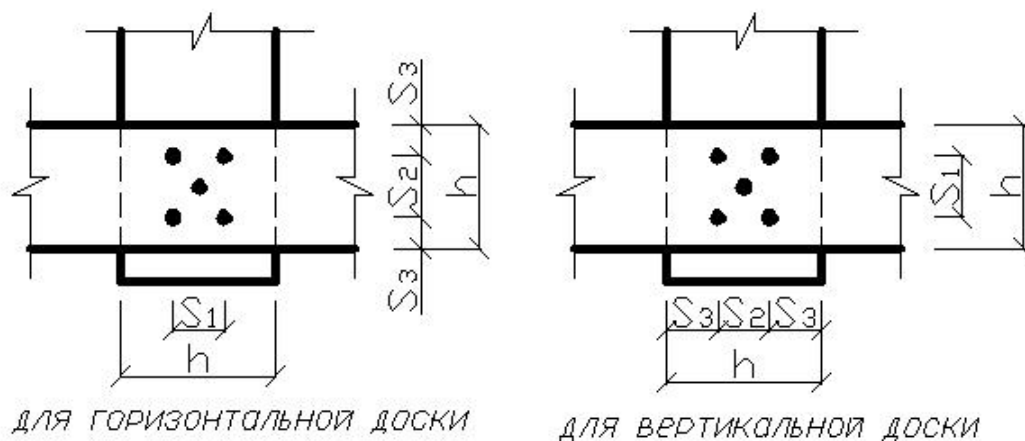


Рис.13. К определению диаметров гвоздей по нормам расстановки

Ближайший, меньший диаметр гвоздя 6 мм. Принимаем гвоздь диаметром 6 мм длиной 200 мм. ( $d=0,6$  см, т.к. в таблице 17 СНиП II-25-80 подставляемые величины толщин и диаметров должны быть выражены в см).

Соединение классифицируется как симметричное, с двумя швами сплачивания ( $n_{ш}=2$ ). Толщина среднего элемента  $b = 50$  мм (в таблице 17 СНиП II-25-80 обозначение толщины среднего слоя принято за «с»), следовательно,  $c=5$  см. Толщина крайнего элемента определяется по расчетной длине защемления конца гвоздя (в таблице 17 СНиП II-25-80 обозначение толщины крайнего слоя принято за «а»). Общая толщина пробиваемого пакета равна 154 мм (см. рис. 14.). Длина принятого гвоздя 200 мм. Следовательно, гвоздь пробивает пакет насквозь. Расчетная длина защемления конца гвоздя равна толщине доски ( $b$ ) минус длина заостренной части гвоздя ( $1,5d$ ).

$$a = b - 1,5d = 50 - 9 = 48 \text{ мм}$$

Это больше минимальной расчетной длины защемления конца гвоздя ( $4d=4*6=24$  мм), следовательно, этот крайний элемент будет участвовать в работе соединения.

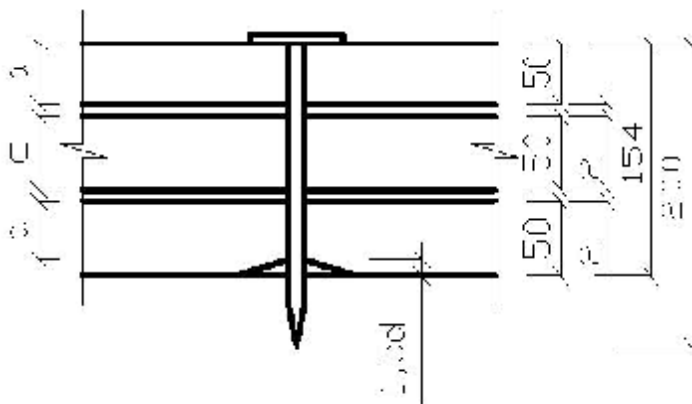


Рис.14. К определению расчетной длины защемления конца гвоздя

Несущая способность одного шва гвоздя равна (таблица 17 СНиП II-25-80):

- по изгибу гвоздя  $T_u^0 = 250*d^2 + a^2 = 250*0,6^2 + 5^2 = 115$  кг; но не более  $400*d^2 = 400*0,6^2 = 144$  кг.

- по смятию крайнего элемента  $T_{см}^{0кр} = 80*a*d = 80*4,8*0,6 = 230$  кг;

- по смятию среднего элемента  $T_{см}^{0сп} = 50*c*d = 50*5*0,6 = 150$  кг.

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

- по изгибу гвоздя  $T_u = T_u^0 * \sqrt{m_n * m_e} = 115 * \sqrt{0,8 * 0,85} = 94,8$  кг ;

- по смятию крайнего элемента  $T_{см}^{кр} = T_{см}^{0кр} * m_n * m_e = 230 * 1,0 * 0,85 = 195,5$  кг (здесь учтено, что крайний элемент сминается поперек волокон, т.е  $m_n=1,0$ );

- по смятию среднего элемента  $T_{с.м}^{ср} = T_{с.м}^{0ср} * m_n * m_в = 150 * 0,8 * 0,85 = 102$  кг (здесь учтено, что средний элемент сминается вдоль волокон, т.е  $m_n = 0,8$ ).

Расчетная несущая способность – наименьшее значение из приведенных трех

$$T = T_{мин} = 94,8 \text{ кг.}$$

Требуемое количество болтов в половине стыка

$$n = N / (T * n_{шт}) = 800 \text{ кг} / (94,8 \text{ кг} * 2) = 4,22 \text{ шт.}$$

Принимаем 5 гвоздей в стыке размерами 200х6 мм.

5. Вывод: Принимаем гвозди 200х6 в количестве 5 шт. размещение гвоздей показано на рис. 12.

Исходные данные для самостоятельного решения

Подобрать размер и число гвоздей, требуемых для крепления вертикальной доски сечением bхh (см), в которой действует продольная растягивающая сила Np, к двум горизонтальным доскам такого же сечения (см. рис.12.).

Таблица 12

Исходные данные для самостоятельного решения по занятию №6

Номер варианта	Np (кг)	сечение (см)		Материал		Условия эксплуатации	
		b	h	порода	сорт		
1	800	5	15	лиственница	1	на открытом воздухе	в сухой зоне
2	900	6	15	лиственница	2		в нормальной зоне
3	1000	7	15	лиственница	3		в нормальной зоне
4	600	8	15	лиственница	1		во влажной зоне
5	500	4	15	лиственница	2		во влажной зоне
6	900	4	15	береза	1		в сухой зоне
7	1000	5	15	береза	2		в сухой зоне
8	1100	5	18	береза	3		в сухой зоне
9	1200	4	18	береза	1		в нормальной зоне
10	1300	3	18	береза	2		в нормальной зоне
11	1400	3	20	дуб	3		во влажной зоне
12	1200	4	20	дуб	2		во влажной зоне
13	1000	5	20	дуб	3		во влажной зоне
14	800	4	16	дуб	1		во влажной зоне
15	900	4	15	дуб	2		во влажной зоне
16	700	5	16	сосна	1	внутри неотапливаемых помещений	в сухой зоне
17	800	6	16	сосна	2		в сухой зоне
18	900	7	16	сосна	3		в нормальной зоне
19	1000	8	16	сосна	1		в нормальной зоне
20	1100	4	16	сосна	2		в нормальной зоне
21	1200	4	14	ель	1	внутри отапливаемых помещений при температуре до 35°C, относительной влажности воздуха	до 60%
22	500	5	14	ель	2		до 60%
23	600	3	14	ель	2		до 60%
24	700	2	15	ель	1		свыше 60, до 75%
25	800	3	15	ель	3		свыше 60, до 75%
26	1200	4	14	пихта	1		до 60%
27	500	5	14	пихта	2		до 60%
28	600	3	14	пихта	2		до 60%
29	700	2	15	пихта	1		свыше 60, до 75%
30	800	3	15	пихта	3		свыше 60, до 75%

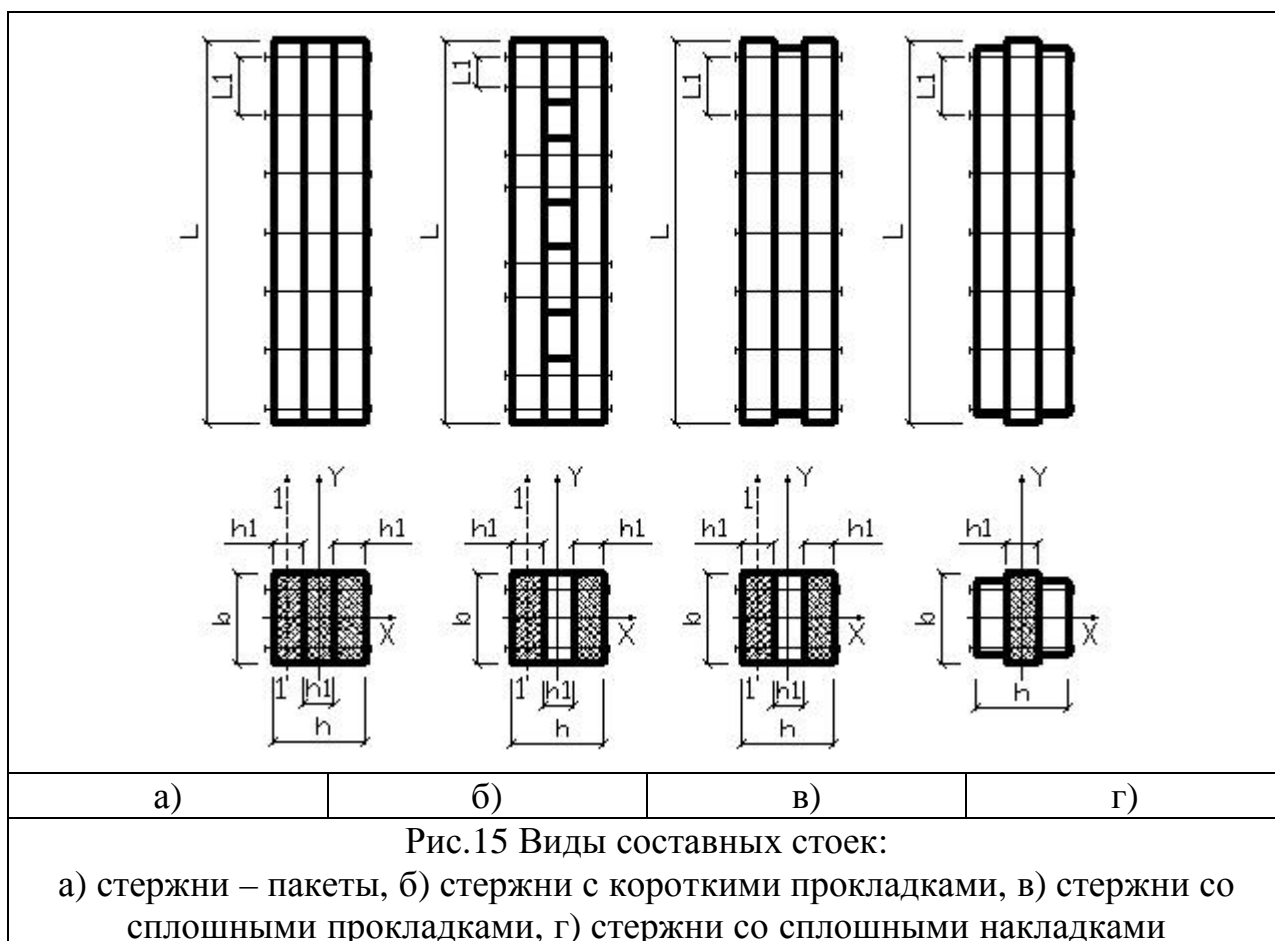
## Занятие № 7

### Тема: Расчет составных стоек.

В связи с ограниченностью сортамента пиломатериалов возникает ситуация, когда требуемое сечение стойки превышает максимальные размеры цельных брусьев, выпускаемых промышленностью. В этом случае сечения стойки составляется из нескольких параллельно расположенных ветвей, соединенных между собой по длине различными связями (цилиндрические нагели, это 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. 14):



- стержни-пакеты, состоящие из ветвей равной длины, одинаково нагруженных сжимающей силой (рис. 14а);

- стержни с короткими прокладками (рис. 14б);
- 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. 14в, г).

Проверка несущей способности составного сечения аналогична проверке несущей способности целого сечения

$$\sigma = N/(j F_{расч}) \leq R_c .$$

Различие имеется в определении гибкости:

- для оси перпендикулярной плоскости сдвига (сплачивания) “х” гибкость определяется, как для элемента целого сечения  $I_x = l_0/r_x$ ;
- для оси параллельной плоскости сдвига “у” определяется приведенная гибкость, учитывающая податливость соединений

$$I_{np} = \sqrt{(m_y * I_y)^2 + I_1^2} , \text{ формула 11 СНиП}$$

где  $I_y$  – гибкость цельного сечения стержня с расчетной длиной  $l_0$  без учета податливости соединений относительно оси “у”;

$I_1$  – гибкость отдельной ветви относительно её центральной оси 1-1 (рис. 15) с расчетной длиной ветви  $l_1$  ( при  $l_1 < 7$  толщин ветви  $h_1$  принимают  $I_1 = 0$ );

$$m_y = \sqrt{1 + k_c \frac{b * h * n_{ш}}{l_0^2 * n_c}} - \text{коэффициент приведения гибкости.}$$

Здесь  $k_c$  – коэффициент податливости соединений (таблица 12 СНиП II-25-80);

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

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

$l_0$  – расчетная длина элемента (в м);

$n_c$  – расчетное количество срезов связей в одном шве на 1 погонный метр элемента.

По вычисленным гибкостям определяют коэффициенты продольного изгиба  $j_y$  и  $j_x$  обычным образом

- при гибкости элемента  $I \leq 70$   $j = 1 - 0,8(I/100)^2$ ;
- при гибкости элемента  $I > 70$   $j = 3000/(I)^2$ ,

и затем находят минимальный  $j_{min}$  из двух  $j_x$  и  $j_y$ .



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) $J_x = J_x$ (считая сечение как целое) $r_y = \sqrt{\frac{J_y}{F}}$ $r_x = \sqrt{\frac{J_x}{F}}$	$J_y = J_o + J_{н.о}$ $J_x = J_o + 0,5 J_{н.о}$ $J_o$ – момент инерции опертых ветвей, $J_{н.о}$ – момент инерции не опертых ветвей $r_y = \sqrt{\frac{J_y}{F_o}}$ $r_x = \sqrt{\frac{J_x}{F_o}}$ $F_o$ – расчетная площадь сечения только опертых ветвей

### Пример

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, расположенных в два ряда с шагом  $l_1 = 50$  см. Стойка имеет длину  $l=2,8$  м с шарнирным опиранием по обоим концам. Материал – пихта 2-го сорта. Условия эксплуатации - на открытом воздухе во влажной зоне.

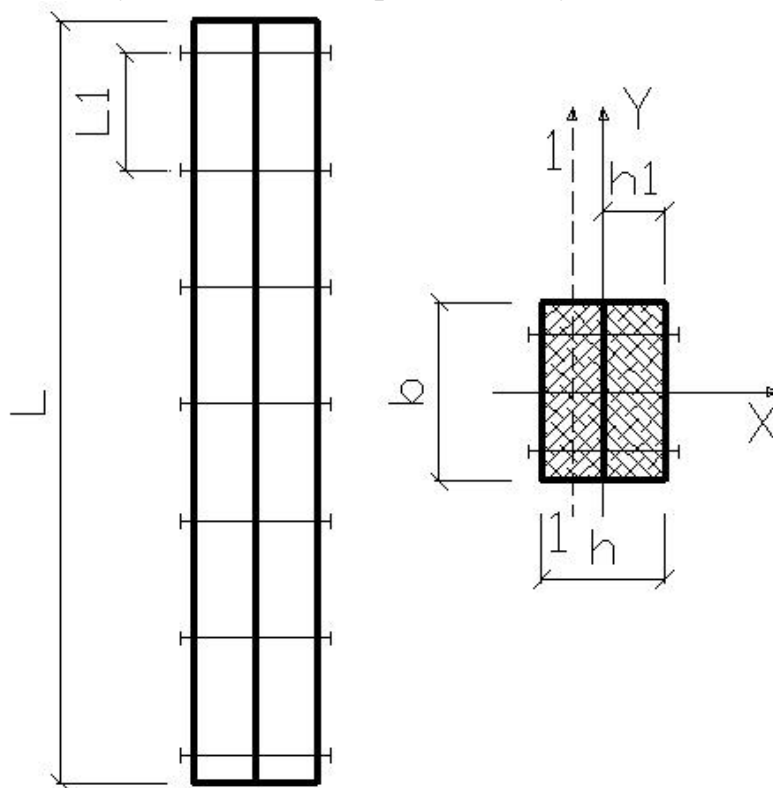


Рис.16 Составная стойка

### Решение

1. Определение всех необходимых коэффициентов и расчетных сопротивлений

Учет температурно-влажностных условий эксплуатации конструкции.

По таблице 1 определяем температурно-влажностные условия эксплуатации конструкции. Наши исходные данные соответствуют температурно-влажностным условиям эксплуатации В3. По таблице 5 для условий эксплуатации В3 определяем коэффициент  $m_b = 0,85$ .

Учет породы древесины.

По таблице 4 для пихты и для напряженного состояния - сжатие определяем коэффициент  $m_{п} = 0,8$ .

По таблице 3 определяем расчетное сопротивление сжатию сосны, ели, лиственницы 2-го сорта (п. 1а)  $R_c = 13 \text{ МПа}$  ( $130 \text{ кг/см}^2$ ).

2. Определение расчетного сопротивления заданной породы древесины и температурно-влажностных условий эксплуатации.

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

$$R_c = 13 * 0,85 * 0,8 = 8,84 \text{ МПа} (88,4 \text{ кг/см}^2).$$

4. Вычисление геометрических характеристик для заданного сечения элемента.

Определяем геометрические характеристики как для целого сечения.

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

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

$$F_{расч} = F_{бр} = h * b = 20 * 13 = 260 \text{ см}^2,$$

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

$$I_y = l_0 / r_y = 280 / 5,77 = 48,53, \quad I_x = l_0 / r_x = 280 / 3,75 = 74,67.$$

Учитываем податливость соединения:

$$l_1 = 50 \text{ см}, \text{ это меньше } 7 * h_1 = 7 * 10 = 70 \text{ см}, \text{ следовательно } I_1 = 0.$$

По таблице 12 СНиП II-25-80 определяем  $k_c = 1 / (5 * d^2) = 1 / (5 * 1,2^2) = 0,139$ , учитывая что  $d = 1,2 \text{ см} < 1,43 = (1/7) * h_1$ .

$n_{ш} = 1$  один шов, 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).

$$l_0 = 2,8 \text{ м}.$$

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

$$\text{Приведенная гибкость } I_y = I_{np} = \mu * I_{ц} = 1,467 * 48,53 = 71,19.$$

$$j_y = 3000 / (I_y)^2 = 3000 / (71,19^2) = 0,59, \quad j_x = 3000 / (I_x)^2 = 3000 / (74,67^2) = 0,538,$$

$$j_{min} = 0,538.$$

Несущая способность составной стойки

$$N = j_{\min} * F_{\text{расч}} * R_c = 0,538 * 260 * 88,4 = 12365,39 \text{ кг.}$$

8. Вывод: Несущая способность составной стойки равна 12365,39 кг.

Исходные данные для самостоятельного решения

Определить несущую способность шарнирно-закрепленной деревянной стойки составного сечения длиной L. Сечение стойки - два бруса толщиной h1 и шириной b. Брусья соединены болтами диаметром d расположенные с шагом L1 в два ряда( см. рис.16).

Таблица 13

Исходные данные для самостоятельного решения по занятию №7

Номер варианта	L (м)	сечение (см)		Болты		Материал		Условия эксплуатации	
		b	h1	L1 шаг (см)	d диаметр (см)	порода	сорт		
1	5	10	5	50	1.2	сосна	3	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
21	3	15	5	50	1.2	пихта	1		в сухой зоне
22	3.5	17.5	6	50	1.4	пихта	3		в сухой зоне
23	4	20	7.5	50	1.6	пихта	2		в сухой зоне
24	4.5	22.5	10	50	2	пихта	1		в сухой зоне
25	5	10	12.5	50	1.2	пихта	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	

### Занятие № 8

Тема: Расчет составных балок.

Ограниченность сортамента пиломатериалов приводит к необходимости выполнять сечение балки из нескольких брусьев соединенных между собой.

Балки, составленные из 2-х – 3-х брусьев и соединенные пластинчатыми деревянными нагелями называют балками Деревягина (рис. 17). Пролет таких балок не превышает 6,5 м, так как соединение по длине не допускается. Промышленность выпускает 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  $b_{пл} = b$ , при  $b > 150$  мм  $b_{пл} = 0,5b + 0,3l_{пл}$ .

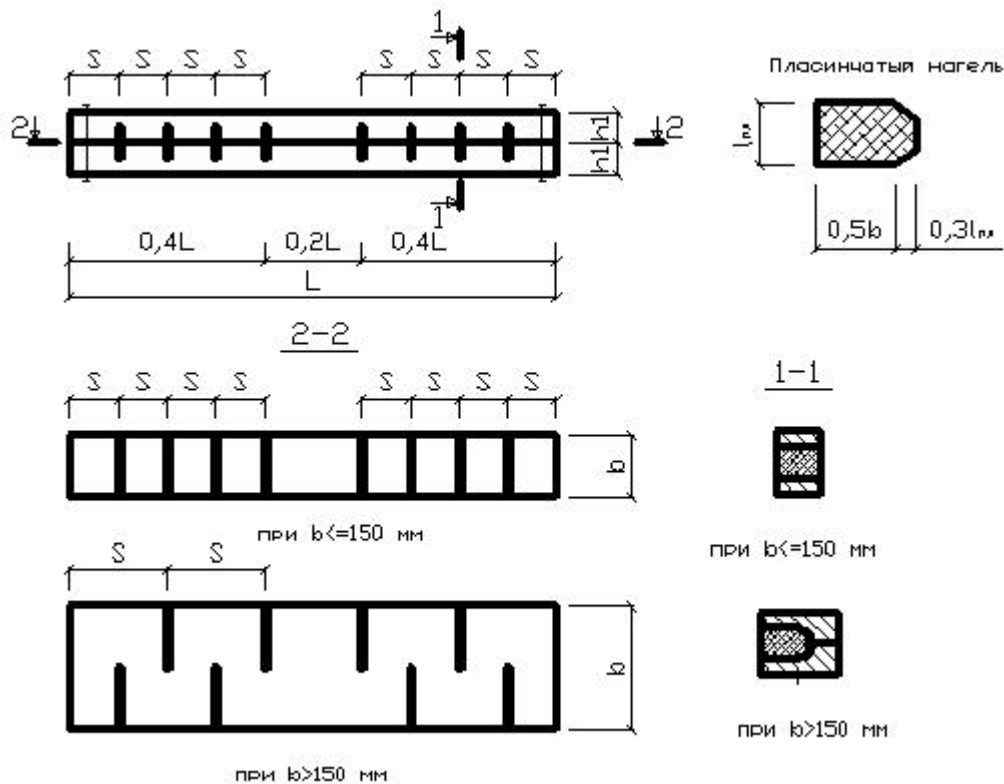


Рис.17 Составная балка (балка Деревягина)

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, определяемого по формуле

$$T_{пл} = 0,75 \cdot b_{пл} \text{ (в кН) или } T_{пл} = 75 \cdot b_{пл} \text{ (в кг).}$$

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 рис. 17. 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.

$$f/l \in [f/l]$$

$f/l = (5 \cdot q^H \cdot l^3) / (384 \cdot E \cdot J \cdot k_{ж})$ ,  $[f/l]$  – допускаемый относительный прогиб балок (таблица 16 СНиП II-25-80).

### Пример

Расчитать составную балку из двух брусьев длиной 5 м под равномерно распределенную расчетную погонную нагрузку  $q=300$  кг/м, нормативная погонная нагрузка  $q^H=240$  кг/м. Ширина бруса  $b=15$  см. Материал – сосна 2-го сорта. Условия эксплуатации – внутри не отапливаемого помещения в нормальной зоне.

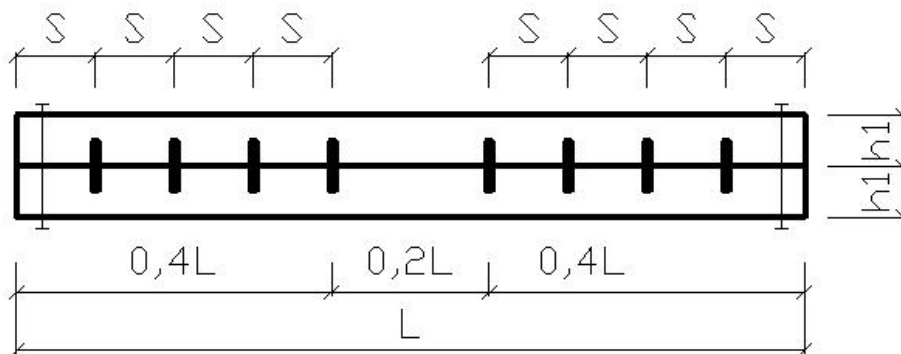


Рис.18. Составная балка

### Решение

1. Определение всех необходимых коэффициентов и расчетных сопротивлений

Учет температурно-влажностных условий эксплуатации конструкции.

По таблице 1 определяем температурно-влажностные условия эксплуатации конструкции. Наши исходные данные соответствуют температурно-влажностным условиям эксплуатации Б2. По таблице 5 для условий эксплуатации Б2 определяем коэффициент  $m_B = 1,0$ .

Учет породы древесины.

По таблице 3 определяем расчетное сопротивление изгибу для сосны, ели, 2-го сорта (п. 1а)  $R_u = 13 \text{ МПа}$  ( $130 \text{ кг/см}^2$ ).

По таблице 13 СНиП II-25-80 определяем коэффициент  $k_w=0,875$  в зависимости от пролета и числа слоев в элементе. В нашем случае балка состоит из двух брусьев – два слоя и пролет 5 м (производим интерполяцию между значениями 0,85 для пролета 4 м и 0,9 для пролета 6 м).

Аналогично определяем коэффициент  $k_{ж}=0,7$  по таблице 13 в зависимости от пролета и числа слоев в элементе. В нашем случае балка состоит из двух брусьев – два слоя и пролет 5 м (производим интерполяцию между значениями 0,65 для пролета 4 м и 0,75 для пролета 6 м).

2. Определение расчетного сопротивления заданной породы древесины и температурно-влажностных условий эксплуатации.

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

$$R_u = 13 * 1,0 = 13,0 \text{ МПа} (130 \text{ кг/см}^2).$$

3. Вычисляем максимальный изгибающий момент  $M_{\max} = q * l^2 / 8 = 300 * 5^2 / 8 = 937,5 \text{ кг*м} = 93750 \text{ кг*см}$ .

4. Вычисление требуемых геометрических характеристик для сечения элемента.

Определяем геометрические характеристики как для целого сечения.

$$J_x = (b * h^3) / 12 = (15 * 20^3) / 12 = 10000 \text{ см}^4,$$

$$W_{mp} = M_{\max} / (R_u * k_w) = 93750 / (130 * 0,875) = 824,175 \text{ см}^3.$$

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

$$h = \sqrt{\frac{6 * W_{mp}}{b}} = \sqrt{\frac{6 * 824,175}{15}} = 18,15 \text{ см}.$$

Принимаем сечение балки из двух брусьев  $b * h_1 = 15 * 10$  см.

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

Несущая способность одного пластинчатого нагеля будет равна  $T_{пл} = 75 * b_{пл} = 15 * 15 = 1125$  кг.

Количество необходимых нагелей определим из соотношения

$$n_{пл} = 1,8 * M_{\max} / (h * T_{пл}) = 1,8 * 93750 / (20 * 1125) = 7,5 \text{ шт}.$$

Принимаем количество пластинчатых нагелей  $n_{пл} = 8$  шт (четное число большее необходимого числа нагелей).

Проверяем возможность размещения этого числа нагелей на балке. На длине  $0,4L$  должно уместиться 4 нагеля с шагом не менее  $S = 9 * \delta_{пл}$ , т.е.

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

Таким образом, на опорном участке может разместиться требуемое число пластинчатых нагелей с шагом  $0,4L / 4 = 0,4 * 500 / 4 = 200 / 4 = 50$  см.

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

$$f/l = (5q^{\#}l^3) / (384EJk_{жс}) = (5 * 240 * 5^3 * 10^4) / (384 * 100000 * 10000 * 0,7) = 1/204,8.$$

$f/l = 1/204,8 < 1/200 = [f/l]$ . Здесь  $[f/l] = 1/200$  (для балок чердачных перекрытий, таблица 16 п. 2).

8. Вывод: Составная балка должна быть выполнена из двух брусьев, сечением 15x10 каждый, и соединенных 8-ю пластинчатыми нагелями с шагом 50 см.

Исходные данные 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  $q^H$ , расчетную погонную - q. Материал и условия эксплуатации указаны в таблице.

Таблица 14

Исходные данные для самостоятельного решения по занятию №8

Номер вар-та	Нагрузка (кг/м)		Пролет (м)	Ширина (см)	Материал		Условия эксплуатации	
	$q^H$	q			порода	сорт		
1	300	210	5	10	береза	1	на открытом воздухе	в сухой зоне
2	210	150	5.2	12.5	береза	1		в сухой зоне
3	230	170	5.4	15	береза	2		в сухой зоне
4	380	320	5.6	17.5	береза	3		в сухой зоне
5	320	250	5.2	12.5	береза	2		в нормальной зоне
6	340	300	5.4	15	береза	3		в нормальной зоне
7	300	210	5.4	20	береза	1		в нормальной зоне
8	300	210	5.6	22.5	береза	2		в нормальной зоне
9	280	180	5.6	17.5	береза	1		во влажной зоне
10	250	150	6.2	20	береза	2		во влажной зоне
11	390	350	6.2	25	дуб	3		во влажной зоне
12	300	210	5.4	10	дуб	2		во влажной зоне
13	280	210	6	12.5	дуб	3		во влажной зоне
14	220	170	5.4	15	дуб	1		во влажной зоне
15	290	220	5.2	17.5	дуб	2		во влажной зоне
16	210	170	6	22.5	пихта	1	внутри неотапливаемых помещений	в сухой зоне
17	250	200	6.2	25	пихта	2		в сухой зоне
18	510	480	5	10	пихта	3		в нормальной зоне
19	340	270	5.2	12.5	пихта	1		в нормальной зоне
20	370	310	5.4	15	пихта	2		в нормальной зоне
21	380	340	5.6	17.5	липа	1	внутри отапливаемых помещений при температуре до 35°C, относительной влажности воздуха	до 60%
22	360	300	6.2	20	липа	2		до 60%
23	230	180	6	22.5	липа	2		до 60%
24	380	340	5.6	17.5	пихта	1		до 60%
25	360	300	6.2	20	пихта	2		до 60%
26	230	180	6	22.5	пихта	2		до 60%
27	250	190	6.2	25	липа	1		свыше 60, до 75%
28	320	270	5.8	10	липа	3		свыше 60, до 75%
29	250	190	6.2	25	пихта	1		свыше 60, до 75%
30	320	270	5.8	10	пихта	3		свыше 60, до 75%

Приложения

Таблица 1

Площади сечений стандартных пиломатериалов по ГОСТ 24454-80\* (см<sup>2</sup>)

Толщина (мм)	Ширина (мм)								
	75	100	125	150	175	200	225	250	275
16	12	16	20	24	-	-	-	-	-
19	14.25	19	23.75	28.5	33.25	-	-	-	-
22	16.5	22	27.5	33	38.5	44	49.5	-	-
25	18.75	25	31.25	37.5	43.75	50	56.25	62.5	68.75
32	24	32	40	48	56	64	72	80	88
40	30	40	50	60	70	80	90	100	110
44	33	44	55	66	77	88	99	110	121
50	37.5	50	62.5	75	87.5	100	112.5	125	137.5
60	45	60	75	90	105	120	135	150	165
75	56.25	75	93.75	112.5	131.25	150	168.75	187.5	206.25
100	-	100	125	150	175	200	225	250	275
125	-	-	156.25	187.5	218.75	250	281.25	312.5	-
150	-	-	-	225	262.5	300	337.5	375	-
175	-	-	-	-	306.25	350	393.75	437.5	-
200	-	-	-	-	-	400	450	500	-
250	-	-	-	-	-	-	-	625	-



## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к практическим занятиям по курсу  
«Конструкции из дерева и пластмасс»  
для студентов спец. 291500.

Составители:	Михаил Анатольевич Дымолазов Геннадий Николаевич Шмелев
Редактор:	В.В. Попова
Корректор:	
Рецензент:	Дтн, профессор Кузнецов И.Л.

---

Подп. к печ.		Формат 60x84/16
Заказ	Печать офсетная	Уч. изд. л. 2,0
Тираж	Бумага тип №2	Уч. печ. л. 2,0

---

Печатно-множительный отдел ФГОУ ВПО Казанского  
государственного архитектурно-строительного университета  
Лицензия ПД № 0229 от 26.12.2000 г.  
420043, Казань, Зеленая 1.