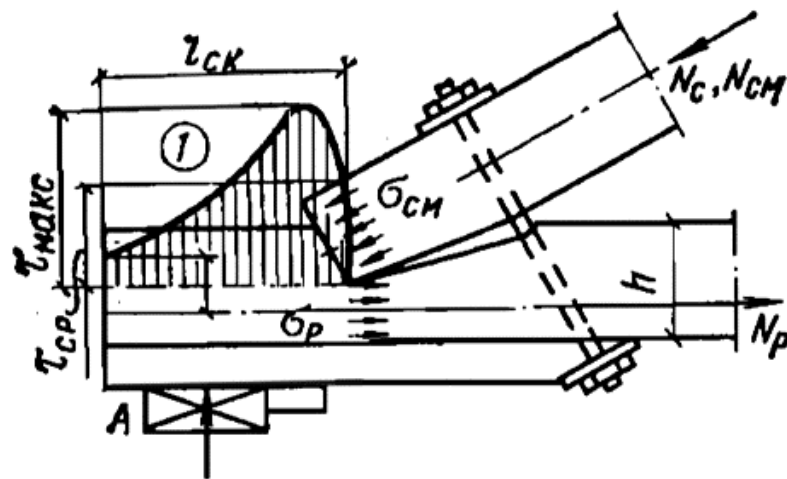
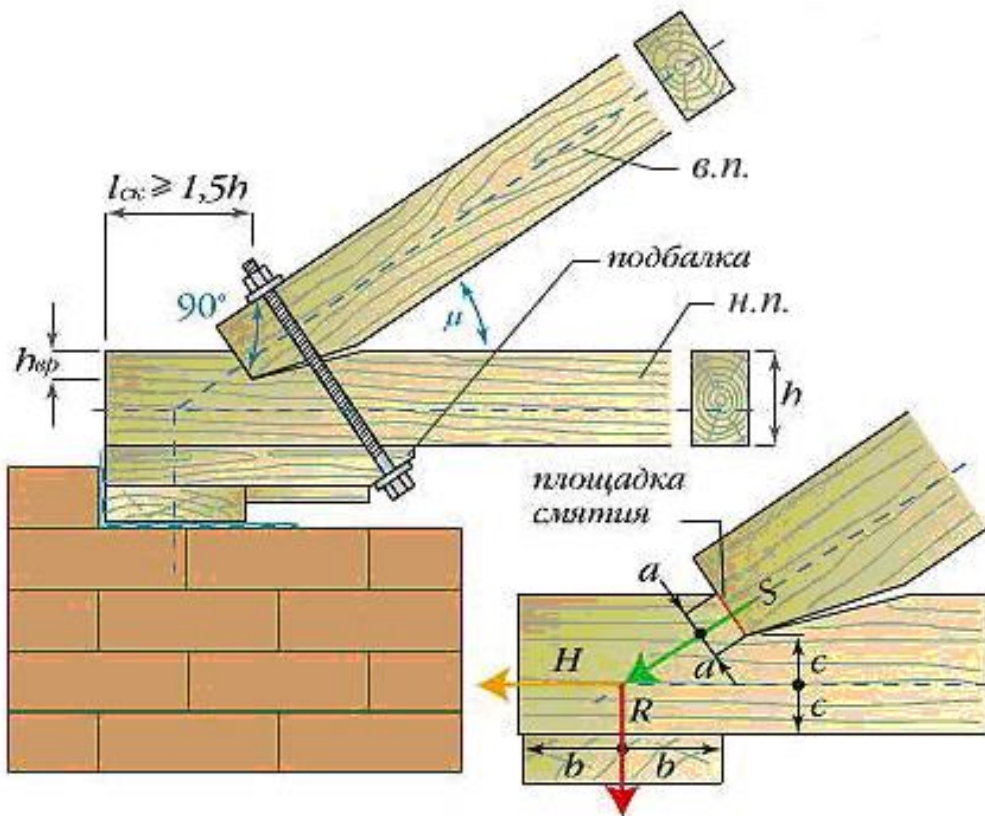


Г.Н. Шмелев М.А. Дымолазов

# Деревянные конструкции. Примеры расчетов элементов

Учебно-методическое пособие



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-  
СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**Г.Н. Шмелёв, М.А. Дымолазов**

**ДЕРЕВЯННЫЕ КОНСТРУКЦИИ  
ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ЭЛЕМЕНТОВ**

Учебно-методическое пособие

Казань  
2018

УДК 624.011.1  
ББК 38.55  
Ш72

**Шмелёв Г.Н., Дымолазов М.А.**

Ш72 Деревянные конструкции. Примеры расчета элементов : Учебно-методическое пособие / Г.Н. Шмелёв, М.А. Дымолазов.– Казань: Изд-во Казанск. гос. архитектур.-строит. ун-та, 2018.– 96 с.

В пособии представлены основы расчёта и примеры с индивидуальными заданиями наиболее применяемых, в том числе и в учебном процессе (КП, ВКР), элементов и конструкций ДК. В приложениях приведены индивидуальные задания по каждому из восьми практических занятий, необходимые справочные данные из СП и других источников для выполнения расчёта. Пособие будет использовано студентами строительных специальностей, направлений подготовки 08.03.01, 08.04.01, 08.05.01 на практических занятиях, в курсовом, дипломном проектировании.

Библиогр. 3 наименов.

Печатается по решению Редакционно-издательского совета Казанского государственного архитектурно-строительного университета

Рецензенты:

Директор Института строительства и архитектуры Поволжского государственного технологического университета

**В.Г. Котлов**

Доктор технических наук, профессор кафедры МК и ИС КГАСУ

**И.Л. Кузнецов**

УДК 624.011.1  
ББК 38.55

© Казанский государственный архитектурно-строительный университет, 2018

© Шмелёв Г.Н., Дымолазов М.А., 2018

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Занятие № 1. Знакомство со Сводом правил СП 64.13330.2017 (СНиП II-25-80* «Деревянные конструкции»)	4
Занятие № 2. Расчет центрально-растянутого элемента	8
Занятие № 3. Расчет центрально-сжатого элемента	12
Занятие № 4. Расчет изгибаемых элементов	16
Занятие № 5. Расчет соединений элементов деревянных конструкций. Лобовые и конструктивные врубки	29
Занятие № 6. Расчет соединений элементов деревянных конструкций. Нагельные соединения (цилиндрические нагели)	39
Занятие № 7. Расчет составных стоек	47
Занятие № 8. Расчет составных балок	52
Список использованной литературы	58
Приложение 1	59
Приложение 2	75
Приложение 3	95

## Занятие № 1

### Тема: Знакомство со сводом правил СП 64.13330.2017

#### 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 этой главе свода 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, 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 по формуле:

$$R^p = R^A \cdot m_{дл} \cdot \Pi m_i, \quad (1.1)$$

где  $R^A$  – расчетное сопротивление древесины, МПа, приведенное в таблице 3 [1] или таблице 2.1 приложения 2 пособия, влажностью 12% для режима нагружения А, согласно таблице 4 [1] или таблице 2.2 приложения 2 пособия, в сооружениях 2-го класса функционального назначения, согласно приложению А, таблице А3 [1] или таблице 2.11 приложения 2 пособия, при сроке эксплуатации не более 50 лет;

$m_{дл}$  – коэффициент длительной прочности, соответствующий режиму длительности загрузки (таблица 4 [1] или таблица 2.2 приложения 2 пособия);

$\Pi m_i$  – произведение коэффициентов условия работ (п.6.9) [1] и п.1.2.2 пособия.

Расчетные сопротивления для других пород древесины устанавливают путем умножения величин, приведенных в таблице 3 [1] или таблице 2.1

приложения 2 пособия, на переходные коэффициенты  $m_{п}$ , указанные в таблице 5 [1] или таблице 2.3 приложения 2 пособия.

### 1.2.2. Коэффициенты условия работы

При определении расчетного сопротивления в соответствующих случаях следует применять коэффициенты условий работы:

а) Для различных условий эксплуатации конструкции – коэффициент  $m_b$ , указанный в таблице 9 [1] или таблице 2.4 приложения 2 пособия.

Класс условий эксплуатации определяется по таблице 1 [1] и таблице 2.5 (по известной влажности) приложения 2 пособия. Дополнительные характеристики условий эксплуатации, кроме влажности по классам ДК, приведены в таблице А2 приложения А [1] или таблице 2.6 приложения 2 пособия.

б) Для конструкций, эксплуатируемых при установившейся температуре воздуха до  $+35^{\circ}\text{C}$ , – на коэффициент  $m_t = 1$ ; при температуре  $+50^{\circ}\text{C}$  – на 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 – на коэффициент  $m_{\sigma}$ , указанный в таблице 10 [1] или таблице 2.7 приложения 2 пособия.

г) Для растянутых элементов с ослаблением в расчетном сечении и изгибаемых элементов из круглых лесоматериалов с подрезкой в расчетном сечении – на 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 – на коэффициент  $m_{сл}$ , указанный в таблице 11 [1] или таблице 2.8 приложения 2 пособия.

ж) Для гнутых элементов конструкций значения расчетных сопротивлений растяжению, сжатию и изгибу – на коэффициент  $m_{гн}$ , указанный в таблице 12 [1] или таблице 2.9 приложения 2 пособия.

и) В зависимости от срока службы – на коэффициент  $m_{с.с}$ , указанный в таблице 13 [1] или таблице 2.10 приложения 2 пособия; примерные сроки службы сооружений приведены в таблице А3 [3] и таблице 2.11 приложения 2 пособия.

к) Для смятия поперек волокон при режимах нагружения Г – К (таблица 4) – на  $m_{с.м} = 1,15$ .

По функциональному назначению деревянные конструкции (ДК) подразделяют на классы, с учетом уровня ответственности зданий и сооружений согласно ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований». Во многом совпадают с классификацией ДК по таблице А1 приложения А [1] или таблице 2.12 приложения 2 пособия. Сравнивая общую характеристику зданий по классам, видим, что 1-й класс ДК соответствует по характеристике классу сооружений КС-3 по ГОСТ 277-51-2014 (таблица 2 и приложение Б [3] или таблица 2.13 приложения 2 пособия), уникальные здания и здания с массовым пребыванием людей, для которых минимальное значение коэффициента надежности по ответственности  $\gamma_n = 1,1$ . Второй класс ДК включает массовые жилые, гражданские и производственные здания и соответствует нормальному уровню ответственности КС-2 с  $\gamma_n = 1$ . Третий класс ДК – это временные здания и сооружения со сроком службы до 10 лет, соответствует классу КС-1 с  $\gamma_n = 0,8$ .

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

Совместное действие нескольких факторов учитывается соответствующими коэффициентами условий работы:

$$R^p = R^A \cdot m_{дл} \cdot m_{п} \cdot m_{в} \cdot m_{т} \cdot m_{б} \cdot m_{о} \cdot m_{сл} \cdot m_{ГН} \cdot m_{а} \cdot m_{с.с} \cdot m_{ем} / \gamma_n, \quad (1.2)$$

здесь  $R^p$  – расчетное сопротивление древесины с учетом эксплуатационных факторов, срока службы и класса по ответственности сооружения;

$R^A$  – базовое расчетное значение по таблице 3 [1] или таблице 2.1 приложения 2 пособия.

### 1.2.3. Расчетный модуль упругости древесины

Расчетный модуль упругости (модуль сдвига) древесины и древесных материалов при расчете по предельным состояниям 2-й группы  $E^II$  ( $G^II$ ) следует вычислять по формуле:

$$E^II (G^II) = E_{cp} (G_{cp}) m_{дл,Е} Пm_i, \quad (1.3)$$

где  $E_{cp}$  – средний модуль упругости при изгибе, Мпа, согласно приложению В [1], таблице В3 или таблице 2.14 приложения 2 пособия;

$m_{дл,Е}$  – коэффициент для упругих характеристик, для режима нагружения Б (таблица 4[1] или таблица 2.2 приложения 2 пособия) принимают равным 0,8; для остальных режимов нагружения – 1;

$Пm_i$  – произведение коэффициентов условия работ [6.9а), 6.9б) и 6.9и)] [1]. ( $m_B, m_T, m_{c,c}$ )

### 1.3. Пример

Определить расчетное сопротивление растяжению вдоль волокон бруса из березы 2-го сорта 2-этажного здания, эксплуатирующегося под навесом в нормальной зоне влажности.

Решение:

1. По таблице 3 [1] или таблице 2.1 приложения 2 пособия определяем базовое расчетное сопротивление сосны 2-го сорта по п. 2а:

$$R_p^A = 10,5 \text{ МПа} .$$

2. Коэффициент  $m_{дл}$  определяем по таблице 4[1] или по таблице 2.2 приложения 2 пособия при режиме загрузки «В» от совместного действия постоянной и кратковременной снеговой нагрузок, т.к. брус находится на кровле дома:

$$m_{дл} = 0,66 .$$

3. Поскольку таблица 3 [1] составлена для сосны и ели, то остальные породы древесины корректируется по прочности с помощью коэффициента  $m_{II} = 1,1$  для березы, работающей на растяжение (таблица 5 [1] или таблица 2.3 приложения 2 пособия).

4. Коэффициент  $m_e$  определяется по таблице 9 [1] и таблице 2.4 приложения 2 пособия при известной влажности древесины или, как в нашем случае, по дополнительным характеристикам условий эксплуатации по таблице А2 приложения А [1] или таблице 2.6 приложения 2 пособия, п. 3.2, под навесом в нормальной зоне влажности  $m_e = 0,85$  для 3-го класса по таблице 9 [1] и таблице 2.4 приложения 2 пособия.



5. Учет ослаблений сечения в растянутом элементе производим согласно п. 6.9г [1] и п.1.2.2 пособия:  $m_o = 0,8$ .

6. Учет срока службы производится по таблице 13 [1] и таблице 2.10 приложения 2 пособия. Примерные сроки службы сооружений приведены в таблице А.3 приложения А [1] или таблице 2.11 приложения 2 пособия. Наше 2-этажное здание относится к массовым сооружениям сроком службы, равным 50 лет, тогда  $m_{c.c} = 1$ .

7. Согласно ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований» (табл.13) и п. 1.2.2 (табл.2.13) пособия рассматриваемое здание относится ко второму (нормальному) уровню ответственности КС-2, включающему массовые жилые, гражданские и производственные здания, с коэффициентом  $\gamma_n = 1$ .  
 $R^p = R^A \cdot m_{дл} \cdot m_{п} \cdot m_o \cdot m_{c.c} / \gamma_n = 10,5 \cdot 0,66 \cdot 1,1 \cdot 0,85 \cdot 0,8 \cdot 1 / 1 = 5,18 \text{ МПа} (51,8 \text{ кГ} / \text{см}^2)$ .

Далее самостоятельно определяем расчетное сопротивление по варианту, номер которого определяется по журналу группы. Исходные данные приведены в приложении 1 к пособию.

## Занятие № 2

### **Тема: Расчет центрально-растянутого элемента**

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

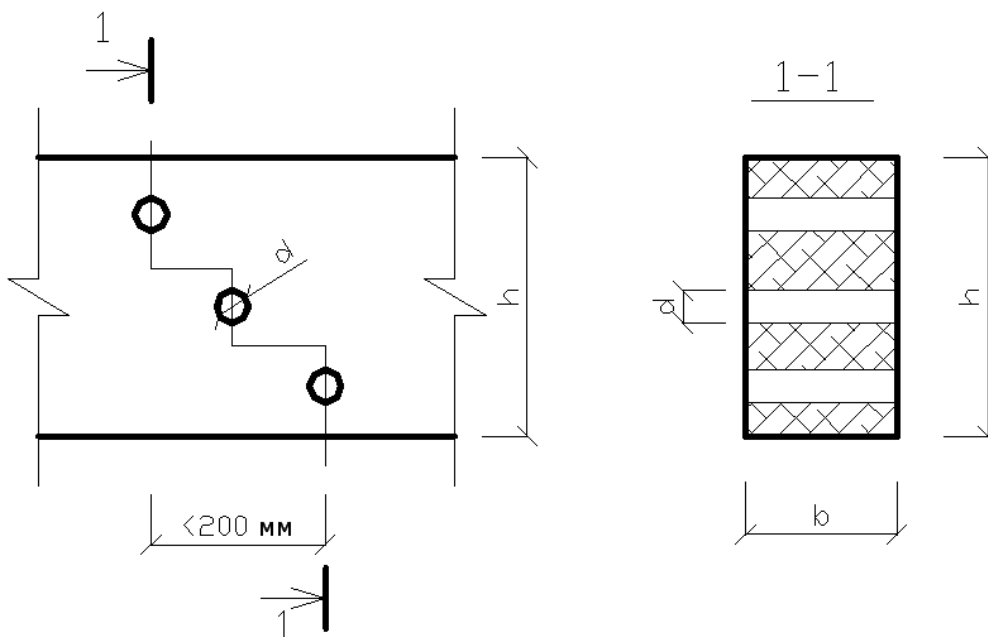
$$\sigma = \frac{N}{F_{нт}} \leq R_p, \quad (2.1)$$

где  $N$  – действующее усилие растяжения в элементе;

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

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

Для центрально-растянутых элементов ослабления, расположенные на участке длиной до 200 мм, совмещают в одном сечении (рис. 2.1).



**Рис. 2.1.** Совмещение ослаблений в сечении растянутого элемента

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

### **Пример**

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 пластине (большой размер сечения). Материал – пихта 2-го сорта. Конструкция эксплуатируется на открытом воздухе с эксплуатационной влажностью до 20%, в режиме нагружения «Г», сроком службы 75 лет и классом надежности по ответственности КС-3.

### Решение:

1. Определение всех необходимых 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 таблице 2.4 приложения 2 пособия (как в данном примере) или по дополнительным характеристикам эксплуатации (табл. А2 приложения А [1] или таблица 2.6 приложения 2 пособия). В нашем примере по эксплуатационной влажности до 20% находим по таблице 1 [1] или

таблице 2.5 пособия класс – 4а. А по таблице 9 [1] или таблице 2.4 пособия  $m_g = 0,85$ .

### **1. Учет породы древесины**

По таблице 5[1] или таблице 2.3 пособия для породы «пихта» и для напряженного состояния «растяжение» определяем коэффициент  $m_n=0,8$ .

По таблице 3 [1] или таблице 2.1 пособия определяем базовое расчетное сопротивление сосны, ели, лиственницы 2-го сорта (п. 2а)  $R_p^A=10,5\text{МПа}$  ( $105\text{ кг/см}^2$ ).

По пункту 6.9 г [1] и п. 1.2.2 пособия для растянутых элементов с ослаблением в расчетном сечении учитываем коэффициент  $m_o=0,8$ .

Коэффициент  $m_{дл}$  определяем по таблице 4 [1] или по таблице 2.2 пособия при режиме загрузки «Г» от совместного действия постоянной и кратковременной ветровой или монтажной нагрузок  $m_{дл}=0,8$ .

Учет срока службы бруса производим по таблице 13 [1] или таблице 2.10 приложения 2 пособия для 75 лет при растяжении вдоль волокон  $m_{c.c.}=0,85$ .

Для класса надежности по ответственности КС-3 согласно таблице 13 ГОСТ 27751-2014 и таблице 2.13 пособия  $\gamma_n=1,1$  окончательно устанавливаем расчетное сопротивление, соответствующее заданной породе (пихта), сорту (2-й сорт), растянутый вдоль волокон элемент с ослаблением в расчетном сечении и условиям эксплуатации (на открытом воздухе с эксплуатационной влажностью до 20%, в режиме нагружения «Г», сроком службы 75 лет и классом надежности по ответственности КС-3), используя найденные коэффициенты:

$$R_p=R_p^A * m_{дл} * m_n * m_g * m_o * m_{c.c.} / \gamma_n = 10,5 * 0,8 * 0,8 * 0,85 * 0,8 * 0,85 / 1,1 = 3,53\text{МПа} \text{ (} 35,3 \text{ кг/см}^2 \text{)}.$$

### **2. Определение требуемых характеристик сечения**

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

$$F_{нт} = \frac{N}{R_p}.$$

Подставляя известные значения, получаем:  $F_{нт}=120\text{кН}/3,53\text{МПа}=120\text{кН}/3530\text{кН/м}^2=0,03399\text{м}^2=339,9\text{ см}^2$ .

### **3. Рассмотрим несколько вариантов назначения размеров $b$ и $h$ :**

3.1. Для выбора из сортамента пиломатериалов (приложение 3, таблица 3.1) необходимого квадратного сечения можно найти длину

стороны квадрата с площадью  $315,1 \text{ см}^2$   $a = \sqrt{F_{нт}} = \sqrt{315,1} = 17,75 \text{ см}$ , и принять брус 20x20 см.

Либо можно выбрать ширину бруса исходя из рекомендованных значений сортаментом (приложение 3, таблица 3.1), например,  $b = 17,5 \text{ см}$ , а затем минимальную высоту сечения бруса  $h = 315,1/17,5 = 18 \text{ см}$ , и уточнить этот размер по сортаменту.

3.2. Формально выбрав по сортаменту толщину элемента, например,  $b = 175 \text{ мм}$ , можем, располагая заданное количество ослаблений у кромки сечения элемента (рис. 2.2), определить минимальную высоту:

$h_{min} = b + n*d$ , а затем назначить  $h$  по сортаменту. В реальном же элементе отверстия могут располагаться внутри сечения, например, как на рис. 2.1.

3.3. Для облегчения выбора в таблице 3.1 приложения 3 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 150x225 ( $337,5 \text{ см}^2$ ) или сечением 200x175 мм ( $350 \text{ см}^2$ ).

#### **4. Вычисление геометрических характеристик для выбранного сечения элемента**

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

$$F_{бр} = 20 \times 17,5 = 350 \text{ см}^2; F_{осл} = 2 \times 1 \times 17,5 = 35 \text{ см}^2; F_{нт} = 350 - 35 = 315 \text{ см}^2.$$

#### **5. Проверка несущей способности сечения элемента**

$$\sigma = \frac{N}{F_{нт}} = 120 \text{ кН} / 0,0339 \text{ м}^2 = 3539,8 \text{ кН} / \text{м}^2 = 3,5398 \text{ МПа} > 3,53 \text{ МПа}.$$

Прочность не обеспечена, необходимо увеличить размеры принимаемого бруса. Увеличим высоту сечения, возьмем по сортаменту следующую за 200 мм величину – 225 мм, т.е. примем сечение 225x175 мм.

Площадь сечения будет:  $F_{нт} = F_{бр} - F_{осл} = 22,5 \times 17,5 - 2 \times 1 \times 17,5 = 393,75 - 35 = 358,75 \text{ см}^2$ .

Проверка прочности сечения элемента:

$$\sigma = \frac{N}{F_{нт}} = 120 / 0,035875 = 3345 \text{ кН} / \text{м}^2 = 3,345 \text{ МПа} < 3,53 \text{ МПа} = R_p.$$

**6. Вывод:** Окончательно принимаем сечение 225x175 мм.

Исходные данные для самостоятельного решения приведены в приложении 1 (занятие 2).

### Занятие № 3

#### **Тема: Расчет центрально-сжатого элемента**

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

по прочности:

$$\sigma = \frac{N}{F_{нт}} \leq R_c, \quad (3.1)$$

по устойчивости:

$$\sigma = \frac{N}{\varphi F_{расч}} \leq R_c, \quad (3.2)$$

где  $N$  – действующее усилие сжатия в элементе;

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

$F_{расч}$  – расчетная площадь сечения;

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

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  $\lambda > 70$        $\varphi = \frac{3000}{\lambda^2}$ .

Гибкость элементов цельного сечения определяется по формуле:  $\lambda = l_0 / r$ , и не должна превышать предельно допустимого по СНиП значения  $[\lambda] = 120$  (таблица 16 [1] и таблица 2.17 приложения),

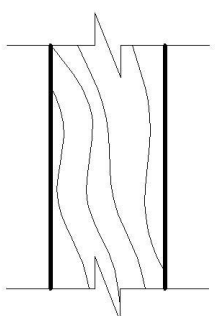
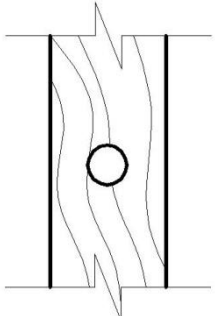
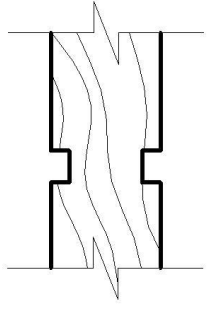
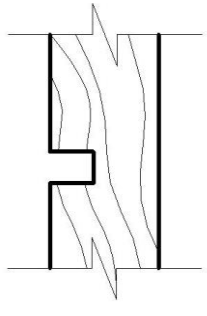
где  $l_0$  – расчетная длина элемента, равная  $l_0 = l^* \mu$  (геометрической длине  $l^*$  элемента на коэффициент приведения длины, при шарнирном закреплении,  $\mu = 1$ , при других вариантах закрепления концов стержня см. п.7.23 [1] и таблицу 2.17 приложения);

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

Радиус инерции – это геометрическая характеристика сечения, равная:  $r = \sqrt{J/F}$ .

Для прямоугольного сечения высотой  $h$  радиус инерции приближенно равен:  $r=0,289*h$ ; для круглого сечения  $r=0,25*d$ .

**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 несимметричные и выходят на кромку
			

### Пример

Проверить сечение  $15 \times 20 \text{ см}$  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  $N=11000$  кг. Материал – клен 3-го сорта. Условия эксплуатации – на открытом воздухе с относительной влажностью 85% в режиме загрузки «Б», сроком службы 100 лет, классом надежности по ответственности КС-2.

### Решение:

- Определение всех необходимых 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 таблице 2.4 приложения 2 пособия (как в данном примере) или по дополнительным характеристикам эксплуатации (табл. А2 приложения А [1] или табл. 2.6 приложения 2 пособия). В нашем примере по относительной влажности 85% определяем по таблице 1 [1] или таблице 2.5 пособия класс – 4а. А затем по таблице 9 [1] или таблице 2.4 пособия  $m_e = 0,85$ .

### **1. Учет породы древесины**

По таблице 5 [1] или таблице 2.3 пособия для клена и для напряженного состояния «сжатие вдоль волокон» определяем коэффициент  $m_n = 1,3$ .

По таблице 3 [1] или таблице 2.1 пособия определяем базовое расчетное сопротивление сжатию сосны, ели, лиственницы 3-го сорта для прямоугольного сечения 15x20 см (п. 1в)  $R_c^A = 16,5 \text{ МПа}$  ( $165 \text{ кг/см}^2$ ).

Коэффициент  $m_{dl}$  определяем по таблице 4 [1] или по таблице 2.2 пособия при режиме загрузки «Б» от совместного действия постоянной и длительной временной нагрузок:  $m_{dl} = 0,53$ .

Учет срока службы стойки производим по таблице 13 [1] или таблице 2.10 приложения 2 пособия для 100 лет при растяжении вдоль волокон  $m_{c.c} = 0,8$ .

Для класса надежности по ответственности КС-2 согласно таблице 13 ГОСТ 27751-2014 и таблице 2.13 пособия  $\gamma_n = 1$  окончательно устанавливаем расчетное сопротивление, соответствующее заданной породе (клен), сорту (3-й) и условиям эксплуатации (на открытом воздухе во влажной зоне), используя найденные коэффициенты:

$$R_c = R_c^A * m_{dl} * m_n * m_e * m_{c.c} / \gamma_n = 16,5 * 0,53 * 1,3 * 0,85 * 0,8 / 1 = 7,73 \text{ МПа} \\ (77,3 \text{ кг/см}^2).$$

### **2. Вычисление геометрических характеристик для проверяемого сечения элемента**

Необходимые геометрические характеристики в данном случае – это расчетная площадь. Для определения  $F_{расч}$  вычисляем  $F_{бр} = 15 * 20 = 300 \text{ см}^2$ ,  $F_{осл} = 2 * 3 * 20 = 120 \text{ см}^2$ , и по соотношению  $F_{осл} / F_{бр} = 120 / 300 = 0,4 > 0,25$  вычисляем  $F_{расч} = 4/3 * F_{нт} = 4/3 * (F_{бр} - F_{осл}) = 4/3 * (300 - 120) = 240 \text{ см}^2$ . Далее

вычисляем минимальный радиус инерции:  $r_{min}=0,289*15=4,335\text{см}$ , принимаемый по меньшей из сторон рассматриваемого сечения  $b$  или  $h$ .

### 3. Проверка несущей способности сечения элемента

Вычисляем максимальную гибкость  $\lambda=l_0/r_{min}=550/4,335=126,87>120=[\lambda]$ . Условие по предельной гибкости не выполняется, следует изменить сечение (по форме приближающееся к симметричному сечению, например, к квадратному), сохранив по возможности площадь. Принимаем сечение  $17,5\times 20\text{см}$ .

Вычисляем  $F_{\text{бр}}=17,5\times 20=350\text{см}^2$ ,  $F_{\text{осл}}=2*3\times 20=120\text{см}^2$ , и по соотношению  $F_{\text{осл}}/F_{\text{бр}}=120/350=0,343>0,25$  определяем  $F_{\text{расч}}=4/3*F_{\text{нт}}=4/3(F_{\text{бр}}-F_{\text{осл}})=4/3*(350-120)=306,67\text{см}^2$ .

Минимальный радиус инерции равен:  $r_{min}=0,289*17,5=5,058\text{см}$ . 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:  $\varphi=3000/\lambda^2=3000/(108,75)^2=0,254$ . Далее – несущую способность по формуле:

$$\frac{N}{\varphi F_{\text{расч}}} \leq R_c,$$

$$\frac{N}{\varphi F_{\text{расч}}} = \frac{11000}{(0,254*306,67)} = 141,22 (\text{кг} / \text{см}^2) > 77,3 (\text{кг} / \text{см}^2) = R_c.$$

Проверяемое сечение  $17,5\times 20\text{см}$  не обладает достаточной несущей способностью. Следует изменить сечение, например, увеличить ширину бруса на величину  $\sigma/R_c = 141,22/77,3=1,82$ . Новая ширина сечения  $b=17,5*1,82=32\text{см}$ . По сортаменту принимаем брус сечением  $25\times 25\text{см}$  (близкий по площади к требуемому), вычисляем необходимые геометрические характеристики – расчетную площадь  $F_{\text{бр}}=25\times 25=625\text{см}^2$ ,  $F_{\text{осл}}=2*3\times 25=150\text{см}^2$ , далее соотношение  $F_{\text{осл}}/F_{\text{бр}}=150/625=0,26>0,25$ , определяем  $F_{\text{расч}}=4/3*F_{\text{нт}}=4/3(F_{\text{бр}}-F_{\text{осл}})=4/3*(625-150)=633\text{см}^2$ , радиус инерции  $r_{min}=0,289*25=7,22\text{см}$ , и повторяем проверку.

Максимальная гибкость  $\lambda=l_0/r=550/7,22=75,2<120=[\lambda]$ , коэффициент продольного изгиба  $\varphi=3000/\lambda^2=3000/(75,2)^2=0,531$ .

Проверяем устойчивость:

$$\frac{N}{\varphi F_{\text{расч}}} = \frac{11000}{(0,531*633)} = 32,73 (\text{кг} / \text{см}^2) < 77,3 (\text{кг} / \text{см}^2) = R_c.$$



**4. Вывод:** Принятое сечение 25x25см обладает достаточной, но избыточной несущей способностью, попробуем уменьшить сечение до 22,5x22,5см.

Характеристики нового сечения:

$F_{бр} = 22,5 \times 22,5 = 506,25 \text{ см}^2$ ,  $F_{осл} = 2 \times 3 \times 22,5 = 135 \text{ см}^2$ , далее соотношение  $F_{осл}/F_{бр} = 135/506,25 = 0,26 > 0,25$ , определяем  $F_{расч} = 4/3 * F_{нт} = 4/3 (F_{бр} - F_{осл}) = 4/3 * (506,25 - 135) = 495 \text{ см}^2$ , радиус инерции  $r_{min} = 0,289 * 22,5 = 6,5 \text{ см}$ , и повторяем проверку.

Максимальная гибкость  $\lambda = l_0/r = 550/6,5 = 84,6 < 120 = [\lambda]$ , коэффициент продольного изгиба  $\varphi = 3000/\lambda^2 = 3000/(84,6)^2 = 0,419$ .

Проверяем устойчивость:

$$\frac{N}{\varphi F_{расч}} = \frac{11000}{(0,419 * 495)} = 53,0 (\text{кг} / \text{см}^2) < 77,3 (\text{кг} / \text{см}^2) = R_c.$$

Запас по несущей способности более 30%, это тоже много, рекомендуем добиться минимального запаса путем «ступенчатого» уменьшения пока одной стороны (20x22,5), а если будет недостаточно, то 20x20см.

Исходные данные для самостоятельного решения приведены в приложении 1 (занятие 3).

## Занятие № 4

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

### 4.1. Расчет изгибаемого элемента

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

на прочность по нормальным напряжениям (согласно п. 7.9 [1])

$$\sigma = \frac{M}{W_{расч}} \leq R_u, \quad (4.1)$$

на прочность по касательным напряжениям (согласно п. 7.10[1])

$$\tau = \frac{QS_{бр}}{J_{бр} b_{расч}} \leq R_{ск}, \quad (4.2)$$

где  $M$  – расчетный изгибающий момент в элементе,

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

$W_{нтв}$  – 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;

$R_u$  – расчетное сопротивление изгибу;

$R_{ск}$  – расчетное сопротивление скалыванию.

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

$$\frac{f}{l} \leq \left[ \frac{f}{l} \right], \quad (4.3)$$

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

$[f/l]$  – допускаемый относительный прогиб, принимаемый по таблице Е.1[2] или таблице 2.24 пособия. В соответствии с этой таблицей допускаемый относительный прогиб при  $l \leq 1, f = 1/120$ ;  $l = 3, f = 1/150$ ;  $l = 6, f = 1/200$ ;  $l = 24, f = 1/250$ .

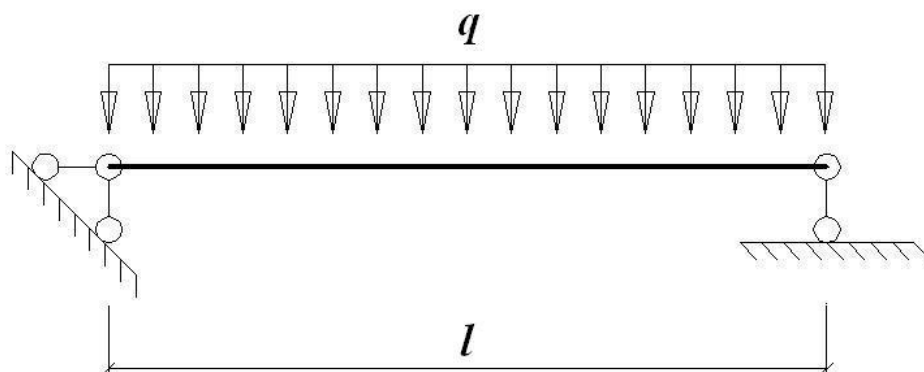
#### **Пример 4.1 (изгибаемый элемент)**

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  $q = 200$  кг/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 загрузки «В», сроком службы – 50 лет, классом надежности по ответственности КС-2. Расчетная схема приведена на рис. 4.1.

#### Решение:

- Определение всех необходимых коэффициентов и расчетных сопротивлений.

- Учет температурно-влажностных условий эксплуатации конструкции производится по классу условий эксплуатации, который устанавливается по эксплуатационной влажности по таблице 1 [1] или



**Рис. 4.1.** Расчетная схема балки

таблице 2.4 приложения 2 пособия или по дополнительным характеристикам эксплуатации (табл. А2 приложения А [1] или табл. 2.6 приложения 2 пособия). В нашем примере по эксплуатационной влажности до 20% находим по таблице 1 [1] или таблице 2.5 пособия класс – 4а. А по таблице 9 [1] или таблице 2.4 пособия  $m_g=0,85$ .

### **1. Учет породы древесины**

По таблице 5[1] или таблице 2.3 пособия для пихты и для напряженного состояния «изгиб» определяем коэффициент  $m_n=0,8$ , для скалывания –  $m_n=0,8$ .

По таблице 3 [1] или таблице 2.1 пособия определяем расчетное сопротивление изгибу сосны, ели, лиственницы 2-го сорта (п. 1а)  $R_u^A=19,5\text{МПа}$  ( $195\text{ кг/см}^2$ ) и расчетное сопротивление скалыванию вдоль волокон (п. 5а)  $R_{ск}^A=2,4\text{МПа}$  ( $24\text{ кг/см}^2$ ).

Коэффициент  $m_{дл}$  определяем по таблице 4 [1] или по таблице 2.2 пособия при режиме загрузки «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 таблице 13 [1] или таблице 2.10 приложения 2 пособия для наиболее массового строительства сроком 50 лет,  $m_{с.с}=1$ .

Для класса надежности по ответственности КС-2 (все здания, кроме КС-1 – временные, КС-3 – уникальные или с массовым нахождением людей) согласно таблице 13 ГОСТ 27751-2014 и таблице 2.13 пособия  $\gamma_n=1$  окончательно устанавливаем расчетное сопротивление, соответствующее заданной породе (пихта), сорту (2) и условиям эксплуатации (на открытом

воздухе с эксплуатационной влажностью до 20%), используя найденные коэффициенты:

$$R_u = R_u^A * m_{\text{дл}} * m_n * m_e * m_{c.c} / \gamma_n = 19,5 * 0,66 * 0,8 * 0,85 * 1/1 = 8,75 \text{ МПа}$$

$$(87,5 \text{ кг/см}^2),$$

$$R_{\text{ск}} = R_{\text{ск}}^A * m_{\text{дл}} * m_n * m_e * m_{c.c} / \gamma_n = 2,4 * 0,66 * 0,8 * 0,85 * 1/1 = 1,08 \text{ МПа}$$

$$(10,8 \text{ кг/см}^2).$$

## 2. Статический расчет

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

$$M = ql^2/8, \text{ перерезывающая сила максимальна на опоре и равна:}$$

$$Q = ql/2, \text{ максимальный относительный прогиб в середине балки:}$$

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

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. Вычисление геометрических характеристик для проверяемого сечения элемента

Необходимые геометрические характеристики в данном случае, это:

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

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

## 4. Проверки двух предельных состояний изгибаемого элемента

Проверяем нормальные напряжения по формуле:  $\sigma_u = \frac{M}{W_{\text{расч}}} \leq R_u,$

$$\sigma_u = \frac{7910,16}{125} = 63,28 (\text{кг/см}^2) < 88,4 (\text{кг/см}^2) = R_u.$$

Проверяем касательные напряжения по формуле:  $\tau_{\text{ск}} = \frac{QS_{\text{бр}}}{J_{\text{бр}} b_{\text{расч}}} \leq R_{\text{ск}},$

$$\tau_{\text{ск}} = \frac{(140,625 * 93,75)}{(625 * 7,5)} = 2,81 (\text{кг/см}^2) < 10,88 (\text{кг/см}^2) = R_{\text{ск}}.$$

Проверяем жесткость (второе предельное состояние) по формуле:

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

$$\frac{f}{l} = \frac{5q^u l^3}{384EJ} = \frac{5 * 125 * 2,25^3 * 10^3}{384 * 100000 * 625} = \frac{71191406,25}{24000000000} = \frac{1}{449}.$$

$\frac{f}{l} = \frac{1}{449} < \frac{1}{200} = \left[ \frac{f}{l} \right]$ . Здесь  $\left[ \frac{f}{l} \right] = \frac{1}{200}$  (для прогонов и стропильных ног покрытия, таблица 16, п. 3а [2]),  $q^H = 125 * 0,75 = 93,75 \text{ кг/м} = 0,9375 \text{ кг/см}$ ).

**5. Вывод:** Проверяемое сечение 7,5х10,0см 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 «σ» около 30%. А если балка не проходит по «σ», «τ<sub>ск</sub>» или «f», рекомендуется увеличивать высоту балки «h», т.к. в формулах Wи J она в степенной зависимости.

Исходные данные для самостоятельного решения приведены в приложении 1.

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

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

$$\sigma_u = \frac{N}{F_{расч}} + \frac{M_D R_p}{W_{расч} R_u} \leq R_p, \quad (4.2)$$

где  $N$  – действующее усилие растяжения в элементе;

$M_D$  – 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:

$$\xi = 1 - \frac{N}{\varphi R_c F_{оп}},$$

где  $M$  – 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];

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

$A$  – коэффициент для древесных  $A=3000$ ;

гибкость  $\lambda = \frac{l_0}{r}$ ;

$l_0$  – рассчитанная длина элемента;

$r$  – радиус инерции сечения элемента

с максимальным радиусом брутто относительно осей  $x$  и  $y$ .

В нашем случае  $r=0,289h$  ( $h>b$ );

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

$W_{расч}$  – 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.

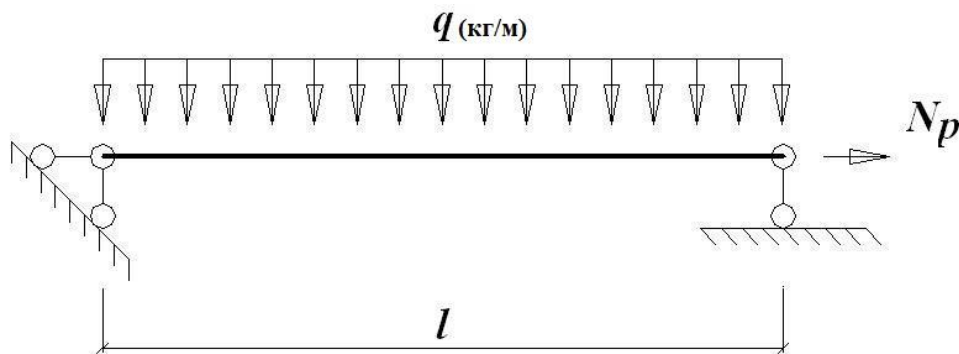
#### **Пример 4.2 (растянуто-изгибаемый элемент)**

Проверить прочность 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  $q=200$  кГ/м и растягиваемой усилием  $N_p=1000$  кг (стержень шарнирно закреплен по концам). Сила приложена по центру сечения элемента. Материал – пихта 2-го сорта. Условия эксплуатации – на открытом воздухе с эксплуатационной влажностью до 20%, в режиме загрузки «В», сроком службы – 50 лет, классом надежности по ответственности КС-2. Расчетная схема приведена на рис. 4.2.

#### Решение:

- 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 таблице 1 [1] или таблице 2.4 приложения 2 пособия или по дополнительным характеристикам эксплуатации (табл. А2 приложе-



**Рис.4.2.** Расчетная схема балки

ния А[1] или табл. 2.6 приложения 2 пособия). В нашем примере по эксплуатационной влажности до 20% находим по таблице 1 [1] или таблице 2.5 пособия класс – 4а. А по таблице 9 [1] или таблице 2.4 пособия  $m_g = 0,85$ .

### **1. Учет породы древесины**

По таблице 5[1] или таблице 2.3 пособия для пихты и для напряженного состояния «изгиб» определяем коэффициент  $m_n = 0,8$ .

По таблице 3 [1] или таблице 2.1 пособия определяем расчетное сопротивление изгибу сосны, ели, лиственницы 2-го сорта (п. 2а)  $R_p^A = 10,5 \text{ МПа}$  ( $105 \text{ кг/см}^2$ ) и базовое расчетное сопротивление изгибу (п. 1а)  $R_{ск}^A = 19,5 \text{ МПа}$  ( $195 \text{ кг/см}^2$ ).

Коэффициент  $m_{дл}$  определяем по таблице 4 [1] или по таблице 2.2 пособия при режиме загрузки «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 таблице 13 [1] или таблице 2.10 приложения 2 пособия для наиболее массового строительства сроком 50 лет,  $m_{c.c} = 1$ .

Для класса надежности по ответственности КС-2 (все здания, кроме КС-1 – временные, КС-3 – уникальные или с массовым нахождением людей) согласно таблице 13 ГОСТ 27751-2014 и таблице 2.13 пособия  $\gamma_n = 1$  окончательно устанавливаем расчетное сопротивление, соответствующее заданной породе (пихта), сорту (2-й) и условиям эксплуатации (на открытом воздухе с эксплуатационной влажностью до 20% и т.д.), используя найденные коэффициенты:

$$R_u = R_u^A * m_{дл} * m_n * m_g * m_{c.c} / \gamma_n = 19,5 * 0,66 * 0,8 * 0,85 * 1 / 1 = 8,75 \text{ МПа}$$

$$R_{ск} = R_{ск}^A * m_{дл} * m_n * m_g * m_{c.c} / \gamma_n = 10,5 * 0,66 * 0,8 * 0,85 * 1 / 1 = 4,71 \text{ МПа}$$

## 2. Статический расчет

По условию задачи имеем расчетную схему однопролетной шарнирно опертой балки, загруженной 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:  $M=ql^2/8 = 200*2,25^2/8 = 126,56 \text{ кг*м} = 12656 \text{ кг*см}$ .

## 3. Вычисление геометрических характеристик для проверяемого сечения элемента

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

## 4. Проверка первого предельного состояния растянуто-изгибаемого элемента

Проверяем первое предельное состояние по формуле:

$$\sigma_u = \frac{N}{F_{расч}} + \frac{M_{д} R_p}{W_{расч} R_u} \leq R_p,$$

$$\sigma_u = \frac{1000}{75} + \frac{1256*47,1}{125*87,5} = 13,33 + 54,75 = 67,08 (\text{кг/см}^2) > 47,1 (\text{кг/см}^2) = R_p.$$

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  $h=100\text{мм}$  следующее за ним в сортаменте –  $125\text{мм}$ . 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 ( $h*1,42=100*1,42=142\text{мм}$ ).

Рекомендуемое соотношение для балок:  $\frac{h}{b} = 3 \div 6$ .

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

$$bh = 7,5 \times 12,5 \text{ см}.$$

$$W_{расч}=bh^2/6=7,5*12,5/6=193,3 \text{ см}^3, F_{расч}=bh=7,5*12,5=93,75 \text{ см}^2.$$

Заново проверяем напряжения по формуле:

$$\sigma = N/F_{расч} + (M_{д} R_p)/(W_{расч} R_u) \leq R_p.$$

$$\begin{aligned} \sigma &= 1000/93,75 + (12656*47,1)/(193,3*87,1) = \\ &= 10,7 + 35,4 = 46,1 (\text{кг/см}^2) < 47,1 (\text{кг/см}^2) = R_p. \end{aligned}$$



**5. Вывод:** Принятое сечение  $b \times h = 7,5 \times 12,5 \text{ см}$  обладает достаточной несущей способностью.

Исходные данные для самостоятельного решения – в таблице 4.2.

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

Расчет таких элементов по предельному состоянию первой группы производится по формуле:

$$\sigma_u = \frac{N}{F_{расч}} + \frac{M_{д}}{W_{расч}} \leq R_c, \quad (\text{согласно п. 4.17 [1]})$$

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  $M_{д}$  допускается выполнять по формуле:

$$M_{д} = \frac{M}{\xi},$$

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

$$\xi = 1 - \frac{N}{\varphi R_c F_{оп}}$$

$M$  – 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]:

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

$A$  – коэффициент для древесных  $A=3000$ ;

гибкость  $\lambda = \frac{l_0}{r}$ ;

$l_0$  – рассчитанная длина элемента;

$r$  – радиус инерции сечения элемента

с максимальным радиусом брутто относительно осей  $x$  и  $y$ .

В нашем случае  $r = 0,289h$  ( $h > b$ )

$F_{бр}$  – 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;

$R_u$  – расчетное сопротивление изгибу;

$R_c$  – расчетное сопротивление сжатию.

### Пример 4.3 (сжато-изогнутый элемент)

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  $q=200$  кг/м и сжимаемого усилием  $N_c=1000$  кг (стержень шарнирно закреплен по концам). Материал – пихта 2-го сорта. Условия эксплуатации – на открытом воздухе с эксплуатационной влажностью до 20%.

Коэффициент  $m_{дл}$  определяем по таблице 4 [1] или по таблице 2.2 пособия при режиме загрузки «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 таблице 13 [1] или таблице 2.10 приложения 2 пособия для наиболее массового строительства сроком 50 лет,  $m_{с.с}=1$  для класса надежности по ответственности КС-2 (все здания, кроме КС-1 – временные, КС-3 – уникальные или с массовым нахождением людей) согласно таблице 13 ГОСТ 27751-2014 и таблице 2.13 пособия,  $\gamma_n=1$ .

#### Решение:

- 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 таблице 1 [1] или таблице 2.4 приложения 2 пособия или по дополнительным характеристикам эксплуатации (табл. А2 приложения А [1] или таблице 2.6. приложения 2 пособия). В нашем

примере по эксплуатационной влажности до 20% находим по таблице 1 [1] или таблице 2.5 пособия класс – 4а. А по таблице 9 [1] или таблице 2.4 пособия  $m_e = 0,85$ .

### **1. Учет породы древесины**

По таблице 5[1] или таблице 2.3 пособия для пихты и для напряженного состояния «изгиб» определяем коэффициент  $m_n=0,8$ , для скалывания  $m_{пн}=0,8$ .

По таблице 3 [1] или по таблице 2.1 пособия определяем базовое расчетное сопротивление сжатию и изгибу сосны, ели 2-го сорта (п. 1а)  $R_c^A = R_u^A = 19,5 \text{ МПа}$  ( $195 \text{ кг/см}^2$ ),  $R_{ск}^A = 2,4 \text{ МПа}$  (п. 5а).

Коэффициент  $m_{дл}$  определяем по таблице 4 [1] или по таблице 2.2 пособия при режиме загрузки «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 таблице 13 [1] или таблице 2.10 приложения 2 пособия для наиболее массового строительства сроком 50 лет;  $m_{с.с}=1$  для класса надежности по ответственности КС-2 (все здания, кроме КС-1 – временные, КС-3 – уникальные или с массовым нахождением людей) согласно таблице 13 ГОСТ 27751-2014 и таблице 2.13 пособия  $\gamma_n=1$ .

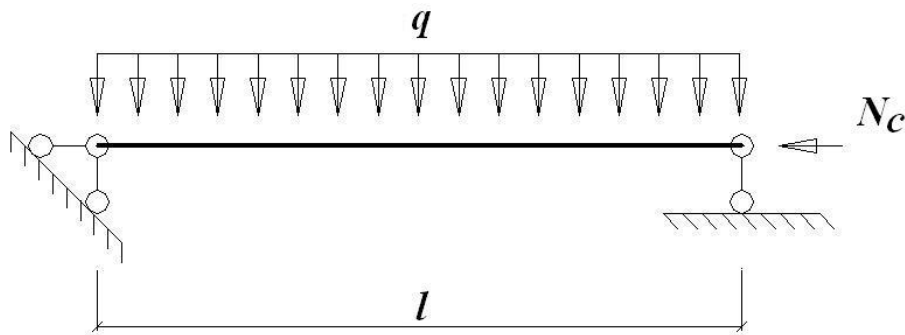
Окончательно устанавливаем расчетное сопротивление, соответствующее заданной породе (пихта), сорту (2-й) и условиям эксплуатации (на открытом воздухе, с эксплуатационной влажностью 20%), используя найденные коэффициенты:

$$R_u = R_c^A = R_u^A * m_{дл} * m_n * m_b * m_{с.с} / \gamma_n = 19.5 * 0,66 * 0,8 * 0,85 * 1 / 1 = 8,74 \text{ МПа} (87.4 \text{ кг/см}^2).$$

$$R_{ск} = R_{ск}^A * m_{дл} * m_n * m_b * m_{с.с} / \gamma_n = 2,4 * 0,66 * 0,8 * 0,85 * 1 / 1 = 1,08 \text{ МПа} (10,8 \text{ кг/см}^2).$$

### **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:  $M=ql^2/8$ . Численное значение его равно:  $M=ql^2/8 = 200*2,25^2/8 = 126,56 \text{ кг*м} = 12656 \text{ кг*см}$ .



**Рис.4.3.** Расчетная схема балки

### **3. Вычисление геометрических характеристик для проверяемого сечения элемента**

Необходимые геометрические характеристики в данном случае, это:

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

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

### **4. Проверка первого предельного состояния сжато-изгибаемого элемента**

$$\lambda = l/i = 225/2,89 = 77,59 < 120 = [\lambda]. \varphi = 3000/\lambda^2 = 3000/77,59^2 = 0,498.$$

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

Проверяем первое предельное состояние по формуле:

$$\sigma_u = \frac{N}{F_{расч}} + \frac{M_D}{W_{расч}} \leq R_c.$$

$$1000/75 + 18157,82/125 = 13,33 + 145,26 =$$

$$= 158,59 \text{ (кг/см}^2\text{)} > 87,5 \text{ (кг/см}^2\text{)} = R_c.$$

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

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

$$W_{расч} = bh^2/6 = 7,5 * 12,5^2 / 6 = 195,3 \text{ см}^3, F_{расч} = bh = 7,5 * 12,5 = 93,75 \text{ см}^2,$$

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

Проверяем сечение:

$$\lambda = l/i = 225/3,61 = 62,28 < 120 = [\lambda].$$

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

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

$$M_{\text{д}} = M / \xi = 12656 / 0,825 = 15338,28 \text{ кг} * \text{см}.$$

Проверяем первое предельное состояние по формуле:

$$\sigma_u = \frac{N}{F_{\text{расч}}} + \frac{M_{\text{д}}}{W_{\text{расч}}} \leq R_c.$$

$$1000/93,75 + 15338,28/195,3 = 10,67 + 78,54 = \\ = 89,2 \text{ (кг/см}^2\text{)} > 88,4 \text{ (кг/см}^2\text{)} = R_c.$$

Проверяемое сечение  $b \times h = 7,5 \times 12,5 \text{ см}$  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 – 75мм, по сортаменту – 100мм. Принимаем новое сечение:  $b \times h = 10 \times 12,5 \text{ см}$ . Новые геометрические характеристики сечения:

$$W_{\text{расч}} = bh^2/6 = 10 * 12,5^2/6 = 260,4 \text{ см}^3, F_{\text{расч}} = bh = 10 * 12,5 = 125 \text{ см}^2, \\ i = 0,289h = 0,289 * 12,5 = 3,61 \text{ см}.$$

Проверяем сечение:

$$\lambda = l/i = 225/3,61 = 62,28 < 120 = [\lambda].$$

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

$$\xi = 1 - \frac{N}{\varphi R_c F_{\text{бр}}} = 1 - \frac{1000}{0,69 * 88,4 * 93,75} = 1 - 0,175 = 0,825.$$

$$M_{\text{д}} = M / \xi = 12656 / 0,825 = 15338,28 \text{ кг} * \text{см}.$$

Проверяем первое предельное состояние по формуле:

$$\sigma_u = \frac{N}{F_{\text{расч}}} + \frac{M_{\text{д}}}{W_{\text{расч}}} \leq R_c.$$

$$1000/125 + 15338,28/260,4 = 8 + 58,9 = \\ = 66,9 \text{ (кг/см}^2\text{)} < 88,4 \text{ (кг/см}^2\text{)} = R_c.$$

Проверяемое сечение:  $b \times h = 10 \times 12,5 \text{ см}$  обладает достаточной несущей способностью.

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

Исходные данные для самостоятельного решения – в таблице 4.3.

## 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. [1]):

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

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

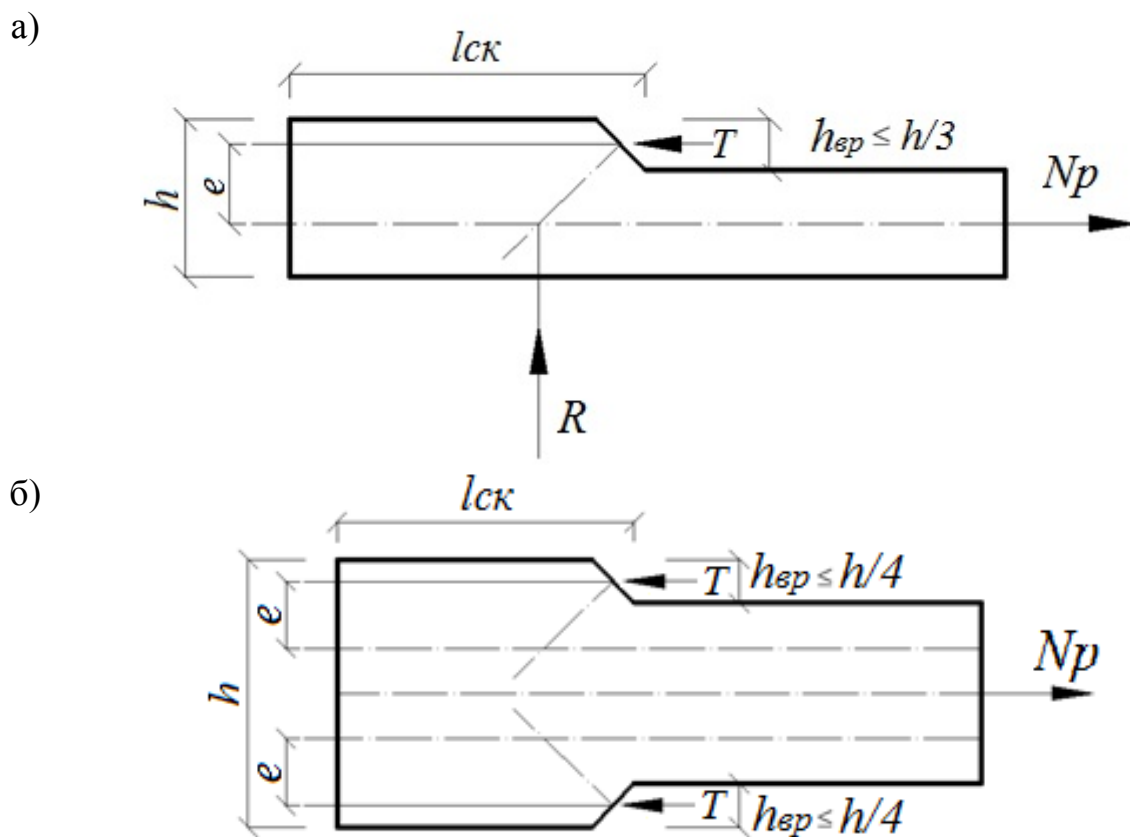
где  $F_{см}$  – расчетная площадь смятия;  $F_{ск}$  – расчетная площадь скалывания;  $R_{см}$  – расчетное сопротивление древесины смятию;  $R_{ск}^{cp}$  – расчетное сопротивление древесины, среднее по площадке скалывания, определяемое по формуле:

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

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  $0,5h$  для односторонней врубки (рис. 5.1а) и  $0,25h$  – 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:

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

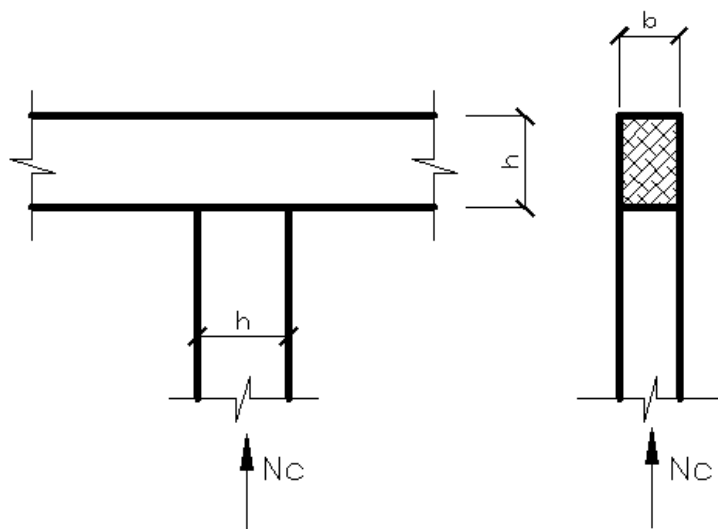


а) односторонняя врубка, б) двухсторонняя врубка

**Рис. 5.1.** К определению плеча сил скалывания

### Пример 5.1 (поперечный лобовой упор)

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 загрузки «в», срок службы – 50 лет, класс надежности по ответственности – КС-2.



**Рис. 5.2.** Поперечный лобовой упор

Решение:

- 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 таблице 1[1] или таблице 2.4 пособия, а при необходимости – по дополнительным характеристикам эксплуатации (табл. А2 приложения А[1] или таблице 2.6 приложения пособия). В нашем случае не задана влажность, поэтому воспользуемся дополнительными данными приложения А2 [1] или таблицей 2.6 пособия. Видим, что наиболее близкие к заданным условиям п. 3.2 – под навесом в неотапливаемой зоне влажности – 3-й класс условий эксплуатации. По таблице 9[1] или таблице 2.4 пособия находим:  $m_b = 0.85$ .

### **1. Учет породы древесины**

По таблице 4 [1] для березы и для напряженного состояния – смятие вдоль волокон – определяем коэффициент  $m_{п1}=1,1$ , смятие поперек волокон:  $m_{п2}=1,6$ .

По таблице 3 [1] или 2.1 пособия определяем базовое расчетное сопротивление смятию вдоль волокон сосны, ели 2-го сорта (п. 1а)  $R_{см}^A=19,5\text{МПа}$  ( $195\text{ кг/см}^2$ ). Базовое расчетное сопротивление смятию поперек волокон сосны, ели 2-го сорта (п. 4а):  $R_{см,90}^A=4,5\text{МПа}$  ( $45\text{ кг/см}^2$ ).

Окончательно устанавливаем расчетное сопротивление, соответствующее заданной породе (береза), сорту (2-й) и условиям эксплуатации



(внутри неотапливаемого помещения в нормальной зоне), используя найденные коэффициенты:

$$R_{см} = R_{см}^A * m_{дл} * m_n * m_B * \frac{m_{сс}}{\gamma_n} = 19.5 * 0.66 * 1.0 * 1 * 0.85 * \frac{1}{1} = 12.03 \text{ МПа}$$

(120.3 кг/см<sup>2</sup>),  $R_{см,90} = R_{см,90}^A * m_{дл} * m_n * m_B * \frac{m_{сс}}{\gamma_n} = 4.5 * 0.66 * 1.6 * 0.85 * \frac{1}{1} = 4.04 \text{ МПа}$  (40.5 кг/см<sup>2</sup>).

## 2. Определение геометрических характеристик сечения

Находим площадь смятия  $F_{см} = b * h = 10 * 15 = 150 \text{ см}^2 = 0,015 \text{ м}^2$ .

## 3. Проверка несущей способности

Несущая способность на смятие вдоль волокон (проверка стойки):

$$N_{см} = N_c = 80 \text{ кН}, T_{см} = R_{см} * F_{см} = 12.03 \text{ МПа} * 0,015 \text{ м}^2 = 193 \text{ мН} = 193 \text{ кН},$$

$$N_{см} = N_c = 80 \text{ кН} < 193 \text{ кН} = T_{см}.$$

Условие выполняется, прочность на смятие стойки обеспечена.

Несущая способность на смятие поперек волокон (проверка балки):

$$N_{см} = N_c = 80 \text{ кН}, T_{см,90} = R_{см,90} * F_{см} = 4, * 0,015 = 0,072 \text{ мН} = 72 \text{ кН},$$

$$N_{см} = N_c = 80 \text{ кН} > 72 \text{ кН} = T_{см,90}.$$

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 ( $N_c / T_{см,90}$ ):

$$h_n = h(N_c / T_{см,90}) = 150(80/72) = 150 * 1,11 = 166,5 \text{ мм}.$$

По сортаменту принимаем:  $h_n = 200 \text{ мм}$ . Тогда  $F_{см} = b * h = 10 * 20.0 = 175 \text{ см}^2 = 0.02 \text{ м}^2$ .

Несущая способность на смятие поперек волокон (проверка балки):

$$N_{см} = N_c = 80 \text{ кН} < 84 \text{ кН} = T_{см,90} = R_{см,90} * F_{см} = 4,04 * 0,0175 * 1000.$$

Условие прочности по смятию опорной части балки поперек волокон выполняется.

**4. Вывод:** Принимаем сечение стойки поперечного лобового упора  $b * h = 10,0 * 17,5 \text{ см}$ , сечение балки оставляем прежним.

Исходные данные для самостоятельного решения по занятию – в таблице 5.1.

### Пример 5.2 (наклонный лобовой упор)

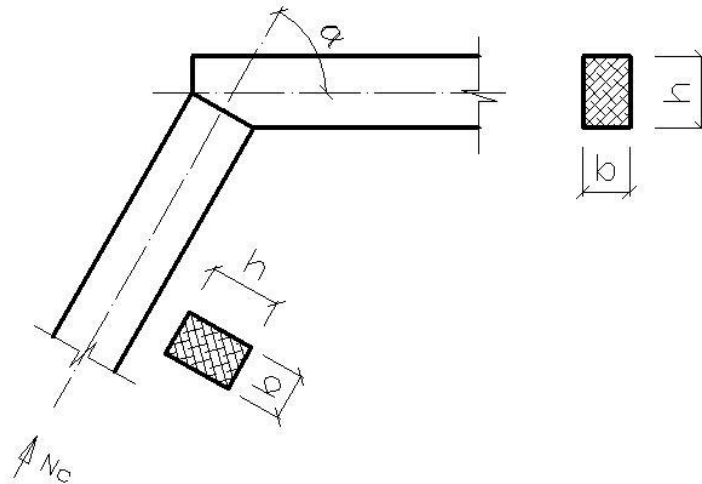


Рис. 5.3. Наклонный лобовой упор

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  $N_c = 180 \text{ кН}$ . Опорный конец ригеля обрезан под углом  $\alpha = 30^\circ$  к его оси. Материал – береза 2-го сорта. Условия эксплуатации – внутри неотапливаемого помещения (чердак) в нормальной зоне; в режиме загрузки «в», срок службы – 50 лет, класс надежности по ответственности – КС-2.

#### Решение

- 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 таблице 1[1] или таблице 2.4 пособия, а при необходимости – по дополнительным характеристикам эксплуатации (таблице А2 приложения А[1] или таблице 2.6 приложения пособия). В нашем случае не задана влажность, поэтому воспользуемся дополнительными данными приложения А2 [1] или таблицей 2.6 пособия. Видим, что наиболее близкие к заданным условиям п. 3.2 – под навесом в неотапливаемой зоне влажности – 3-й класс условий эксплуатации. По таблице 9[1] или таблице 2.4 пособия находим:  $m_b = 0.85$ .

### 1. Учет породы древесины

По таблице 5[1] или 2.3 пособия для березы и смятия вдоль волокон определяем коэффициент:  $m_n=1,1$ , для смятия поперек волокон:  $m_n=1,6$ .

По таблице 3 [1] или 2.1 пособия определяем базовое расчетное сопротивление смятию вдоль волокон стандартной породы древесины 2-го сорта (п. 1а)  $R_{см}^A=19,5\text{МПа}$  ( $195\text{ кг/см}^2$ ). Базовое расчетное сопротивление смятию поперек волокон стандартной породы древесины 2-го сорта (п. 4а)  $R_{см,90}^A=4,5\text{МПа}$  ( $45\text{ кг/см}^2$ ).

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

$$R_{см} = R_{см}^A * m_{дл} * m_n * m_B * \frac{m_{сс}}{\gamma_n} = 19,5 * 0,66 * 1,0 * 1 * 0,85 * \frac{1}{1} = 12,03\text{МПа}$$

( $120,3\text{кг/см}^2$ ),  $R_{см,90} = R_{см,90}^A * m_{дл} * m_n * m_B * \frac{m_{сс}}{\gamma_n} = 4,5 * 0,66 * 1,0 * 0,85 * \frac{1}{1} = 4,04\text{МПа}$  ( $40,5\text{ кг/см}^2$ ).

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

$$R_{см,\alpha} = \frac{R_{см}}{1 + \left( \frac{R_{см}}{R_{см,90}} - 1 \right) \sin^3 \alpha} = \frac{12,03}{1 + \left( \frac{12,03}{4,04} - 1 \right) \sin^3 \alpha} = 9,8\text{МПа}.$$

### 2. Определение геометрических характеристик сечения

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

### 3. Проверка несущей способности

Несущая способность на смятие вдоль волокон (проверка подвеса):

$$N_{см} = N_c = 200\text{кН}, T_{см} = R_{см} * F_{см} = 12,03 * 0,0150 = 180,0\text{кН},$$
$$N_{см} = N_c = 200\text{кН} > 180,0\text{кН} = T_{см}.$$

Условие не выполняется, прочность на смятие стойки не обеспечена. Увеличим сечение за счет  $h$  до большего размера:  $h=17,5\text{ см}$ ,  $F_{см} = 10 * 17,5 = 175\text{ см}^2$ .

Несущая способность нового сечения:  $T_{см} = R_{см} * F_{см} = 12,03 * 0,0175 = 0,2105\text{ МН} = 210,5\text{ Кн}$ .

$$N_{см} = N_c = 200\text{кН} < 210,5\text{ Кн}.$$

Прочность на смятие стойки обеспечена.

Несущая способность на смятие под углом  $30^\circ$  (проверка опорной части ригеля):

$$N_{см} = N_c = 200 \text{ кН}, T_{см,30} = R_{см,30} * F_{см} = 9,8 * 0,0175 = 171,15 \text{ кН},$$

$$N_{см} = N_c = 200 \text{ кН} > 171,15 \text{ кН} = T_{см,30}.$$

Условие прочности на смятие опорной части ригеля не выполняется.

Как и в примере 5.1, наиболее целесообразно увеличение площади смятия осуществить за счет увеличения только высоты сечения  $h$  наклонной стойки. Выбираем из сортамента пиломатериалов следующий после  $150 \text{ мм}$  размер –  $175 \text{ мм}$ , и проверяем сечение:  $b \times h = 100 \times 175 \text{ мм}$ .

$$F_{см} = b * h = 10 * 17,5 = 175 \text{ см}^2 = 0,0175 \text{ м}^2.$$

$$T_{см,30} = R_{см,30} * F_{см} = 11,464 \text{ МПа} * 0,0175 \text{ м}^2 = 0,2006 \text{ мН} = 200,6 \text{ кН} > 180 \text{ кН} = N_{см} = N_c.$$

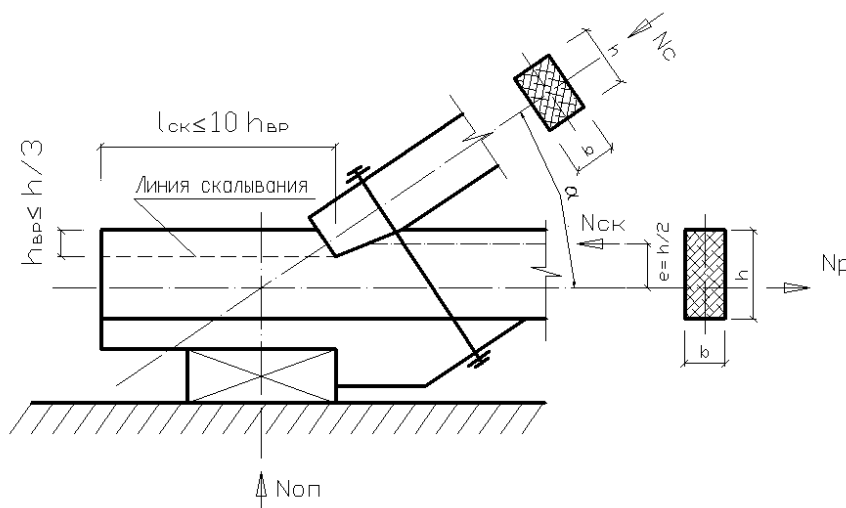
Условие прочности на смятие опорной части ригеля выполняется.

**4. Вывод:** Окончательно устанавливаем сечения элементов – сечение ригеля  $100 \times 225 \text{ мм}$ .

Далее самостоятельно решаем задачу с исходными данными, значения которых указаны в конце методического пособия.

### Пример 5.3 (лобовая врубка)

Проверить несущую способность лобовой врубки с одним зубом опорного узла фермы. Стержни верхнего и нижнего пояса имеют сечения  $b \times h = 10,0 \times 15,0 \text{ см}$ . Усилие в верхнем поясе:  $N_c = 6000 \text{ кг}$ . Стержень верхнего пояса расположен под углом  $\alpha = 40^\circ$  к стержню нижнего пояса (рис. 5.4). Глубина врубки:  $h_{вр} = 5,0 \text{ см}$ . Расстояние от нижней точки врубки до конца пояса  $l_{ск} = 30,0 \text{ см}$ . Материал – береза 2-го сорта. Условия эксплуатации – внутри неотапливаемого помещения (чердак) в нормальной зоне, в режиме загрузки «в», срок службы – 50 лет, класс надежности по ответственности – КС-2.



**Рис. 5.4.** Лобовая врубка

Решение:

- 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 таблице 1[1] или таблице 2.4 пособия, а при необходимости – по дополнительным характеристикам эксплуатации (табл. А2 приложения А[1] или таблице 2.6 приложения пособия). В нашем случае не задана влажность, поэтому воспользуемся дополнительными данными приложения А2 [1] или таблицей 2.6 пособия. Видим, что наиболее близкие к заданным условиям п. 3.2 – под навесом в неотапливаемой зоне влажности – 3-й класс условий эксплуатации. По таблице 9[1] или таблице 2.4 пособия находим:  $m_b = 0.85$ .

**1. Учет породы древесины**

По таблице 5[1] или 2.3 пособия для березы и для напряженного состояния «смятие вдоль волокон» определяем коэффициент:  $m_{п1} = 1,1$ , смятие поперек волокон:  $m_{п2} = 1,6$ , скалывание:  $m_{п3} = 1,3$ .

По таблице 3 [1] или 2.1 пособия определяем базовое расчетное сопротивление смятию вдоль волокон стандартной породы древесины 2-го сорта (п. 1а)  $R_{см}^A = 19,5 \text{ МПа}$  ( $195 \text{ кг/см}^2$ ). Базовое расчетное сопротивление смятию поперек волокон древесины 2-го сорта (п. 4а)  $R_{см,90} = 4,5 \text{ МПа}$  ( $45 \text{ кг/см}^2$ ). Базовое расчетное сопротивление скалыванию вдоль волокон

древесины 2-го сорта (п. 5в):  $R_{ск}=3,2\text{МПа}$  ( $32\text{ кг/см}^2$ ), в режиме загрузки «в», срок службы – 50 лет, класс надежности по ответственности – КС-2.

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

$$R_{см} = R_{см}^A * m_{дл} * m_n * m_b * \frac{m_{сс}}{\gamma_n} = 19,5 * 0,66 * 1,0 * 1 * 0,85 * \frac{1}{1} = 12,03\text{МПа}$$

( $120,3\text{ кг/см}^2$ ),

$$R_{см,90} = R_{см,90}^A * m_{дл} * m_n * m_b * \frac{m_{сс}}{\gamma_n} = 4,5 * 0,66 * 1,6 * 0,85 * \frac{1}{1} = 4,04\text{ МПа}$$

( $40,5\text{ кг/см}^2$ ).

$$R_{ск} = R_{ск}^A * m_{дл} * m_n * m_b * \frac{m_{сс}}{\gamma_n} = 3,2 * 0,66 * 1,3 * 0,85 * \frac{1}{1} = 2,33\text{ МПа}$$

( $233\text{ кг/см}^2$ ).

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

$$R_{см,\alpha} = \frac{R_{см}}{1 + \left( \frac{R_{см}}{R_{см,90}} - 1 \right) \sin^3 \alpha} = \frac{12,03}{1 + \left( \frac{12,03}{4,04} - 1 \right) \sin^3 40} = 76,69\text{ кг/см}^2.$$

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

$$R_{ск}^{ср,A} = \frac{R_{ск}^A}{1 + \beta \frac{l_{ск}}{e}} = \frac{32}{1 + 0,25 \frac{30}{0,5 * 15}} = \frac{32}{1 + 1} = 16,0\text{ кг/см}^2.$$

$$R_{ск}^{ср} = R_{ск}^{ср,A} * m_{дл} * m_n * m_b * \frac{m_{сс}}{\gamma_n} = 16 * 0,66 * 1,3 * 0,85 * \frac{1}{1} = 11,67\text{ кг/см}^2,$$

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

## 2. Определение геометрических характеристик сечения

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

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

## 3. Проверка несущей способности

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

$$N_{см} = N_c = 6000\text{ кг}, T_{см,40} = R_{см,40} * F_{см} = 76,69 * 65,27 = 5005,55\text{ кг},$$

$$N_{см} = 6000\text{ кг} > 5005,55\text{ кг} = T_{см,40}.$$

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

При невыполнении условий по смятию следует увеличить  $F_{см}$  либо за счет повышения  $h_{вр}$  до предельного значения  $h_{вр}^{np} = h/3$ , либо за счет увеличения высоты сечения  $h$ , затем пропорционально увеличить  $h_{вр}$  и  $l_{ск}$ . Поскольку увеличение площади  $F_{см\alpha}$  уже исчерпано за счет увеличения  $h_{вр}$ , то применяем новое значение  $h=17,5$  см, при  $h_b = 1/3h=5.83$  см.

$$\text{Новая площадь смятия: } F_{см,40} = \frac{bh_{вр}}{\cos 40^\circ} = 10 * 5.83 / 0.77 = 75,71 \text{ см}^2.$$

$$\text{Новая максимальная площадь скалывания: } F_{ск} = l_{ск} * b;$$

$$l_{ск} \leq 10h_p = 10 * 5,83 = 58,3 \text{ см: } F_{ск} = 58,3 * 10 = 583 \text{ см}.$$

### **Проверка несущей способности нового сечения**

$$N_{см} = N_c = 6000 \text{ кг: } T_{см,40} = R_{см 40} * F_{см 40} = 76,69 * 75,71 = 5806,2 \text{ кг}.$$

$$N_{см} = 6000 \text{ кг} > 5806,2 \text{ кг} = T_{см 40}.$$

Условие не выполняется, увеличиваем  $h=20,0$  см.

$$F_{см 40} = b * \frac{h_{вр}}{\cos 40} = 10 * \frac{6.67}{0.77} = 86,66 \text{ см}^2 \quad h_{вр} = \frac{1}{3} * 200 = 66,7 \text{ см}.$$

$$l_{ск} \geq 10h_{вр} = 66,7 \text{ см.; } F_{ск} = l_{ск} * b = 66.7 * 10 = 667 \text{ см}.$$

#### **Проверка:**

$$T_{см 40} = R_{см 40} * F_{см 40} = 76,69 * 86,66 = 6645 \text{ кг} < 6000 \text{ кг} = N_c.$$

Условие по смятию выполняется. Проверяем последнее сечение на скалывание вдоль волокон.

$$N_{ск} = N_c * \cos \alpha = 6000 * \cos 40^\circ = 6000 * 0.766 = 4596 \text{ кг}.$$

$$T_{ск} = R_{ск}^{cp} * F_{ск} = 11,67 * 667 = 7783,89 \text{ кг} > 4596 \text{ кг} = N_{ск}$$

Условие по скалыванию выполняется с запасом  $\frac{T_{ск}}{N_{ск}} =$

1.69 раза. Поскольку зависимость  $T_{ск}$  от  $l_{ск}$  линейная, то можем уменьшить  $l_{ск} = \frac{66.7}{1.69} = 39,47$  см. В целях экономии древесины принимаем:

$$l_{ск} = 40 \text{ см}.$$

**P.S. :** сейчас видим, что при втором увеличении сечения можно было вместо увеличения  $h$  увеличить  $b$  до 12,5 см, а  $h$  оставить 17,5 см.

**4. Вывод:**  $b=10$  см,  $h=20,0$  см,  $l_{ск} = 40$  см.

Исходные данные для самостоятельного решения приведены в приложении 1 пособия.

## Занятие № 6

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

Расчет нагельных соединений производят из условий:

- изгиба нагеля;
- смятия элементов соединения.

Базовая расчетная несущая способность цилиндрического нагеля на один шов сплавиваемых элементов из стандартной породы древесины при направлении действия усилий, передаваемых нагелями вдоль волокон ( $[T_u]$ ,  $[T_{см}]$ ), определяется по таблице 18[1] и таблице 2.19 пособия. Порода древесины, другие температурно-влажностные условия эксплуатации, угол приложения усилий и т.п. учитываются соответствующими коэффициентами:

- для изгиба нагеля  $T_u = [T_u] * \sqrt{m_n * m_v * m_m * m_d * m_a * m_{cc} * k_\alpha * k_n}$  ;

- для смятия древесины  $T_{см} = [T_{см}] * m_n * m_v * m_d * m_m * m_a * m_{cc} * k_\alpha * k_n$ .

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

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

Число нагелей в соединении определяется по формуле:  $n_n \geq \frac{N}{T_{min} * n_{ш}}$ ,

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 (п. 8.20 [1]). 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. 8.20 [1]). 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. 8.20 [1]).



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

### Нормы расстановки нагелей

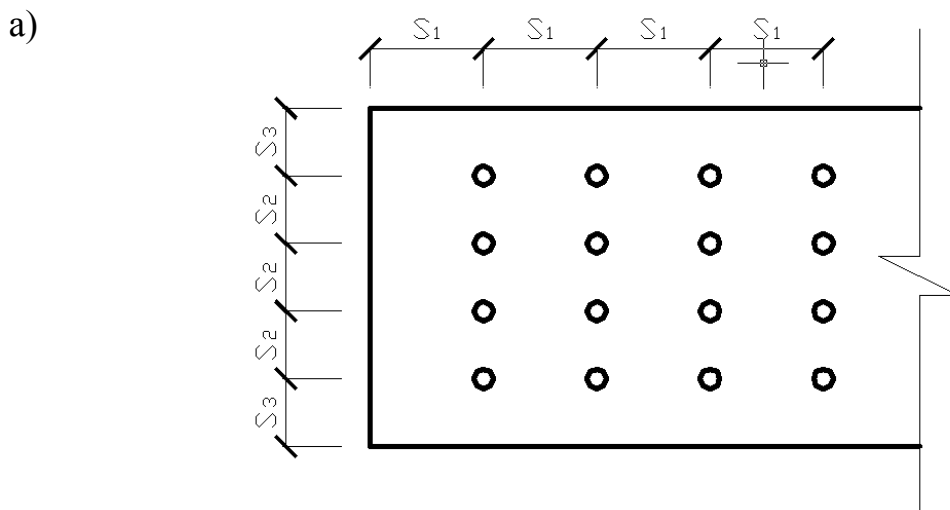
СНиП II-25-80 рекомендует использовать следующую расстановку нагелей (рис. 6.1).

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

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

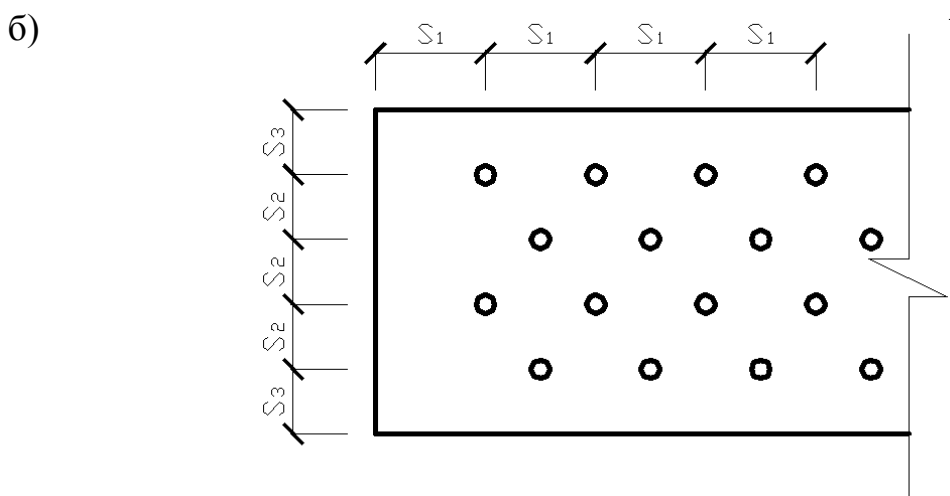
Рекомендуемые диаметры болтов приведены в приложении, таблица 3.

Рекомендуемые размеры принимаемых гвоздей приведены в приложении, таблица 3.



**Рис. 6.1.** Расстановка нагелей:

а) прямая расстановка нагелей



**Рис. 6.1.** Расстановка нагелей:

б) расстановка в шахматном порядке

### **Пример 6.1 (болтовое соединение)**

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

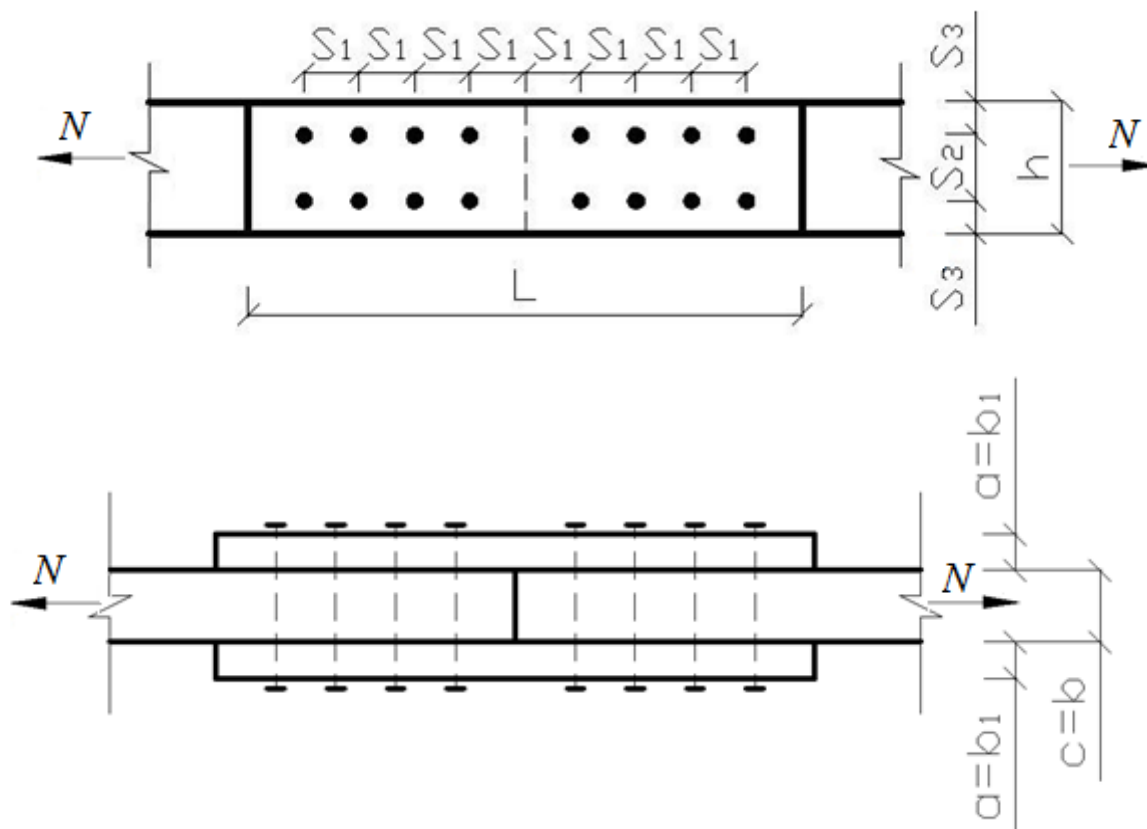
#### Решение:

- Определение всех необходимых коэффициентов.
- Учет температурно-влажностных условий эксплуатации конструкции производится по классу условий эксплуатации, который устанавливается по эксплуатации или относительной влажности по таблице 1[1] или таблице 2,4 приложения 2 пособия или по дополнительным характеристикам эксплуатации (таблица А2 приложения А[1] или таблица 2,6 приложения 2 пособия). В нашем примере не задана влажность, поэтому воспользуемся дополнительными данными приложения А2[1] или таблицей 2.6 пособия. Видим, что наиболее близок к заданным условиям (п. 4а – влажные атмосферные условия) – 4-й класс;  $m_b = 0,75$ .

#### **1. Учет породы древесины**

По таблице 5[1] или 2,3 пособия для березы и для напряженного состояния «смятие вдоль волокон» определяем коэффициент  $m_n = 1,1$ .

Учет срока производительности – по таблице 13[1] или 2.10 пособия, 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:  $d = h/9,5 = 200/9,5 = 21 \text{ мм}$ .

Ближайший меньший диаметр болта – 20 мм. Принимаем болт диаметром 20 мм ( $d=2$  см, т.к. в таблице 18[1] или 2.19 пособия 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 ( $k_{\alpha}=1$ ). Толщина среднего элемента  $c=b=15,0 \text{ см}$  (в таблице 18[1] или 2.19 пособия обозначение толщины среднего слоя принято за «с»), следовательно

$c=15$  см. Толщина крайнего элемента (накладка)  $a=b_1=8,0$  см (в таблице 18[1] или 2.19 пособия обозначение толщины крайнего слоя принято за «а»), следовательно,  $a=8$  см.

Базовая несущая способность одного шва болта равна (таблица 18[1] или 1.19 пособия):

- по изгибу болта  $[T_u] = 2,2*d^2 + 0,025*a^2 = 2,8*2^2 + 0,025*8^2 = 10,4$  кН, но не более  $3,1*d^2 = 3,1*2^2 = 12,4$  кН;

- по смятию крайнего элемента  $[T_{cm}^{kp}] = 0,8*a*d = 0,8*8*2 = 12,8$  кН;

- по смятию среднего элемента  $[T_{cm}^{cp}] = 0,5*c*d = 0,5*15*2 = 15$  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):

- по изгибу болта:

$$T_u = [T_u] * \sqrt{m_n * m_e * m_{cc}} = 10,4 * \sqrt{1,1 * 0,75 * 1} = 9,45 \text{ кН};$$

- по смятию крайнего элемента  $T_{cm}^{kp} = [T_{cm}^{kp}] * m_n * m_e * m_{cc} = 12,8 * 1,1 * 0,75 * 1 = 10,56$  кН;

- по смятию среднего элемента  $T_{cm}^{cp} = [T_{cm}^{cp}] * m_n * m_e * m_{cc} = 15 * 1,1 * 0,75 * 1 = 12,375$  кН.

Расчетная несущая способность – наименьшее значение из приведенных трех:

$$T = T_{min} = 9,45 \text{ кН}.$$

#### **4. Определение количества болтов и конструирование узла соединения**

Требуемое количество болтов в половине стыка:

$$n = N / (T_{min} * n_u) = 160 \text{ кН} / (9,45 \text{ кН} * 2) = 8,46 \text{ шт.}$$

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:  $(10/2 + 1) * S_1 = 6 * 7 * d = 6 * 7 * 20 = 840$  мм (здесь учтено, что  $S_1 = 7 * d$ ). Всего в стыке будет 20 болтов, расположенных в два ряда, и длина всей накладки:  $L = 2 * 840 = 1680$  мм.

**5. Вывод:** Принимаем диаметр болтов 20 мм, количество болтов на половине стыка 20 шт., длина накладки  $L = 1680$  мм.

Исходные данные для самостоятельного решения по занятию – в таблице 6.1.

### **Пример 6.2 (гвоздевое соединение)**

Подобрать размер и число гвоздей в узле крепления вертикальной стойки сечением  $b \times h = 5,0 \times 15,0 \text{ см}$  к двум горизонтальным элементам того же сечения (рис. 6.3.). В соединении к стойке приложено продольное растягивающее усилие  $N = 800$  кг. Материал – осина. Условия эксплуатации – на открытом воздухе, в нормальной зоне, сроком службы – 50 лет.

#### Решение:

- Определение всех необходимых коэффициентов.

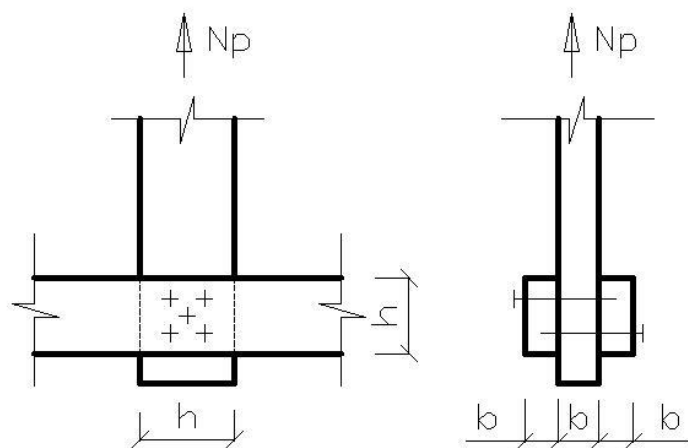
- Учет температурно-влажностных условий эксплуатации конструкции производится по классу условий эксплуатации, который устанавливается по эксплуатации или относительной влажности по таблице 1[1] или таблице 2.4 приложения 2 пособия или по дополнительным характеристикам эксплуатации (таблица А2 приложения А[1] или таблица 2.6 приложения 2 пособия). В нашем примере не задана влажность, поэтому воспользуемся дополнительными данными приложения А2[1] или таблицей 2.6 пособия. Видим, что наиболее близок к заданным условиям (п. 4а – влажные атмосферные условия) – 4-й класс;  $m_b = 0,75$ .

#### **1. Учет породы древесины**

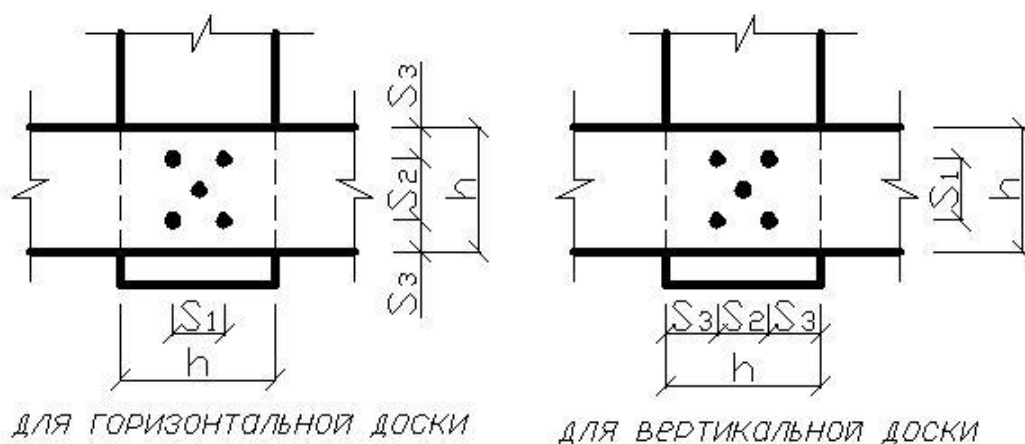
По таблице 5[1] или 2,3 пособия для осины и для напряженного состояния – смятие вдоль волокон – определяем коэффициент  $m_n = 0,8$ , смятие поперек волокон;  $m_n = 1,0$ .

#### **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,  $h = S_3 + S_1 + S_3 = 4d + 15d + 4d = 23d$ . Отсюда максимальный диаметр гвоздя не должен быть больше  $d = h/23 = 150/23 = 6,52 \text{ мм}$ .



**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 – 6 мм. Принимаем гвоздь диаметром 6 мм, длиной 200 мм ( $d=0,6\text{см}$ , т.к. в таблице 18[1] или 2.19 пособия подставляемые величины толщин и диаметров должны быть выражены в см).

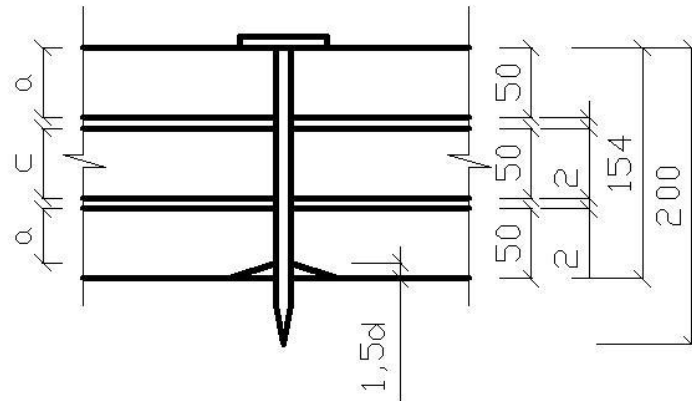
### 3. Определение несущей способности соединения

Соединение классифицируется как симметричное, с двумя швами сплачивания ( $n_{шв}=2$ ). Толщина среднего элемента  $c=b=50\text{ мм}$  (в таблице 17 [1] обозначение толщины среднего слоя принято за «с»), следовательно,  $c=5\text{см}$ . Толщина крайнего элемента определяется по расчетной длине защемления конца гвоздя (в таблице 18[1] или 2.19 пособия 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 защемления конца гвоздя равна толщине доски ( $b$ ) минус длина заостренной части гвоздя ( $1,5d$ ).

$$a = b - 1,5d = 50 - 9 = 41 \text{ мм.}$$

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



**Рис. 6.5.** К определению расчетной длины защемления конца гвоздя

Базовая несущая способность одного шва гвоздя равна (таблица 17 [1]):

- по изгибу гвоздя  $[T_u] = 3,1 * d^2 + 0,012a^2 = 3,1 * 0,6^2 + 0,012 * 4,1^2 = 1,316 \text{ кН}$ ,

но не более  $5 * d^2 = 5 * 0,6^2 = 1,8 \text{ кН}$ .

- по смятию крайнего элемента  $[T^{kp}_{cm}] = 0,8 * a * d = 0,8 * 4,1 * 0,6 = 1,968 \text{ кН}$ ;

- по смятию среднего элемента  $[T^{cp}_{cm}] = 0,5 * c * d = 0,5 * 5 * 0,6 = 1,50 \text{ кН}$ .

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  $T_u = [T_u] * \sqrt{m_n * m_g * m_{cc}} = 1,316 * \sqrt{0,8 * 0,75 * 1} = 1,02 \text{ кН}$ ;

- по смятию крайнего элемента  $T^{kp}_{cm} = [T^{kp}_{cm}] * m_n * m_g * m_{cc} = 1,968 * 1,0 * 0,75 = 1,476 \text{ кН}$  (здесь учтено, что крайний элемент сминается поперек волокон, т.е.  $m_n = 1,0$ );

- по смятию среднего элемента  $T^{cp}_{cm} = [T^{cp}_{cm}] * m_n * m_g * m_{cc} = 1,50 * 0,8 * 0,75 = 0,9 \text{ кН}$  (здесь учтено, что средний элемент сминается вдоль волокон, т.е.  $m_n = 0,8$ ).

Расчетная несущая способность – наименьшее значение из приведенных трех:

$$T = T_{min} = 0,9кН.$$

#### **4. Определение количества гвоздей в узле соединения**

Требуемое количество гвоздей в стыке:

$$n = N/(T_{min} * n_{шт}) = 8,00 кН / (0,9кН * 2) = 4,44 шт.$$

Принимаем 5 гвоздей в стыке размерами 200х6 мм.

**5. Вывод:** Принимаем гвозди 200х6 в количестве 5 шт., размещение гвоздей показано на рис. 6.4.

Исходные данные для самостоятельного решения по занятию – в таблице 6.2.

### **Занятие № 7**

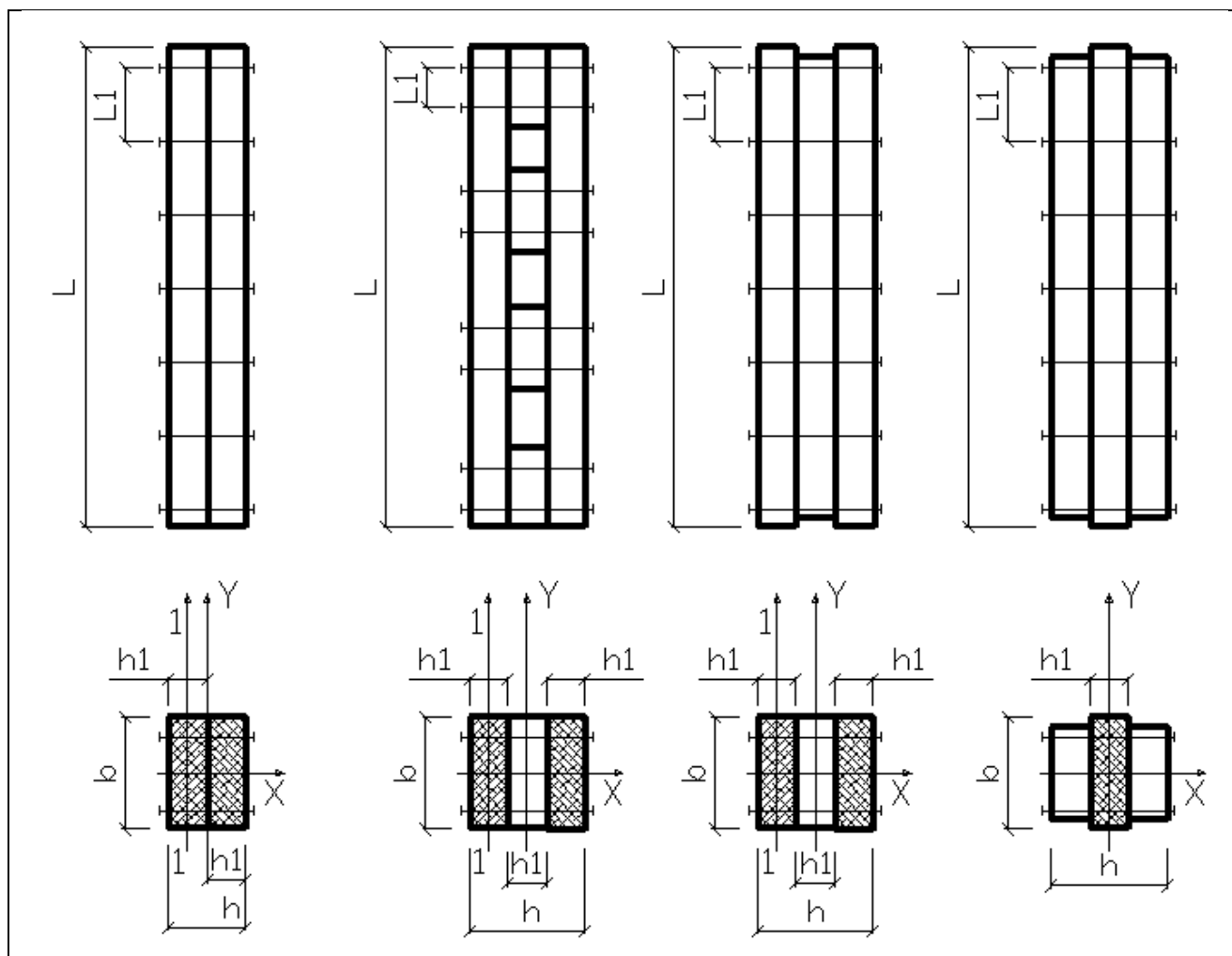
#### **Тема: Расчет составных стоек**

В связи с ограниченностью сортамента пиломатериалов возникает ситуация, когда требуемое сечение стойки превышает максимальные размеры цельных брусьев, выпускаемых промышленностью. В этом случае 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):





а)

б)

в)

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

- 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).

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

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

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:

$$\lambda_{np} = \sqrt{(\mu_y * \lambda_y)^2 + \lambda_1^2}, \text{ формула 17[1]},$$

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:  $\lambda_1 = 0$ );

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

Здесь  $k_c$  – коэффициент податливости соединений (таблица 14[1] или таблица 2.16 пособия);

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

$n_{ш}$  – 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  $\lambda > 70$   $\varphi = 3000/(\lambda)^2$ ,

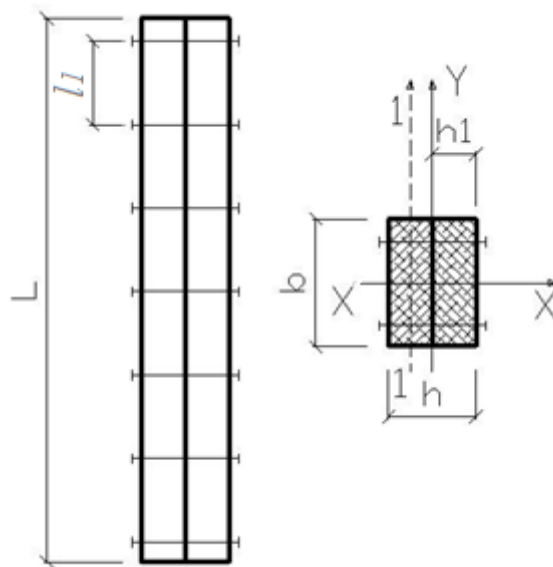
и затем находят минимальный  $\varphi_{min}$  из двух  $\varphi_x$  и  $\varphi_y$ .

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

**Пример 7**

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 загрузки «b»; срок службы – 50 лет, класс надежности по ответственности – КС-2.



**Рис.7.2.** Составная стойка

### Решение:

- 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 таблице 1[1] или таблице 2.4 приложения 2 пособия или по дополнительным характеристикам эксплуатации (таблица А2 приложения А[1] или таблица 2.6 приложения 2 пособия. В нашем примере не задана влажность, поэтому воспользуемся дополнительными данными приложения А2[1] или таблицей 2.6 пособия. Видим, что наиболее близок к заданным условиям (п. 4а – влажные атмосферные условия) – 4-й класс;  $m_b=0,75$ .

### **1. Учет породы древесины**

По таблице 5[1] или 2,3 пособия для пихты и для напряженного состояния «сжатие» определяем коэффициент:  $m_n=0,8$ .

По таблице 3 [1] или 2.1 пособия определяем базовое расчетное сопротивление сжатию сосны, ели, лиственницы 2-го сорта (п. 1а)  $R_c^A=19,5\text{МПа}$  ( $195\text{ кг/см}^2$ ) в режиме загрузки «b», срок службы – 50 лет, класс надежности по ответственности – КС-2.

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

$$R_c = R_c^A * m_{дл} * m_n * m_b * \frac{m_{сс}}{\gamma_n} = 19,5 * 0,66 * 0,8 * 0,75 * \frac{1}{1} = 7,772 \text{ МПа.}$$

### **2. Вычисление геометрических характеристик**

#### **для заданного сечения элемента**

Определяем геометрические характеристики как для целого сечения.

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

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

$$F_{расч} = F_{бр} = h * b = 20 * 13 = 260 \text{ см}^2 = 0,0260 \text{ м}^2,$$

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

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

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] или 2.16 пособия определяем:

$k_c = 1/(5 \cdot d^2) = 1/(5 \cdot 1,2^2) = 0,139$ , учитывая, что  $d = 1,2$  см  $< 1,43 = (1/7) \cdot h_1$ .

$n_{uw} = 1$ , 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  $\mu = 1$ .

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

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

Приведенная гибкость  $\lambda_y = \lambda_{np} = \mu_y \cdot \lambda_c = 1,467 \cdot 48,53 = 71,19$ .

$\varphi_y = 3000/(\lambda_y)^2 = 3000/(71,19^2) = 0,59$ ,  $\varphi_x = 3000/(\lambda_x)^2 = 3000/(74,67^2) = 0,538$ ,

$\varphi_{min} = 0,538$ .

### **3. Вычисление несущей способности составной стойки**

Несущая способность составной стойки определяется по выражению:

$$N = \varphi_{min} \cdot F_{расч} \cdot R_c = 0,538 \cdot 0,0260 \text{ м}^2 \cdot 7,772 \text{ МПа} = 0,108 \text{ МН} = 108 \text{ кН}.$$

**4. Вывод:** Несущая способность составной стойки равна 108 кН.

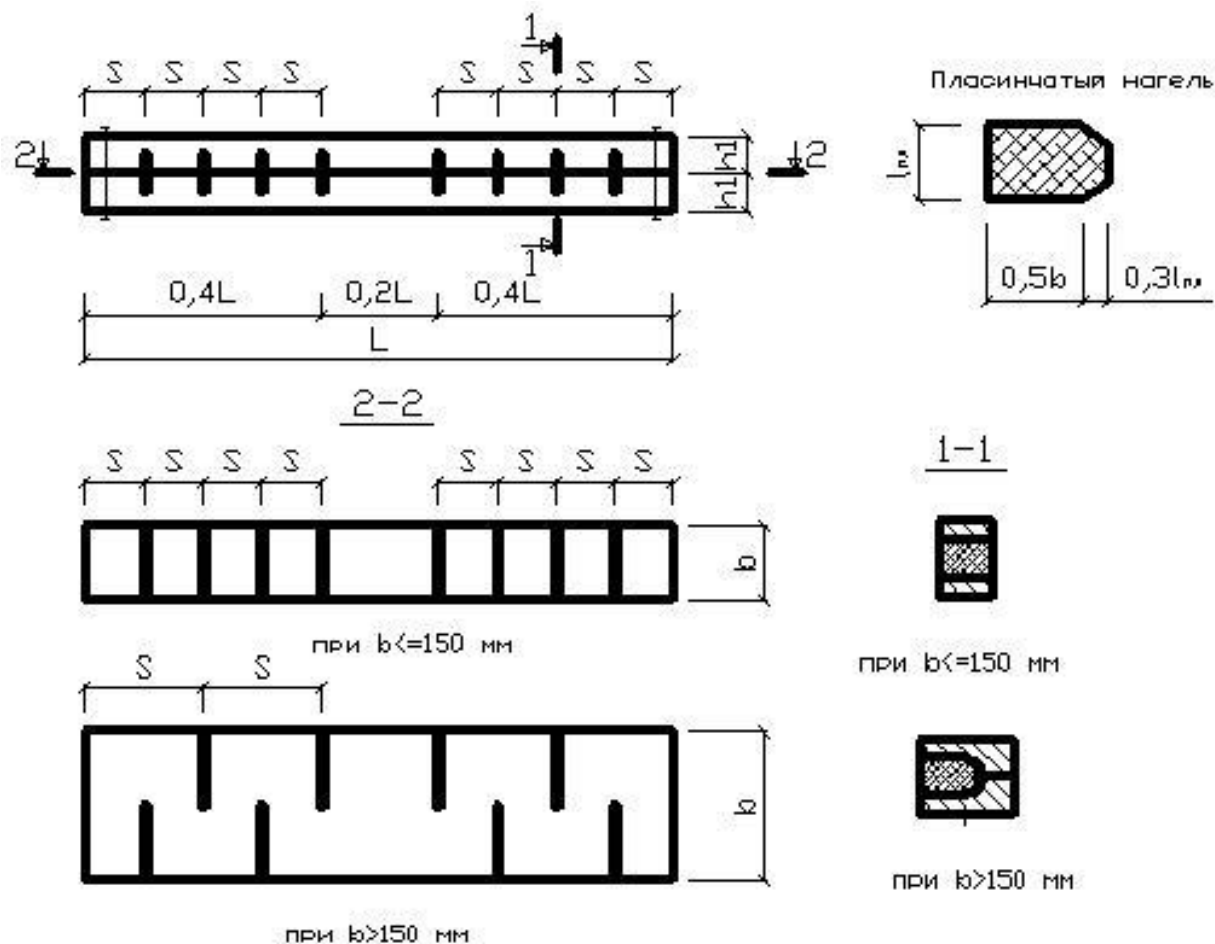
Исходные данные для самостоятельного решения по занятию в таблице 7.

## **Занятие № 8**

### **Тема: Расчет составных балок**

Ограниченность сортамента пиломатериалов приводит к необходимости выполнять сечение балки из нескольких брусьев, соединенных между собой. Балки, составленные из 2–3 брусьев и соединенные пластинчатыми деревянными нагелями, называют балками Деревягина (рис. 8.1). 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  $\delta_{пл} - 12\text{мм}$ , длина пластины  $l_{пл} - 58\text{мм}$ . Ширина пластины  $b_{пл}$  определяется шириной сечения балки. При ширине балки  $b \leq 150\text{ мм}$   $b_{пл} = b$ , при  $b > 150\text{ мм}$   $b_{пл} = 0,5b + 0,3l_{пл}$ .



**Рис. 8.1.** 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:

$$T_{пл} = 1,15 \cdot b_{пл} \cdot n_{пл} \cdot m_d \text{ (в кг)}.$$

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

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

Расчетное количество пластинчатых нагелей размещают на балке, как показано на рис. 8.1. 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.

$$f/l \leq [f/l].$$

$$f/l = \frac{(5 \cdot q_n \cdot l^3)}{(384 \cdot E \cdot J_{кж})}, \quad [f/l] - \text{допускаемый относительный прогиб}$$

балок (таблица 16[2]) и таблица 2.24 пособия.

### Пример 8

Рассчитать составную балку из двух брусьев длиной  $L=5\text{м}$  под равномерно распределенную расчетную погонную нагрузку  $q=300\text{кз/м}$ , нормативная погонная нагрузка  $q^н=240\text{кз/м}$ . Ширина бруса  $b=15\text{см}$ . Материал – сосна 2-го сорта. Условия эксплуатации – внутри неотапливаемого помещения в нормальной зоне, в режиме загрузки «в», срок службы – 50 лет, класс надежности по ответственности – КС-2.

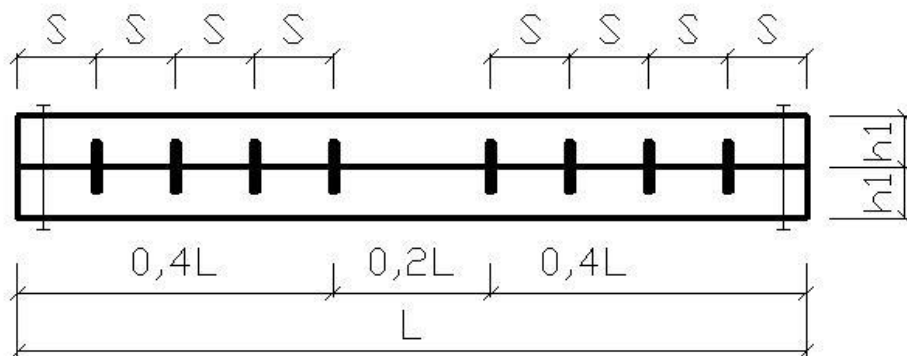


Рис. 8.2. Составная балка

### Решение:

- 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 таблице 1[1] или таблице 2.4 приложения 2 пособия или по дополнительным характеристикам эксплуатации (таблица А2 приложения А[1] или таблица 2.6 приложения 2 пособия. В нашем примере не задана влажность, поэтому воспользуемся дополнительными данными приложения А2[1] или таблицей 2.6 пособия. Видим, что наиболее близок к заданным условиям (п. 4а – влажные атмосферные условия) – 2-й класс;  $m_b=0,9$ .

#### **1. Учет породы древесины**

По таблице 3 [1] или 2.1 пособия определяем базовое расчетное сопротивление изгибу для стандартной породы древесины 2-го сорта (п. 1а)  $R_u^A=13\text{МПа}$  ( $130\text{ кг/см}^2$ ).

По таблице 15[1] или 2.23 пособия определяем коэффициент  $k_w=0,875$  в зависимости от пролета и числа слоев в элементе. В нашем случае балка состоит из двух брусьев (двух слоев) пролетом 5 м (производим интерполяцию между значениями 0,85 для пролета 4 м и 0,9 – для пролета 6 м).

Аналогично определяем коэффициент  $k_{жс}=0,7$  по таблице 15[1] или 2.23 пособия в зависимости от пролета и числа слоев в элементе. В нашем случае балка состоит из двух брусьев (двух слоев) пролетом 5 м (производим интерполяцию между значениями 0,65 для пролета 4 м и 0,75 – для пролета 6 м).

В режиме загрузки «b» срок службы – 50 лет, класс надежности по ответственности – КС-2.

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

$$R_c = R_u^A * m_{дл} * m_n * m_b * \frac{m_{сс}}{\gamma_n} = 19,5 * 0,66 * 1 * 0,9 * \frac{1}{1} = 11,5\text{МПа} = 115\text{кг/см}^2.$$

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



**3. Вычисляем требуемые геометрические характеристики для сечения элемента:**

$$W_{mp} = \frac{M_{max}}{(R_{и} * kw)} = \frac{93750}{(150 * 0,875)} = 824,175 \text{ см}^3.$$

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

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

#### **4. Назначение сечения балки**

Принимаем балку, составленную из двух брусьев  $b \times h_1 = 15 \times 10 \text{ см}$ , общее сечение балки  $b \times h = 15 \times 20 \text{ см}$ .

Определяем момент инерции сечения как для целого.

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

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

#### **5. Проверки принятого сечения и конструирование соединения**

Несущая способность одного пластинчатого нагеля будет равна:

$$T_{пл} = 1,15 \cdot b_{пл} \cdot m_{дл} \cdot m_n \cdot m_b \cdot \frac{m_{cc}}{\gamma_n} = 1,55 \cdot 15 \cdot 0,66 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot \frac{1}{1} = 1024,65 \text{ кг}$$

Количество необходимых нагелей определим из соотношения:

$$n_{пл} = \frac{1,8 \cdot M_{max}}{(h \cdot T_{пл})} = \frac{1,8 \cdot 93750}{(20 \cdot 1024,65)} = 7,9 \text{ шт.}$$

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

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

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

$$f/l = \frac{(5 \cdot q_n \cdot l^3)}{(384 \cdot E \cdot J \cdot k_{э})} = \frac{(5 \cdot 240 \cdot 5^3 \cdot 10^3)}{(384 \cdot 100000 \cdot 10000 \cdot 0,7)} = 1/179.$$

$f/l = 1/179 > 1/200 = [f/l]$ . Здесь  $[f/l] = 1/200$  (для балок чердачных перекрытий, таблица 16 п. 2 [1]). Жесткость балки не обеспечена.

Увеличиваем сечение и принимаем балку, составленную из двух брусьев  $b \times h_1 = 15 \times 12,5 \text{ см}$ , общее сечение балки  $b \times h = 15 \times 25 \text{ см}$ .

Определяем момент инерции сечения как для целого.

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

Количество необходимых нагелей

$$n_{\text{пл}} = 1,8 \cdot M_{\text{max}} / (h \cdot T_{\text{пл}}) = 1,8 \cdot 93750 / (25 \cdot 1125) = 6 \text{ шт.}$$

Принимаем количество пластинчатых нагелей  $n_{\text{пл}} = 6$  шт (четное число, равное или большее необходимого числа нагелей).

Проверяем возможность размещения этого числа нагелей на балке. На длине  $0,4L$  должно уместиться 3 нагеля с шагом не менее  $S = 9 \cdot \delta_{\text{пл}}$ , т.е.  $0,4L = 0,4 \cdot 500 = 200 \text{ см} > 3 \cdot S = 3 \cdot 9 \cdot \delta_{\text{пл}} = 3 \cdot 9 \cdot 1,2 = 32,4 \text{ см}$ .

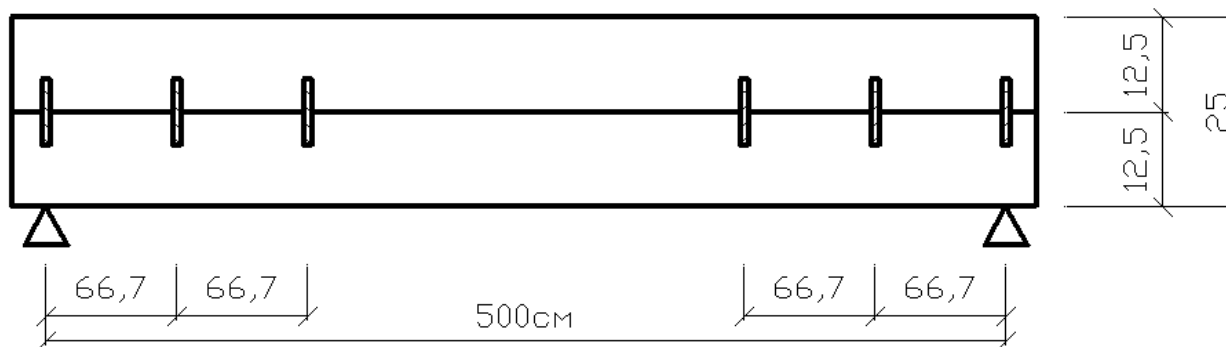
Таким образом, на опорном участке может разместиться требуемое число пластинчатых нагелей с шагом  $0,4L/3 = 0,4 \cdot 500 / 3 = 200 / 3 = 66,7 \text{ см}$ .

### **Проверка жесткости балки**

$$f/l = \frac{(5 \cdot q_n \cdot l^3)}{(384 \cdot E \cdot J \cdot k_{жс})} = \frac{(5 \cdot 240 \cdot 5^3 \cdot 10^3)}{(384 \cdot 100000 \cdot 19531,25 \cdot 0,7)} = 1/350.$$

$f/l = 1/350 < 1/200 = [f/l]$ . Здесь  $[f/l] = 1/200$  (для балок чердачных перекрытий, таблица 16 п. 2[2]) и табл. 2.24 пособия.

**6. Вывод:** Составная балка должна быть выполнена из двух брусьев сечением  $15 \times 12,5 \text{ см}$  каждый, соединенных 6 пластинчатыми нагелями (дубовыми или березовыми) размерами шириной  $150 \text{ мм}$ , длиной  $58 \text{ мм}$ , толщиной  $12 \text{ мм}$  с шагом  $66,7 \text{ см}$ .



**Рис. 8.3.** Размещение пластинчатых нагелей на балке

Исходные данные для самостоятельного решения по занятию в таблице 8 приложения.

### **Список использованной литературы**

1. СП 64.13330.2017. Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиПШ-25-80\*.– М.,100 с.
2. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП2.01.07-85\*.– М., 80 с.
3. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения и требования. ГОСТ 27751-2014.– М.,14 с.

## Приложение 1

Таблица 1

Исходные данные для самостоятельного решения по занятию № 1

№ вар-та по журналу	Вид напряженного состояния, сечение (высота и ширина)	Древесина		Условия эксплуатации		Режим нагружения	Срок службы (лет)	Класс надежности
		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 65 %	А	50	КС-1
2		Ель	2		свыше 65% до 75%	Б	75	КС-2
3		Кедр сибирский	1		свыше 75% до 85%	В	100	КС-3
4	Изгиб, брус (125x100)	Пихта	1	Внутри неотапливаемых помещений	В сухой зоне	Г	50	КС-1
5		Дуб	2		в нормальной зоне	Д	75	КС-2
6		Ясень	3		во влажной зоне	Е	100	КС-3
7	Сжатие, брус (100x75)	Клен	1	На открытом воздухе	В сухой зоне	Ж	50	КС-1
8		Граб	2		в нормальной зоне	И	75	КС-2
9		Акация	3		во влажной зоне	К	100	КС-3
10	Скалывание вдоль волокон при изгибе неклееных элементов	Береза	1	Внутри отапливаемых помещений при температуре до 35 <sup>0</sup> С, относительной влажности воздуха	до 65 %	А	50	КС-1
11		Бук	2		свыше 65% до 75%	Б	75	КС-2
12		Вяз	3		свыше 75% до 85%	В	100	КС-3
13	Растяжение вдоль волокон неклееных элементов	Ольха	1	Внутри неотапливаемых помещений	в сухой зоне	Г	50	КС-1
14		Липа	2		в нормальной зоне	Д	75	КС-2
15		Осина	1		во влажной зоне	Е	100	КС-3

16	Изгиб, брус (125x100)	сосна	1	На открытом воздухе	в сухой зоне	Ж	50	КС-1
17		ель	2		в нормальной зоне	И	75	КС-2
18		Кедр сибирский	3		во влажной зоне	К	100	КС-3
19	Сжатие, брус (100x75)	Пихта	1	Внутри отапливаемых помещений при температуре до 35 <sup>0</sup> С, относительной влажности воздуха	до 65 %	А	50	КС-1
20		Дуб	2		свыше 65% до 75%	Б	75	КС-2
21		Ясень	3		свыше 75% до 85%	В	100	КС-3
22	Растяжение вдоль волокон неклееных элементов	Клен	1	Внутри неотапливаем ых помещений	В сухой зоне	Г	50	КС-1
23		Граб	2		В нормальной зоне	Д	75	КС-2
24		Акация	2		во влажной зоне	Е	100	КС-3
25	Изгиб, брус (125x100)	Береза	1	На открытом воздухе	В сухой зоне	Ж	50	КС-1
26		Бук	2		В нормальной зоне	И	75	КС-2
27		Вяз	3		во влажной зоне	К	100	КС-3
28	Сжатие, брус (100x75)	Ольха	1	Внутри отапливаемых помещений при температуре до 35 <sup>0</sup> С, относительной влажности воздуха	до 65 %	А	50	КС-1
29		Липа	2		свыше 65% до 75%	Б	75	КС-2
30		Осина	3		свыше 75% до 85%	В	100	КС-3

## К занятию № 2

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 варианта	Np (кг)	Ослабление		Материал		Условия эксплуатации	Режим нагружения	Срок службы (лет)	Класс ОТВ-ТИ	
		Число	диаметр (см)	порода	сорт					
1	8000	2	1.2	пихта	1	На открытом воздухе	в сухой зоне	Г	100	КС-3
2	10000	2	1.4	пихта	2		в сухой зоне	В	75	КС-2
3	12000	2	1.6	пихта	1		в сухой зоне	Б	50	КС-1
4	14000	2	1.8	лиственница	2		в сухой зоне	К	100	КС-3
5	15000	1	2	лиственница	1		в нормальной зоне	И	75	КС-2
6	18000	1	1.2	лиственница	2		в нормальной зоне	Ж	50	КС-1
7	20000	1	1.4	лиственница	1		в нормальной зоне	Е	100	КС-3
8	9000	2	1.2	ель	2		во влажной зоне	Д	75	КС-2
9	11000	1	1.6	ель	1		во влажной зоне	Г	50	КС-1
10	13000	3	2	ель	2		во влажной зоне	В	100	КС-3
11	15000	1	1.2	сосна	1	Внутри не отапливаемых помещений	в сухой зоне	Б	75	КС-2
12	17000	1	1.2	сосна	2		в сухой зоне	А	50	КС-1
13	19000	3	1	сосна	1		в сухой зоне	К	100	КС-3
14	21000	3	1	сосна	2		в сухой зоне	И	75	КС-2
15	7000	2	2.2	осина	1		во влажной зоне	Ж	50	КС-1
16	8000	2	2	осина	2		во влажной зоне	Е	100	КС-3
17	9000	2	1.8	осина	2		во влажной зоне	Д	75	КС-2
18	10000	2	1.6	осина	1		во влажной зоне	Г	50	КС-1
19	11000	2	1.4	липа	2		в нормальной зоне	В	100	КС-3
20	12000	1	1.2	липа	1		в нормальной зоне	Б	75	КС-2
21	13000	1	1.8	тополь	2	Внутри отапливаемых помещений при температуре до 35°С, относительной влажности воздуха	свыше 75 до 85%	А	50	КС-1
22	14000	1	1.6	тополь	1		свыше 75 до 85%	К	100	КС-3
23	15000	1	1.4	береза	2		свыше 75 до 85%	И	75	КС-2
24	16000	1	1.2	береза	1		свыше 65 до 75%	Ж	50	КС-1
25	17000	1	1.2	береза	2		свыше 65 до 75%	Е	100	КС-3
26	18000	3	2	береза	1		свыше 65 до 75%	Д	75	КС-2
27	19000	3	1.6	дуб	2		свыше 65 до 75%	Г	50	КС-1
28	20000	3	1.4	дуб	1		до 65%	В	100	КС-3
29	21000	3	1.2	дуб	2		до 65%	Б	75	КС-2
30	22000	3	1.2	дуб	1		до 65%	А	50	КС-1

### К занятию № 3

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

Таблица 3

Исходные данные для самостоятельного решения по занятию № 3

Номер вар-та	N (кг)	Ослабления		L (м)	сечение (см)		Материал		Условия эксплуатации	Режим нагружения	Срок службы (лет)	Класс отв-ти		
		число	диаметр $d$ (см)		$b$	$h$	порода	сорт						
1	800	0		5	10	10	сосна	3	На открытом воздухе	в сухой зоне	А	100	КС-1	
2	1500	1	2.8	4.5	10	12,5	сосна	2		в сухой зоне	Б	75	КС-2	
3	2500	0		4	10	15	сосна	1		в сухой зоне	В	50	КС-3	
4	2500	1	2.6	3.5	10	17,5	сосна	3		в сухой зоне	Г	100	КС-1	
5	7000	0		3	12,5	15	сосна	2		в нормальной зоне	Д	75	КС-2	
6	3000	1	2	5	12,5	17,5	ель	1		в нормальной зоне	Е	50	КС-3	
7	3000	0		4.5	12,5	15	ель	3		в нормальной зоне	Ж	100	КС-1	
8	8500	2	1.8	4	15	15	ель	2		во влажной зоне	З	75	КС-2	
9	8500	0		3.5	15	17,5	ель	1		во влажной зоне	И	50	КС-3	
10	7500	1	3.2	3	15	17,5	ель	3		во влажной зоне	К	100	КС-1	
11	5000	0		5	15	15	осина	2		Внутри неотапливаемых помещений	в сухой зоне	А	75	КС-2
12	6500	2	2.4	4.5	15	20	осина	1			в сухой зоне	Б	50	КС-3
13	6500	0		4	17,5	17,5	осина	3			в сухой зоне	В	100	КС-1
14	16000	2	1.6	3.5	17,5	20	осина	2			во влажной зоне	Г	75	КС-2
15	8000	0		5	10	12,5	осина	1			во влажной зоне	Д	50	КС-3
16	9000	2	2.4	4.5	10	10	береза	3			во влажной зоне	Е	100	КС-1
17	28000	1	1.4	4	20	20	береза	2			в нормальной зоне	Ж	75	КС-1
18	40000	2	3.2	3.5	25	25	береза	1			в нормальной зоне	З	50	КС-2
19	35000	1	1.6	3	20	25	береза	3			в нормальной зоне	И	100	КС-3

20	8500	2	1.2	5	10	12,5	береза	2	Внутри отапливаемых помещений при относительной влажности	до 65%	К	75	КС-1
21	4000	2	2.6	5	12,2	17,5	дуб	1		до 65%	А	50	КС-2
22	4000	1	1.2	4.5	12,5	17,5	дуб	3		до 65%	Б	100	КС-3
23	10000	2	2.4	4	15	15	дуб	2		от 65% до 75%	В	75	КС-1
24	12000	1	1.4	3.5	15	15	дуб	1		от 65% до 75%	Г	50	КС-2
25	12000	2	1.8	3	15	17,5	дуб	3		от 65% до 75%	Д	100	КС-3
26	14000	1	2.6	5	15	15	клен	2		от 65% до 75%	Е	75	КС-1
27	25000	2	2.6	4.5	20	20	клен	1		от 75% до 85%	Ж	50	КС-2
28	25000	1	3.2	4	20	20	клен	3		от 75% до 85%	З	100	КС-3
29	47000	2	2.4	3.5	25	25	клен	2		от 75% до 85%	И	75	КС-1
30	25000	1	2	3	17,5	17,5	клен	1		от 75% до 85%	К	50	КС-2

#### К занятию № 4-1

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

Таблица 4.1

Исходные данные для самостоятельного решения по занятию № 4-1

Номер вар-та	$q$ (кг/м)	$l$ (м)	сечение (см)		Материал			Условия эксплуатации	
			b	h	порода	сорт			
1	200	2	10	12	сосна	1Б	Внутри отапливаемых помещений при температуре 30 <sup>0</sup> С, относительной влажности воздуха	до 65%	
2	250	2.5	10	14	сосна	2		до 65%	
3	300	3	10	16	сосна	3		до 65%	
4	350	3.5	10	18	ель	1		свыше 65 до 75%	
5	400	4	10	20	ель	2		свыше 65 до 75%	
6	250	4.5	10	22	ель	3		свыше 65 до 75%	
7	100	5	12	12	лиственница	1		свыше 75 до 85%	
8	150	5.5	12	14	лиственница	2		свыше 75 до 85%	
9	200	6	12	16	лиственница	3		свыше 75 до 85%	
10	250	5.5	12	18	береза	1		свыше 75 до 85%	
11	300	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	200	3	14	22	осина	1	на открытом воздухе	во влажной зоне
20	150	3.5	16	12	осина	2		в сухой зоне
21	300	4	16	14	осина	3		в сухой зоне
22	200	4.5	16	16	липа	2		в сухой зоне
23	250	5	14	10	липа	2		в нормальной зоне
24	300	5.5	16	10	липа	3		в нормальной зоне
25	150	6	12	10	клен	2		в нормальной зоне
26	250	3	10	12	клен	2		во влажной зоне
27	300	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

### К занятию № 4-2

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

Таблица 4.2

Исходные данные для самостоятельного решения по занятию № 4-2

Номер вар-та	Np (кг)	q (кг/м)	L (м)	сечение (см)		Материал		Условия эксплуатации		
				b	h	порода	сорт			
1	5000	200	2	10	12,5	сосна	1	внутри отапливаемых помещений при температуре 30°C, относительной влажности воздуха	до 65%	
2	4500	250	2.5	10	15	сосна	2		до 65%	
3	4000	300	3	10	17,5	сосна	3		до 65%	
4	3000	350	3.5	10	20	ель	1		свыше 65 до 75%	
5	2500	400	4	10	22,5	ель	2		свыше 65 до 75%	
6	2000	50	4.5	10	25	ель	3		свыше 65 до 75%	
7	1500	100	5	12,5	5	лиственница	1		свыше 75 до 85%	
8	100	150	5.5	12,5	5	лиственница	2		свыше 75 до 85%	
9	800	200	6	12,5	5	лиственница	3		свыше 75 до 85%	
10	600	250	5.5	12,5	5	береза	1		свыше 75 до 85%	
11	900	100	5	12,5	5	береза	2		внутри неотапливаемых помещений	в сухой зоне
12	800	200	4.5	12,5	5	береза	3			в сухой зоне
13	1200	250	4	7.5		пихта	1			в сухой зоне
14	1300	300	3.5	7.5	10	пихта	2			в нормальной зоне

Режим загрузки «В» срок службы -50 лет, класс надежности КС-2

15	1500	350	3	7.5	12,5	пихта	3		в нормальной зоне
16	2000	400	2.5	7.5	15	дуб	1		в нормальной зоне
17	2500	450	2	15	15	дуб	2		во влажной зоне
18	3000	200	2.5	15	17,5	дуб	3		во влажной зоне
19	3500	100	3	15	20	осина	1		во влажной зоне
20	4000	150	3.5	15	22,5	осина	2		в сухой зоне
21	4500	100	4	15	25	осина	3		в сухой зоне
22	2000	200	4.5	17,5	17,5	липа	2		в сухой зоне
23	1500	250	5	17,5	20	липа	2		в нормальной зоне
24	2000	300	5.5	17,5	22,5	липа	3		в нормальной зоне
25	1000	150	6	17,5	25	клен	2		в нормальной зоне
26	5000	50	3	20	20	клен	2		во влажной зоне
27	4500	100	3.5	20	22,5	клен	3		во влажной зоне
28	4000	150	4	20	25	сосна	2		во влажной зоне
29	3000	200	4.5	22,5	22,5	сосна	2		во влажной зоне
30	2500	250	5	22,5	25	сосна	3		во влажной зоне

На открытом воздухе

### К занятию № 4-3

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. 4.3).

Таблица 4.3

Исходные данные для самостоятельного решения по занятию № 4-3

Номер вар-та	$N_c$ (кг)	$q$ (кг/м)	$l$ (м)	сечение (см)		Материал		Условия эксплуатации	
				$b$	$h$	порода	сорт		
1	10000	200	2	12	12	сосна	1	внутри отапливаемых помещений при температуре 30°C, относительной влажности воздуха	до 65%
2	9000	250	3.5	12	14	сосна	2		до 65%
3	8000	300	3	12	16	сосна	3		до 65%
4	7000	350	3.5	12	18	ель	1		свыше 65 до 75%
5	6000	400	4	12	20	ель	2		свыше 65 до 75%
6	5000	100	4.5	12	22	ель	3		свыше 65 до 75%
7	4000	150	5	14	10	лиственница	1		свыше 75 до 85%
8	13000	200	2	14	12	лиственница	2		свыше 75 до 85%
9	12000	250	2.5	14	14	лиственница	3		свыше 75 до 85%
10	11000	300	3	14	16	береза	1		свыше 75 до 85%
11	10000	100	3.5	14	18	береза	2	внутри не отапливаемых помещений	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		на открытом воздухе
21	5500	200	3.5	18	14	осина	3	в сухой зоне	
22	6000	150	3			липа	2	в сухой зоне	
23	6500	100	2.5			липа	2	в нормальной зоне	
24	7000	50	3			липа	3	в нормальной зоне	
25	7500	100	3.5			клен	2	в нормальной зоне	
26	4000	150	4			клен	2	во влажной зоне	
27	4500	200	4.5			клен	3	во влажной зоне	
28	5000	210	5			сосна	2	во влажной зоне	
29	6000	100	5.5			сосна	2	во влажной зоне	
30	6500	100	6			сосна	3	во влажной зоне	

Режим загрузки «В» срок службы -50 лет, класс надежности КС-2

К занятию № 5-1

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).

Таблица 5.1

Исходные данные для самостоятельного решения по занятию № 5-1

Номер вар-та	Nc (кг)	сечение (см)		Материал		Условия эксплуатации	
		b	h	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°C, относительной влажности воздуха	до 65%
7	5500	18	22	лиственница	2		до 65%
8	10000	22	22	лиственница	3		до 65%
9	11000	20	22	лиственница	1		до 65%
10	12000	18	24	лиственница	2		до 65%
11	5000	18	18	пихта	1		от 65% до 75%
12	5500	18	22	пихта	2		от 65% до 75%
13	10000	22	22	пихта	3		от 65% до 75%
14	11000	20	22	пихта	1		от 65% до 75%
15	12000	18	24	пихта	2		от 65% до 75%
16	14000			ель	1	внутри неотапливаемых помещений	в нормальной зоне
17	11000			ель	2		в нормальной зоне
18	12000			ель	3		в нормальной зоне
19	13000			ель	1		в нормальной зоне
20	10000			ель	2		в нормальной зоне
21	14000			береза	1		во влажной зоне
22	15000			береза	2		во влажной зоне
23	13000			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

Режим загрузки «В», срок службы – 50 лет, класс надежности – КС-2

### К занятию № 5-2

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 ригеля обрезан под углом  $\alpha$  к его оси (рис. 5.3).

Таблица 5.2

Исходные данные для самостоятельного решения по занятию № 5-2

Номер вар-та	Nc (кг)	сечение (см)			Угол $\alpha$ (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	Внутри отапливаемых помещений при температуре до 35°C, относительной влажности воздуха	в сухой зоне
5	7000	18	20		25	сосна	2		в сухой зоне
6	5000	18	18		30	лиственница	1		в сухой зоне
7	5500	18	22		35	лиственница	2	Внутри отапливаемых помещений	до 65%
8	10000	22	22		41	лиственница	3		до 65%
9	11000	20	22		26	лиственница	1		до 65%
10	12000	18	24		31	лиственница	2		до 65%
11	5000	18	18		30	пихта	1		до 65%
12	5500	18	22		35	пихта	2		от 65% до 75%
13	10000	22	22		40	пихта	3		от 65% до 75%
14	11000	20	22		45	пихта	1		от 65% до 75%
15	12000	18	24		25	пихта	2		от 65% до 75%
16	14000			30	25	ель	1		Внутри не отапливаемых помещений
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	

Режим загрузки «В» срок службы -50 лет, класс надежности КС-2

### К занятию № 5-3

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 –  $l_{ск}$  (рис. 5.4).

Таблица 5.3

Исходные данные для самостоятельного решения по занятию № 5-3

Номер вар-та	Nc (кг)	Сече- ние (см)		Угол $\alpha$ (в °)	h <sub>вруб</sub> (см)	L <sub>ск</sub> (см)	Материал		Условия эксплуатации	
		b	h				порода	сорт		
1	8000	20	2	30	5	50	сосна	1	Внутри не отапливаемых помещений в сухой зоне	в сухой зоне
2	7000	18	2	35	4.3	43	сосна	2		в сухой зоне
3	6500	16	2	40	4	40	сосна	3		в сухой зоне
4	6000	20	1	45	5	50	сосна	1		в сухой зоне
5	7000	20	1	25	5	50	сосна	2		в сухой зоне
6	5000	14	1	25	8	90	береза	1		во влажной зоне
7	5500	16	1	28	9	90	береза	2		во влажной зоне
8	9000	18	2	30	6.5	70	береза	3		во влажной зоне
9	10000	22	2	31	5.5	60	береза	1		во влажной зоне
10	8000	22	1	33	5	55	береза	2		во влажной зоне
11	5000	18	1	30	4.5	45	дуб	1	Внутри отапливаемых помещений при температуре до 35°С, относительной влажности воздуха	до 65%
12	5500	22	1	35	5.5	60	дуб	2		до 65%
13	10000	22	2	41	5	60	дуб	3		до 65%
14	11000	22	2	26	5.5	60	дуб	1		до 65%
15	12000	24	2	31	6	60	дуб	2		до 65%
16	7000	14	1	25	7.5	80	ель	1		от 65% до 75%
17	9000	16	2	28	5	50	ель	2		от 65% до 75%

Режим загрузки «В» срок службы -50 лет, класс надежности КС-2

		0							
18	7000	20	18	30	5.5	55	ель	3	
19	6000	18	12	32	6	60	ель	1	
20	7000	18	16	34	7	70	ель	2	
21	6000	18	18	42	4.5	50	осина	1	
22	5000	16	20	38	5	50	осина	2	
23	4000	16	24	35	6	65	осина	1	
24	7000	18	24	32	6	70	осина	2	
25	3500	18	20	30	5	60	осина	1	
26	6000	20	18	42	4.5	50	осина	1	
27	5000	20	20	38	5	50	осина	2	
28	4000	18	20	35	6	65	осина	1	
29	7000	18	18	32	6	70	осина	2	
30	5000	18	16	30	5	60	осина	1	
									от 65% до 75%
									от 65% до 75%
									от 65% до 75%
									в сухой зоне
									в сухой зоне
									в сухой зоне
									в сухой зоне
									в сухой зоне
									в нормальной зоне
									в нормальной зоне
									в нормальной зоне
									в нормальной зоне
									в нормальной зоне

На открытом воздухе

К занятию № 6-1

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. 6.1.).

Таблица 6.1

Исходные данные для самостоятельного решения по занятию № 6-1

Номер варианта	№ (кг)	Сечение (см)			Материал		Условия эксплуатации
		b	h	b <sub>1</sub>	порода	сорт	
1	16000	20	22	10	лиственница	1	На открытом воздухе
2	15000	18	22	10	лиственница	2	
3	14000	16	22	8	лиственница	3	
4	13000	14	22	8	лиственница	1	
5	12000	12	22	6	лиственница	2	
6	15000	16	22	8	береза	1	
7	14000	14	18	8	береза	2	
8	13000	14	16	8	береза	3	
9	12000	14	14	8	береза	1	
10	11000	14	12	8	береза	2	
11	10000	12	18	6	дуб	3	
12	9000	12	16	6	дуб	2	
13	8000	12	14	6	дуб	3	
14	15000	16	18	6	дуб	1	
15	16000	18	22	10	дуб	2	
16	11000	20	20	10	сосна	1	Внутри не-отопляемых помещений
17	10000	18	20	10	сосна	2	
18	9000	16	20	8	сосна	3	
19	8000	14	20	8	сосна	1	
20	7000	12	20	8	сосна	2	
21	20000	22	20	12	ель	1	Внутри отапливаемых помещений, при температуре до 35°С, относительной влажности воздуха
22	19000	22	18	12	ель	2	
23	18000	16	20	8	ель	2	
24	17000	16	16	8	ель	1	
25	16000	16	18	8	ель	3	
26	16000	22	20	12	пихта	1	
27	15000	22	18	12	пихта	2	
28	14000	16	20	8	пихта	2	
29	13000	16	16	8	пихта	1	
30	12000	16	18	8	пихта	3	

Режим загрузки «В», срок службы – 50 лет, класс надежности – КС-2



К занятию № 6-2

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).

Таблица 6.2

Исходные данные для самостоятельного решения по занятию № 6-2

Номер варианта	Np (кг)	Сечение (см)		Материал		Условия эксплуатации	
		b	h	порода	сорт		
1	800	5	15	лиственница	1	Режим загрузки «В», срок службы – 50 лет, класс надежности – КС-2	
2	900	6	15	лиственница	2		
3	1000	7	15	лиственница	3		
4	600	8	15	лиственница	1		
5	500	4	15	лиственница	2		
6	900	4	15	береза	1		
7	1000	5	15	береза	2		
8	1100	5	18	береза	3		
9	1200	4	18	береза	1		
10	1300	3	18	береза	2		
11	1400	3	20	дуб	3		
12	1200	4	20	дуб	2		
13	1000	5	20	дуб	3		
14	800	4	16	дуб	1		
15	900	4	15	дуб	2		
16	700	5	16	сосна	1		
17	800	6	16	сосна	2		
18	900	7	16	сосна	3		
19	1000	8	16	сосна	1		
20	1100	4	16	сосна	2		
21	1200	4	14	ель	1		
22	500	5	14	ель	2		
23	600	3	14	ель	2		
24	700	2	15	ель	1		
25	800	3	15	ель	3		
26	1200	4	14	пихта	1		
27	500	5	14	пихта	2		
28	600	3	14	пихта	2		
29	700	2	15	пихта	1		
30	800	3	15	пихта	3		
						На открытом воздухе	в сухой зоне
							в нормальной зоне
							в нормальной зоне
							во влажной зоне
							во влажной зоне
							в сухой зоне
							в сухой зоне
							в сухой зоне
							в нормальной зоне
							в нормальной зоне
							во влажной зоне
							во влажной зоне
						Внутри неотапливаемых помещений	в сухой зоне
							в сухой зоне
							в нормальной зоне
							в нормальной зоне
							в нормальной зоне
						Внутри отапливаемых помещений, при температуре до 35°С, относительной влажности воздуха	до 60%
							до 60%
							до 60%
							свыше 60, до 75%
							свыше 60, до 75%
							до 60%
							до 60%
							до 60%
							свыше 60, до 75%
							свыше 60, до 75%

## К занятию № 7

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).

Таблица 7

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	Режим загрузки «В», срок службы – 50 лет, класс надежности – КС-2
2	4.5	12.5	6	50	1.4	сосна	2	
3	4	15	7.5	50	1.6	сосна	1	
4	3.5	17.5	10	50	2	сосна	3	
5	3	20	12.5	50	1.2	сосна	2	
6	5	22.5	5	50	1.4	ель	1	
7	4.5	10	6	50	1.6	ель	3	
8	4	12.5	7.5	50	2	ель	2	
9	3.5	15	10	50	1.2	ель	1	
10	3	17.5	12.5	50	1.4	ель	3	
11	5	20	5	50	1.6	осина	2	
12	4.5	22.5	6	50	2	осина	1	
13	4	10	7.5	50	1.2	осина	3	
14	3.5	12.5	10	50	1.4	осина	2	
15	3	15	12.5	50	1.6	осина	1	
16	3	17.5	5	50	2	береза	3	
17	3.5	20	6	50	1.2	береза	2	
18	4	22.5	7.5	50	1.4	береза	1	
19	4.5	10	10	50	1.6	береза	3	
20	5	12.5	12.5	50	2	береза	2	
21	3	15	5	50	1.2	пихта	1	
22	3.5	17.5	6	50	1.4	пихта	3	
23	4	20	7.5	50	1.6	пихта	2	
24	4.5	22.5	10	50	2	пихта	1	
25	5	10	12.5	50	1.2	пихта	3	
26	3	12.5	5	50	1.4	дуб	2	
27	3.5	15	6	50	1.6	дуб	1	
28	4	17.5	7.5	50	2	дуб	3	
29	4.5	20	10	50	1.2	дуб	2	
30	5	22.5	12.5	50	1.4	дуб	1	

Условия эксплуатации	
На открытом воздухе	в сухой зоне
	в сухой зоне
	в нормальной зоне
	в нормальной зоне
	во влажной зоне
	во влажной зоне
	соприкасающихся с грунтом
	соприкасающихся с грунтом
	постоянно увлажняемых
	находящихся в воде
Внутри неотапливаемых помещений	в сухой зоне
	в сухой зоне
	в сухой зоне
	в сухой зоне
	во влажной зоне
	во влажной зоне
	во влажной зоне
	во влажной зоне
	в нормальной зоне
	в нормальной зоне
Внутри отапливаемых помещений	в сухой зоне
	в сухой зоне
	в сухой зоне
	во влажной зоне
	во влажной зоне
	во влажной зоне
Внутри отапливаемых помещений	во влажной зоне
	во влажной зоне
	в нормальной зоне
	в нормальной зоне

## К занятию № 8

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 8

Исходные данные для самостоятельного решения по занятию № 8

Номер варианта	Нагрузка (кг/м)		Пролет (м)	Ширина (см)	Материал		Режим загрузки «В», срок службы – 50 лет, класс надежности – КС-2	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%	

## Приложение 2

Таблица 2.1

### Расчетные сопротивления $R$ древесины сосны и ели, лиственницы европейской

Напряженное состояние и характеристика элементов	Расчетные сопротивления для древесины сортов, МПа			
	Обозначение	1	2	3
1. Изгиб, сжатие и смятие вдоль волокон а) элементы прямоугольного сечения (за исключением указанных в подпунктах «б»), «в») высотой до 50 см	$R_{и}^A, R_{с}^A, R_{см}^A$	21	19,5	13
б) элементы прямоугольного сечения шириной свыше 11 до 13 см при высоте сечения более 11 до 50 см		22,5	21	15
в) элементы прямоугольного сечения шириной свыше 13 см при высоте сечения более 13 до 50 см		24	22,5	16,5
г) элементы из круглых лесоматериалов без врезок в расчетном сечении		-	24	15
2. Растяжение вдоль волокон:				
а) неклееные элементы	$R_p^A$	15	10,5	-
б) клееные элементы	$R_p^A$	18	13,5	-
3. Смятие и сжатие по всей площадке поперек волокон	$R_{с90}^A, R_{см90}^A$	2,7	2,7	2,7
4. Смятие поперек волокон местное:				
а) в опорных частях конструкций, лобовых врубках и узловых примыканиях элементов	$R_{см90}^A$	4,5	4,5	4,5
б) под шайбами при углах смятия $90^\circ \dots 60^\circ$		6	6	6
5. Скалывание вдоль волокон:				
а) при изгибе неклееных элементов	$R_{ск}^A$	2,7	2,4	2,4
б) при изгибе клееных элементов		2,4	2,25	2,25
в) в лобовых врубках для максимального напряжения		3,6	3,2	3,2
г) местное в клеевых соединениях для максимального напряжения		3,2	3,2	3,2
6. Скалывание поперек волокон:				
а) в соединениях элементов из цельной древесины	$R_{ск90}^A$	1,5	1,2	0,9
б) в соединениях клееных элементов		1,05	1,05	0,9
7. Растяжение поперек волокон элементов из клееной древесины. Срез под углом к волокнам $45^\circ$ То же, $90^\circ$	$R_{p90}^A$ $R_{ср45}^A$ $R_{ср90}^A$	0,23 9 16,5	0,15 7,5 13,5	0,12 6 12

#### Примечания.

1. В конструкциях построечного изготовления величины расчетных сопротивлений на растяжение, принятые по пункту 2а) настоящей таблицы, следует снижать на 30 %.
2. Расчетное сопротивление изгибу для элементов настила и обрешетки под кровлю из древесины 3-го сорта следует принимать равным 13 Мпа.

Таблица 2.2

**Коэффициент длительной прочности по режимам длительного нагружения,  $m_{дл}$** 

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

Таблица 2.3

### Коэффициент, учитывающий породу древесины, $m_n$

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

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

Таблица 2.4

### Коэффициент учета влажности среды $m_e$

Условия эксплуатации (по табл. 1[1]) или таблица 2,5 пособия	1А и 1	2	3	4
Коэффициент $m_e$	1	0,9	0,85	0,75

Таблица 2.5

### Классы условий эксплуатации

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

Примечания. 1. Допускается в качестве «эксплуатационной» принимать «равновесную» влажность древесины.  
2. Допускается кратковременное превышение максимальной влажности в течение 2–3 недель в году.

Таблица 2.6

**Дополнительные характеристики условий эксплуатации  $m_B$**

Класс условий эксплуатации		Дополнительная характеристика условий эксплуатации конструкций	Особенности учета классов при расчете конструкций	Применения
Основной класс	Подкласс			
1	1а	-	Эксплуатационная влажность древесины не превышает 12%. $m_B = 1$	Применение КДК не допускается
	1б	-		
2	2.1	При нормальном режиме помещений	Эксплуатационная влажность древесины не превышает 15%. $m_B = 0,9$	
	2.2	Под навесом в сухой зоне влажности		
3	3.1	При влажном режиме отапливаемых помещений	Эксплуатационная влажность древесины не превышает 20%. $m_B = 0,85$	
	3.2	Под навесом в нормальной зоне влажности		
4	4а	4а.1	Эксплуатационная влажность древесины может превышать 20%. $m_B = 0,75$	
		4а.2		
		4а.3		
		4а.4		
	4б	4б.1		
		4б.2		

Таблица 2.7

**Коэффициент учета высоты сечения  $h_b, m_b$** 

Высота сечения, см	50 и менее	60	70	80	100	более
Коэффициент $m_b$	1	0,96	0,93	0,9	0,85	0,8

Таблица 2.8

**Коэффициент толщины слоев клеюдеревянных элементов,  $m_{cl}$** 

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

Таблица 2.9

**Коэффициент учета выгиба доски,  $m_{гн}$** 

Напряженное состояние	Обозначение расчетных сопротивлений	Коэффициент $m_{гн}$ при отношении $r_k/a$			
		150	200	250	500 и более
Сжатие и изгиб	$R_C, R_{И}$	0,8	0,9	1	1
Растяжение	$R_P$	0,6	0,7	0,8	1

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

Таблица 2.10

**Коэффициент срока службы  $m_{с.с}$** 

Вид напряженного состояния	Коэффициент $m_{с.с}$ при сроке службы сооружения		
	50	75	100 лет и более
Сжатие, изгиб, смятие вдоль и поперек волокон древесины	1,0	0,9	0,8
Растяжение и скалывание вдоль волокон древесины	1,0	0,85	0,7
Растяжение поперек волокон древесины	1,0	0,5	0,5

**Примечание.** Значение коэффициента  $m_{с.с}$  для промежуточных сроков службы сооружения принимается по линейной интерполяции.



Таблица 2.11

**Примерные сроки службы ДК**

Наименования объектов	Примерный срок службы, лет
Временные здания и сооружения (бытовки строительных рабочих и вахтового персонала, склады временные, летние павильоны и т.п.)	Не более 10
Сооружения, эксплуатируемые в условиях сильноагрессивных сред (сосуды и резервуары, трубопроводы предприятий нефтеперерабатывающей, газовой и химической промышленности, сооружения в условиях морской среды и т.п.)	Не менее 25 т
Здания и сооружения массового строительства в обычных условиях эксплуатации (здания жилищно-гражданского и производственного строительства)	Не менее 50
Уникальные здания и сооружения (здания основных музеев, хранилищ национальных и культурных ценностей, произведения монументального искусства, стадионы, театры, здания высотой более 75 м, большепролетные сооружения и т.п.)	100 и более

Таблица 2.12

**Класс ДК по функциональному назначению**

Класс условий эксплуатации		Общая характеристика класса
Основной класс	Подкласс	
1	1а	Несущие конструкции с пролетами более 100 м; мачты и башни высотой более 60 м
	1б	Несущие конструкции для зданий музеев, спортивно-зрелищных объектов и торговых предприятий с массовым нахождением людей, а также сооружений с пролетами более 60 м для конструкций из ДК и 40 м – из цельной древесины и древесных материалов; мачт и башен высотой более 40 м.
2	2а	Несущие конструкции любых форм, не вошедшие в классы 1а, 1б, 2б и 3.
	2б	Конструкции стен зданий и сооружений различного назначения, не вошедшие в 3 класс. Конструкции покрытий и перекрытий пролетами до 7,5 м
3		Конструкции теплиц, парников, мобильных зданий (сборно-разборные и контейнерного типа); складов временного содержания; бытовок вахтового персонала и других подобных сооружений с ограниченными сроками службы и пребывания в них людей.

**Примечание**

Объекты с высоким уровнем ответственности, при проектировании и строительстве которых используются принципиально новые конструктивные решения, не прошедшие проверку в практике строительства и эксплуатации, должны быть отнесены к классу функционального назначения 1а

Для сооружений 1-го класса, при проектировании которых использованы не апробированные ранее или не освоенные производством конструктивные решения или для которых не существует надежных методов расчета, необходимо использовать данные экспериментальных исследований на моделях или натурных конструкциях.

**Значения коэффициента надежности  $\gamma_n$  по классу ответственности конструкций**

Класс сооружений	Уровень ответственности	Минимальные значения коэффициента надежности по ответственности
КС-3	Повышенный	1,1
КС-2	Нормальный	1,0
КС-1	Пониженный	0,8

**Примечание.** Для зданий высотой более 250 м и большепролетных сооружений (без промежуточных опор) с пролетом более 120 м коэффициент надежности по ответственности следует принимать не менее 1,2.

**Приложение к таблице 2.13 (обязательное)**

Классификация сооружений

Настоящий стандарт устанавливает следующую классификацию сооружений:

Класс сооружений КС-1:

а) теплицы, парники, мобильные здания (сборно-разборные и контейнерного типа), склады временного содержания, в которых не предусматривается постоянного пребывания людей;

б) сооружения с ограниченными сроками службы и пребыванием в них людей.

Класс сооружений КС-2:

здания и сооружения, не вошедшие в классы КС-1 и КС-3.

Класс сооружений КС-3:

а) здания и сооружения особо опасных и технически сложных объектов.

Примечание 1 - Перечень (или классификация) опасных и технически сложных объектов устанавливается национальным законодательством.

Примечание 2 - Для отдельных зданий и сооружений опасных производственных объектов допускается устанавливать класс КС-3 в том случае, если:

- на них не предусматривается постоянных рабочих мест и

- они не относятся к классу КС-1 по другим критериям;

б) все сооружения, при проектировании и строительстве которых используются принципиально новые конструктивные решения и технологии, которые не прошли проверку в практике строительства и эксплуатации;

в) объекты жизнеобеспечения городов и населенных пунктов;

е) тоннели, трубопроводы на дорогах высшей категории или имеющие протяженность более 500 м;

ж) строительные объекты высотой более 100 метров;

и) пролетные строения мостов с пролетом более 200 метров;

к) большепролетные покрытия строительных объектов с пролетом более 100 метров;

л) строительные объекты с консольными конструкциями более 20 метров;

м) строительные объекты с заглублением подземной части более чем на 15 метров;

Примечание. В нормах проектирования отдельных типов сооружений (мостов, резервуаров и других) допускается устанавливать иные классы соответствующих сооружений.

**Приложение к таблице 2.13 (рекомендуемое)**

Перечень зданий и сооружений с массовым нахождением людей

1. Здания (жилые, офисные, административные, общественные и др.) высотой 5 этажей и более.

2. Здания музеев, государственных архивов, административных органов управления, хранилищ национальных и культурных ценностей федерального и регионального уровней подчинения.

3. Зрелищные, спортивные развлекательные объекты, торговые предприятия в том случае, если:
- количество находящихся в них людей составляет 500 человек и более;
  - количество людей, находящихся на прилегающей территории, превышает 10000 человек.
4. Здания, в которых расположены рестораны, кафе и другие подобные помещения на 100 посадочных мест и более.
5. Здания дошкольных образовательных учреждений, школ, учебных заведений на 100 постоянных посетителей и имеющих высоту 2 этажа и более.
6. Пассажирские терминалы (здания аэровокзалов, ж/д вокзалов, автовокзалов, речных и морских вокзалов) федерального и регионального уровней подчинения и на крупных транспортных узлах; станции метрополитена, здания культовых учреждений.
7. Гостиницы на 50 мест и более.
8. Стационары лечебных учреждений на 50 коек и более.
9. Амбулаторные лечебные учреждения на 100 посетителей и более.
10. Любые здания и сооружения с помещениями, в которых могут находиться 100 человек и более.

Таблица 2.14

**Физико-механические характеристики конструкционных пиломатериалов**

Наименование свойств	Обозначение свойств	Значения свойств для классов прочности											
		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50
Прочности, МПа													
Нормативное значение при изгибе, 5% -й квантиль	$R_{и, н}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50
Модуля упругости, ГПа													
Среднее значение модуля упругости при изгибе	$E_{0, ср}$	7	8	9	9,5	10	11	11,5	12	13	14	15	16
Нормативное значение модуля упругости, 5%-й квантиль	$E_{0, н}$	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	8,0	8,4	8,7	9,4	10	10,7
Плотности, кг/м <sup>3</sup>													
Нормативное значение плотности, 5% -й квантиль	$\rho_{н}$	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460
Среднее значение плотности	$\rho_{ср}$	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	440	460
Прочности, МПа													
Растяжение вдоль волокон древесины	$R_{р, н}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30
Растяжение поперек волокон	$R_{р90, н}$	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Сжатие вдоль волокон	$R_{с, н}$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29
Сжатие поперек волокон	$R_{с90, н}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2

Скалывание вдоль волокон	$R_{ск,н}$	1,7	1,8	2,0	2,2	2,4	2,5	2,8	3,0	3,4	3,8	3,8	3,8
Жесткости, ГПа													
Среднее значение модуля упругости поперек волокон	$E_{90,ср}$	0,23	0,27	0,3	0,32	0,33	0,37	0,38	0,4	0,43	0,47	0,5	0,53
Среднее значение модуля сдвига	$G_{ср}$	0,44	0,5	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,0

Таблица 2.15

**Расчетные сопротивления фанеры  $R_{\phi}^A$**

Виды фанеры	Расчетное сопротивление, МПа				
	растяжению в плоскости листа $R_{\phi,р}^A$	сжатию в плоскости листа $R_{\phi,с}^A$	изгибу из плоскости листа $R_{\phi,и}^A$	скалыванию в плоскости листа $R_{\phi,ск}^A$	срезу перпендикулярно плоскости листа $R_{\phi,ср}^A$
<b>1. Фанера клееная березовая марки ФСФ сортов В/ВВ, В/С, ВВ/С</b>					
а) 7-слойная толщиной 8 мм и более:					
- вдоль волокон	21	18	24	1,2	9
- поперек волокон наружных слоев	13,5	13	10	1,2	9
- под углом 45 к волокнам	7	10,5	-	1,2	13,5
б) 5-слойная толщ. 5-7 мм:					
- вдоль волокон наружных слоев	21	19,5	27	1,2	7,5
- поперек волокон наружных слоев	9	10,5	4,5	1,2	9
- под углом 45 к волокнам	6	9	-	1,2	13,5
<b>2. Фанера клееная из древесины лиственницы марки ФСФ сортов В/ВВ и ВВ/С 7-слойная толщиной 8 мм и более:</b>					
- вдоль волокон наружных слоев	13,5/9	26/17	27/18	0,9/0,6	7,5/5
- поперек волокон наружных слоев	11,5/7,5	19,5/13	16,5/11	0,75/0,5	7,5/5
- под углом 45 к волокнам	4,5/3	7,5/5	-	1,05/0,7	11,5/7,5
<b>3. Фанера бакелизированная марки ФСБ толщиной 7 мм и более:</b>					
- вдоль волокон наружных слоев	48,5/32	42,5/28	50/33	2,7/1,8	16,5/11
- поперек волокон наружных слоев	36,5/24	35/23	38/25	2,7/1,8	18/12

- под углом 45 к волоконам	25/16,5	32/21	-	2,7/1,8	24/16
-------------------------------	---------	-------	---	---------	-------

### Примечания

1. Расчетные сопротивления смятию и сжатию перпендикулярно плоскости листа для березовой фанеры марки ФСФ -  $R_{ф.с90}^A = R_{ф.см90}^A = 6$  МПа и марки ФБС -  $R_{ф.с90}^A = R_{ф.см90}^A = 12$  МПа;
2. Расчетные сопротивления растяжению перпендикулярно плоскости листа – отрыв шпона, принимается  $R_{ф.р90}^A = 0,15$  МПа.

Таблица 2.16

### Коэффициенты податливости стержней

Вид связей	Коэффициент $k_c$	
	при центральном сжатии	сжатии с изгибом
1 Гвозди, шурупы	$\frac{1}{10d^2}$	$\frac{1}{5d^2}$
2 Стальные цилиндрические нагели: а) диаметром $\leq \frac{1}{7}$ толщины соединяемых элементов	$\frac{1}{5d^2}$	$\frac{1}{2,5d^2}$
б) диаметром $> \frac{1}{7}$ толщины соединяемых элементов	$\frac{1,5}{ad}$	$\frac{3}{ad}$
3 Вклеенные стержни из арматуры А400–А600	$\frac{1}{10d^2}$	$\frac{1}{5d^2}$
4 Дубовые цилиндрические нагели	$\frac{1}{d^2}$	$\frac{1,5}{d^2}$
5 Дубовые пластинчатые нагели	–	$\frac{1,4}{\delta b_{пл}}$
6 Клей	0	0

Примечание – Диаметры гвоздей, шурупов, нагелей и вклеенных стержней  $d$ , толщина элементов  $a$ , ширина  $b_{пл}$  и толщина  $\delta$  пластинчатых нагелей должны быть выражены в сантиметрах.

Таблица 2.17

### Предельные гибкости стержней

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

Таблица 2.18

## Податливость соединений

Вид соединения	Деформация соединения, мм
Соединение:	
- на лобовых врубках и торец в торец	1,5
- в примыканиях поперек волокон	3
- на нагелях всех видов	2
- на металлических зубчатых пластинах (МЗП)	1,5
- на стержнях, вклеенных перпендикулярно плоскости сплачивания	1,5
- на наклонно вклеенных стержнях	0,5
- в клеевых соединениях	0

Таблица 2.19

## Расчетная несущая способность цилиндрических нагелей

Схемы соединений	Напряженное состояние соединения	Расчетная несущая способность $T$ на один шов сплачивания (условный срез), кН	
		гвоздя, стального, алюминиевого, стеклопластикового нагеля	дубового нагеля
1. Симметричные соединения	а) Смятие в средних элементах	$0,5cd$	$0,3 cd$
	б) Смятие в крайних элементах	$0,8 ad$	$0,5 ad$
2. Несимметричные соединения	а) Смятие во всех элементах равной толщины, а также в более толстых элементах односрезных соединений	$0,55 cd$	$0,3 cd$
	б) Смятие в более толстых средних элементах двухсрезных соединений при $a \leq 0,5 c$	$0,4 cd$	$0,2 cd$
	в) Смятие в более тонких крайних элементах при $a \leq 0,35 c$	$1,2 ad$	$0,75 ad$
	г) Смятие в более тонких элементах односрезных соединений и в крайних элементах при $c > a > 0,35 c$	$1,5k_n ad$	$1,5k_n ad$
3. Симметричные и несимметричные соединения	а) Изгиб гвоздя	$3,1d^2 + 0,012a^2$ , но не более $5d^2$	-
	б) Изгиб нагеля из стали С 38/23	$2,2d^2 + 0,025a^2$ , но не более $3,1d^2$	-
	в) Изгиб нагеля из алюминиевого сплава Д16-Т	$2d^2 + 0,025a^2$ , но не более $2,2d^2$	-
	г) Изгиб нагеля из	$1,8d^2 + 0,025a^2$ ,	-

	стеклопластика АГ-4С д) Изгиб нагеля из древесно-слоистого пластика ДСПБ е) Изгиб дубового нагеля	но не более $2,2d^2$ $d^2+0,025a^2$ , но не более $1,5d^2$	-  $0,55d^2+$ $+0,025a^2$ , но не более $0,8d^2$
4. Торцевые соединения с металлической накладкой с жестким креплением нагелей	Изгиб нагеля из стали С235 и арматуры А240 ( $R_n=440$ МПа)	$2d^2$	-

### Примечания

1. В таблице: «с» – толщина средних элементов, а также равных по толщине или более толстых элементов односрезных соединений, «а» – толщина крайних элементов, а также более тонких элементов односрезных соединений; «d» – диаметр нагеля; все размеры приведены в сантиметрах.

2. Расчетную несущую способность нагеля в двухсрезных несимметричных соединениях при неодинаковой толщине элементов следует определять с учетом следующего:

а) расчетную несущую способность нагеля из условия смятия в среднем элементе толщиной «с» при промежуточных значениях «а» между «с» и «0,5с» следует определять интерполяцией между значениями по пункту 2а и 2б настоящей таблицы;

б) при толщине крайних элементов «а» > «с» расчетную несущую способность нагеля следует определять из условия смятия в крайних элементах по пункту 2а настоящей таблицы с заменой «с» на «а»;

в) при определении расчетной несущей способности из условий изгиба нагеля толщину крайнего элемента «а» в пункте 3 таблицы следует принимать не более «0,6с».

3. Значения коэффициента  $k_n$  для определения расчетной несущей способности при смятии в более тонких элементах односрезных соединений при «с» ≥ «а» ≥ «0,35с» приведены в таблице 20.

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

5. Расчет нагельных соединений на скалывание производить не следует, если выполнены условия расстановки нагелей в соответствии с 6.18 и 6.22.

6. Диаметр нагеля «d» следует назначать из условия наиболее полного использования его несущей способности по изгибу.

7. Число нагелей  $n_n$  в соединении следует определять по формуле:

$$n_n = \frac{N}{T n_{ш}} \geq 2,$$

где N – расчетное усилие; T – наименьшая расчетная несущая способность, найденная по формулам настоящей таблицы;  $n_{ш}$  – число расчетных швов одного нагеля.

8. В соединениях число нагелей должно быть не менее 2. Исключение могут составлять

нагели, устанавливаемые конструктивно (например, на период сборки и монтажа).

9. Для гвоздей, установленных в предварительно рассверленные отверстия диаметром, равным диаметру гвоздя, несущая способность по изгибу определяется как для нагеля из стали С235.

Таблица 2.20

**Коэффициент угла смятия**

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

Таблица 2.21

**Нагельные соединения на клеенных стержнях деревянных конструкций**

Схемы соединений	Напряженное состояние соединения	Расчетная несущая способность $T$ на один шов сплачивания (условный срез), кН
1. Симметричные соединения	а) Смятие в средних элементах б) Смятие в крайних элементах	$0,75cd_0$ $1,2ad_0$
2. Несимметричные соединения	а) Смятие во всех элементах равной толщины, а также в более толстых элементах односрезных соединений б) Смятие в более толстых средних элементах двухсрезных соединений при $a \leq 0,5 c$ в) Смятие в более тонких крайних элементах при $a \leq 0,35 c$ г) Смятие в более тонких элементах односрезных соединений и в крайних элементах при $c > a > 0,35 c$	$0,53cd_0$ $0,38cd_0$ $0,8 ad_0$ $1,5k_n ad_0$
3. Симметричные и несимметричные соединения	а) Изгиб нагеля из арматуры А300 б) Изгиб нагеля из арматуры А400	$2,5 d^2 + 0,025l_n^2$ , но не более $3,9d^2$ $3,1d^2 + 0,025l_n^2$ , но не более $4,5d^2$

**Примечания.**

1. В таблице приведены следующие обозначения:  $c$  – толщина средних элементов, а также равных по толщине или более толстых элементов односрезных соединений;  $a$  – толщина крайних элементов, а также более тонких элементов односрезных соединений;  $d$  – номинальный диаметр клеенного нагеля;  $d_0$  – диаметр отверстия; все размеры выражены в сантиметрах.



2. См. примечания 2–4, 7 и 8 к таблице 1.19

3. Расчет нагельных соединений на скалывание производить не следует, если выполнены следующие условия: расстояние между осями вклеенных нагелей при их расстановке следует принимать вдоль волокон древесины –  $S_1$ , не менее  $8d_0$ , поперек волокон –  $S_2$ , не менее  $3d_0$  и от кромки элемента –  $S_3$ , не менее  $3d_0$ . При шахматной расстановке нагелей минимальные расстояния  $S_2=S_1 \geq 3d_0$ .

Таблица 2.22

**Плотность древесины и древесных материалов**

Порода древесины	Плотность древесины, кг/м <sup>3</sup> , в конструкциях для условий эксплуатации по таблице 1	
	1А, 1 и 2	3 и 4
Хвойные: лиственница, сосна, ель, кедр, пихта	650	800
Твердые лиственные: дуб, береза, бук, ясень, клен, граб, акация, вяз и ильм	700	800
Мягкие лиственные: осина, тополь, ольха, липа	500	600

Таблица 2.23

**Коэффициенты  $k_w$  и  $k_{ж}$  для составных балок**

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

Примечания .

- Для промежуточных значений величины пролета и числа слоев коэффициенты определяются интерполяцией.
- Для составных балок на наклонно вклеенных связях при числе слоев не более 4, независимо от пролета, следует принимать  $k_w = 0,95$ ,  $k_{ж} = 0,9$ .

## Определение прогибов

Элементы конструкций	Предъявляемые требования	Вертикальные предельные прогибы	Нагрузки для определения вертикальных прогибов
1. Балки крановых путей подмостовые и подвесные краны, управляемые:		$f_{\text{в}}$	
с пола, в том числе тельферы (тали)	Технологические	$l/250$	От одного крана
из кабины при группах режимов работы (по ГОСТ 25546):	Физиологические и технологические		
1К-6К		$l/400$	То же
7К		$l/500$	"
8К		$l/600$	"
2. Балки, фермы, ригели, прогоны, плиты, настилы (включая поперечные ребра плит и настилов):			
а) покрытий и перекрытий, открытых для обзора, при пролете $l$ , м:	Эстетико-психологические		Постоянные и длительные
$l \leq 1$		$l/120$	
$l = 3$		$l/150$	
$l = 6$		$l/200$	
$l = 24$ (12)		$l/250$	
$l \geq 36$ (24)		$l/300$	
б) покрытий и перекрытий при наличии перегородок под ними	Конструктивные	Принимаются в соответствии с приложением Е.1	Приводящие к уменьшению зазора между несущими элементами конструкций и перегородками, расположенными под элементами

в) покрытий и перекрытий при наличии на них элементов, подверженных растрескиванию (стяжек, полов, перегородок)	То же	1/150	Действующие после выполнения перегородок, полов, стяжек
г) покрытий и перекрытий при наличии тельферов (талей), подвесных кранов, управляемых:			
с пола	Технологические	или (меньшее из двух) 1/300	Временные, с учетом нагрузки от одного крана или тельфера (тали) на одном пути
из кабины	Физиологические	или (меньшее из двух) 1/400	От одного крана или тельфера (тали) на одном пути
д) перекрытий, подверженных действию: перемещаемых грузов, материалов, узлов и элементов оборудования и других подвижных нагрузок (в том числе при безрельсовом напольном транспорте)	Физиологические и технологические	1/350	0,7 полных нормативных значений временных нагрузок или нагрузки от одного погрузчика (более неблагоприятное из двух)
нагрузок от рельсового транспорта:			
узкоколейного		1/400	От одного состава вагонов (или одной напольной машины) на одном пути
ширококолейного		1/500	То же

3. Элементы лестниц (марши, площадки, косоуры), балконов, лоджий	Эстетико-психологические	Те же, что и в позиции 2а	
	Физиологические	Определяются в соответствии с Е.2.2	
4. Плиты перекрытий, лестничные марши и площадки, прогибу которых не препятствуют смежные элементы	То же	0,7 мм	Сосредоточенная нагрузка 1 кН в середине пролета
5. Перемычки и навесные стеновые панели над оконными и дверными проемами (ригели и прогоны остекления)	Конструктивные	1/200	Приводящие к уменьшению зазора между несущими элементами и оконным или дверным заполнением, расположенным под элементами
	Эстетико-психологические	Те же, что и в позиции 2а	

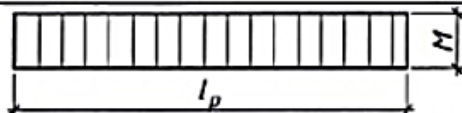
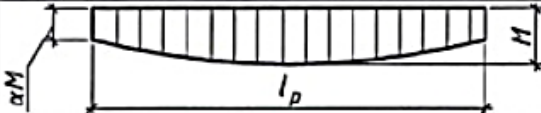

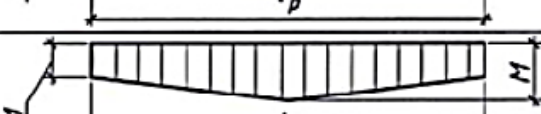
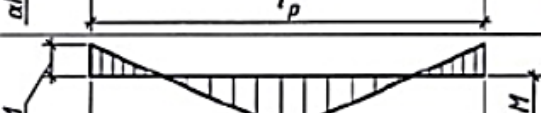

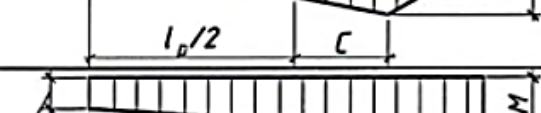
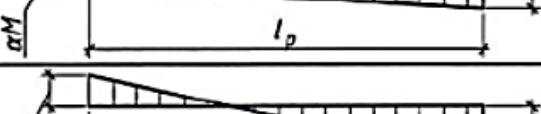
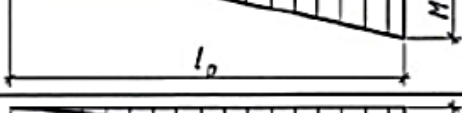
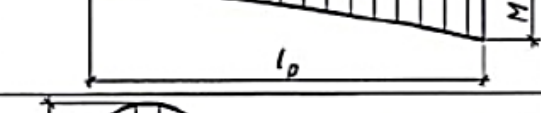
**Обозначения, принятые в таблице Е.1:** – расчетный пролет элемента конструкции; – шаг балок или ферм, к которым крепятся подвесные крановые пути.

Примечания.

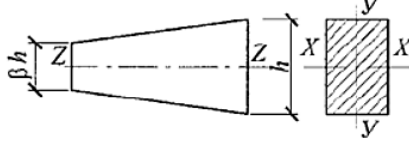
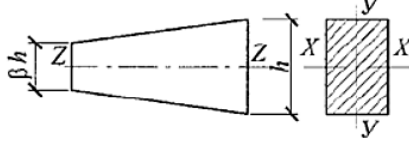
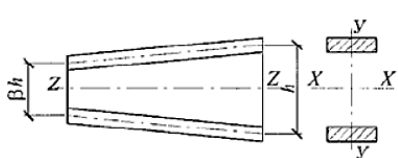
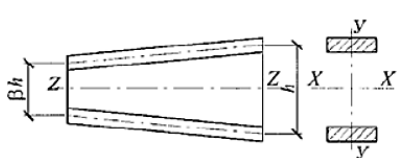
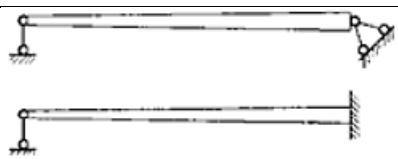
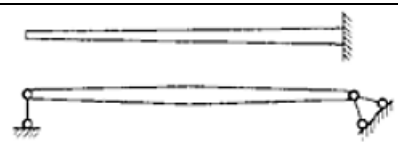
1. Для консоли следует принимать удвоенный ее вылет.
2. Для промежуточных значений в позиции 2а предельные прогибы следует определять линейной интерполяцией, учитывая требования Е1.7 приложения Е.
3. В позиции 2а цифры, указанные в скобках, следует принимать при высоте помещений до 6 м включительно.
4. Особенности вычисления прогибов по позиции 2г указаны в Е1.8 приложения Е.
5. При ограничении прогибов эстетико-психологическими требованиями допускается пролет принимать равным расстоянию между внутренними поверхностями несущих стен (или колонн).

## Данные для расчета сжатых, изгибаемых и сжато-изгибаемых элементов

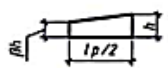

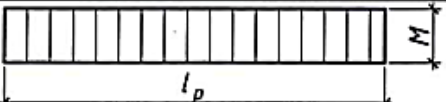
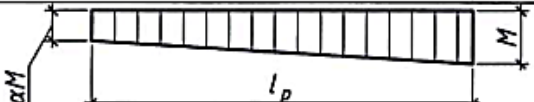
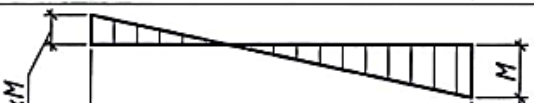
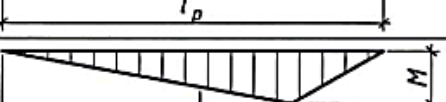

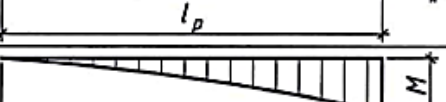
Значение коэффициента  $k_\varphi$ , учитывающего переменность высоты сечения, для расчетов на устойчивость плоской формы деформирования изгибаемых элементов принимаются по таблице:

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

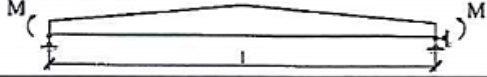
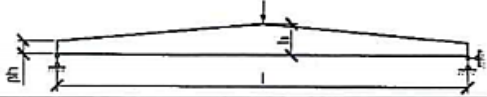
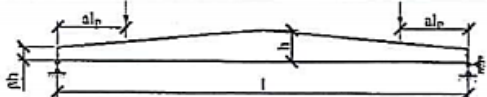
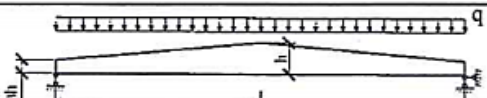
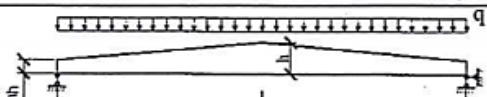
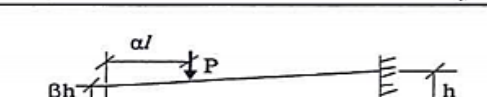
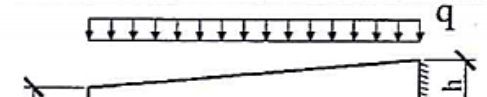
Значение коэффициента  $k_{жN}$  для расчета сжатых и сжато-изгибаемых элементов с переменной высотой и постоянной шириной сечения принимается по таблице 2.25 (продолжение):

Условия опирания элементов	$k_{жN}$ при проверке			
	Элементов прямоугольного сечения		Элементов двутаврового и коробчатого сечений с постоянной высотой поясов	
				
в плоскости yz	в плоскости xz	в плоскости yz	в плоскости xz	
	$(0,4+0,6\beta) \beta$	$0,4+0,6\beta$	$\beta$	1
	$0,07+0,93\beta$	$0,66+0,34\beta$	$0,35+0,65\beta$	1

Значения коэффициентов  $k_{жM}$  для расчетов на устойчивость плоской формы деформирования сжато-изгибаемых элементов с переменной высотой и постоянной шириной сечения принимаются по таблице 2.25 (продолжение таблицы):

Формы эпюры моментов	$k_{жM}$	
		
	$\beta^{1/2}$	$\beta^{1/2}$
	$\frac{1}{\beta^{3-d}}$	$\beta^{1/2}$
	$\frac{1}{\beta^{3-d}}$	$\beta^{1/2}$
	$\frac{1}{\beta^{2+2C/l_p}}$	$\frac{1}{\beta^{3-2C/l_p}}$
	$\beta^{1/2}$	$\beta^{2/5}$
	$\beta^{1/4}$	$\beta^{1/2}$

Значения коэффициентов  $k$  и  $c$  для вычисления прогибов балок с учетом переменности сечения и деформаций сдвига принимать по таблице 2.25 (окончание таблицы):

Поперечное сечение балки	Расчетная схема	$k$	$c$
Прямоугольное		$\beta$	0
То же		$0,23 + 0,77\beta$	$16,4 + 7,6\beta$
»		$0,5\alpha + (1 - 0,5\alpha)\beta$	$[45 - 24\alpha(1 - \beta) + 3\beta] \times \frac{1}{3 - 4\alpha^2}$
»		$0,15 + 0,85\beta$	$15,4 + 3,8\beta$
Двутавровое		$0,4 + 0,6\beta$	$(45,3 + 6,9\beta)\gamma$
Прямоугольное		$0,23 + 0,77\beta + 0,6\alpha(1 - \beta)$	$[8,2 + 2,4(1 - \beta)\alpha + 3,8\beta] \times \frac{1}{(2 + \alpha)(1 - \alpha)}$
То же		$0,35 + 0,65\beta$	$5,4 + 2,6\beta$
<p>Примечание — <math>\gamma</math> — отношение площади поясов к площади стенки двутавровой балки (высота стенки принимается между центрами тяжести поясов).</p>			

### Приложение 3

Таблица 3.1

#### Сортамент пиломатериалов хвойных пород по ГОСТ 2445-80\*

Толщина, мм	Ширина, мм								
	рекомендуемая				допускаемая				
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	-
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	-

Таблица 3.2

#### Рекомендуемые диаметры болтов по ГОСТ 1759.0-87

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

Таблица 3.3

#### Рекомендуемые размеры гвоздей по ГОСТ 4028-63

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



**Шмёлев Г.Н., Дымолазов М.А.**

**ДЕРЕВЯННЫЕ КОНСТРУКЦИИ  
ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ЭЛЕМЕНТОВ**

Учебно-методическое пособие

