

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
КЫРГЫЗСКО-РОССИЙСКИЙ СЛАВЯНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ АРХИТЕКТУРЫ, ДИЗАЙНА И СТРОИТЕЛЬСТВА
Кафедра строительства

УДК 624.00
Р 24

Рецензент
А. К. Акматов – канд. техн. наук доц.

Составитель
Г. Д. Адыракаева

Рекомендовано к изданию
кафедрой строительства КРСУ

РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Методические указания к практическим занятиям
по дисциплине «Конструкции из дерева и пластмасс»
для студентов строительных специальностей

Р 24 РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ:
методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Конструкции из дерева и пластмасс» для студентов строительных специальностей / сост. Г. Д. Адыракаева. Бишкек: КРСУ, 2019. 32 с.: ил.

Методические указания предназначены для проведения практических занятий по дисциплине «Конструкции из дерева и пластмасс» для студентов профиля «Строительство».

ЦЕЛЬ ЗАНЯТИЙ

Курс «Конструкция из дерева и пластмасс» включает в себя 17 часов практических занятий. Целью практических занятий является изучение основных положений [1], закрепление лекционного материала по вопросам расчета элементов цельного сечения при различных видах силового воздействия, расчет узловых и стыковых соединений элементов деревянных конструкций.

На каждом практическом занятии рассматривается одна самостоятельная тема работы, для которой в сборнике задач представлены схемы заданий индивидуально для каждого студента.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЗАНЯТИЙ

1. Каждому студенту выдается индивидуальное задание в виде карточки с основными данными по расчетной схеме и условиям работы элемента, группа деревянных конструкций, определяемых температурно-влажностными условиями эксплуатации.
2. Схема и условия работы элементов конструкций задаются в трех вариантах, согласно которым студент должен решить одну из задач:
 - подбор размеров поперечного сечения;
 - проверка заданного сечения;
 - определение несущей способности элемента.

Обязательным этапом в процессе каждого практического занятия является определение расчетных сопротивлений древесины различных пород:

$$R_{\text{Любой породы, Ic}} = R_{\text{Сосна, Ic}} \cdot m_n,$$

где $R_{\text{Любой породы, Ic}}$ – расчетное сопротивление любой породы древесины;

$R_{\text{Сосна, Ic}}$ – расчетное сопротивление древесины сосны (таблица 1);

m_n – коэффициент перехода к расчетным сопротивлениям древесины разных пород (таблица 2).

Объемный вес свежесрубленной древесины приведен в приложении 1 и принимается:

- Для хвойных и мягких лиственных пород – 850 кг/м³,
- Для твердых лиственных пород – 1000 кг/м³

Модуль упругости древесины вдоль волокон независимо от породы древесины принимается при определении деформации конструкций, защищенных от увлажнения и нагрева

$$E = 100000 \text{ кг/см}^2.$$

РАСЧЕТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРИАЛОВ

1. Расчетные сопротивления древесины сосны (кроме веймутовой), ели, лиственницы европейской и японской приведены в таблице 1. Расчетные сопротивления для других пород древесины устанавливаются умножением величин, приведенных в таблице 1, на переходные коэффициенты m_{11} , указанные в таблице 2.
2. Расчетные сопротивления, приведенные в таблице 1, следует умножать на коэффициенты условий работы:
 - а) Для различных условий эксплуатации конструкций – на значения коэффициента m_v , указанные в приложении 2.
 - б) Для конструкций, эксплуатируемых при установившейся температуре воздуха до $+35\text{ }^{\circ}\text{C}$ – на коэффициент $m_t = 1$; при температуре $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ – на коэффициент $m_t = 0,8$. Для промежуточных значений температуры коэффициент принимается по интерполяции;
 - в) Для конструкций, в которых напряжения в элементах, возникающие от постоянных и временных длительных нагрузок, превышают 80% суммарного напряжения от всех нагрузок – на коэффициент $m_d = 0,8$;
 - г) Для конструкций, рассчитываемых с учетом воздействия кратковременных (ветровой, монтажной или гололедной) нагрузок, а также нагрузок от натяжения и обрыва проводов воздушных ЛЭП и сейсмической – на коэффициенты m_n , указанные в таблице 3;
 - д) 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 коэффициенты m_b , указанные в таблице 3;
 - 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 коэффициенты $m_{сл}$, указанные в таблице 4;

- ж) Для гнутых элементов конструкций значения расчетных сопротивлений растяжению, сжатию и изгибу – на коэффициенты $m_{гн}$, указанные в таблице 4;
- з) Для растянутых элементов с ослаблением в расчетном сечении и изгибаемых элементов из круглых лесоматериалов с подрезкой в расчетном сечении – на коэффициент $m_o = 0,8$;
- и) Для элементов, подвергнутых глубокой пропитке антипиренами под давлением – на коэффициент $m_a = 0,9$.

Таблица 1 – Расчетные сопротивления древесины сосны (кроме веймутовой), ели, лиственницы европейской и японской

Напряженное состояние и характеристика элементов	Обозначение	Расчетные сопротивления для сортов древесины, $\frac{\text{МПа}}{\text{кгс/см}^2}$		
1. Изгиб, сжатие и смятие вдоль волокон: а) Элементы прямоугольного сечения (за исключение указанных в подпунктах «б», «в») высотой до 50 см; б) Элементы прямоугольного сечения шириной свыше 11 до 13 см при высоте сечения свыше 11 до 50 см; в) Элементы прямоугольного сечения шириной свыше 13 см при высоте сечения свыше 13 до 50 см; г) Элементы из круглых лесоматериалов без врезок в расчетном сечении	$R_{и}, R_{с}, R_{см}$	$\frac{14}{140}$	$\frac{13}{130}$	$\frac{8,5}{85}$
	$R_{и}, R_{с}, R_{см}$	$\frac{15}{150}$	$\frac{14}{140}$	$\frac{10}{100}$
	$R_{и}, R_{с}, R_{см}$	$\frac{16}{160}$	$\frac{15}{150}$	$\frac{11}{110}$
	$R_{и}, R_{с}, R_{см}$	$\frac{16}{160}$	$\frac{16}{160}$	$\frac{10}{100}$
2. Растяжение вдоль волокон а) Не клееные элементы; б) Клееные элементы	R_p	$\frac{10}{100}$	$\frac{7}{70}$	$\frac{7}{70}$
	R_p	$\frac{12}{120}$	$\frac{9}{90}$	$\frac{9}{90}$
3. Сжатие и смятие по всей площади поперек волокон	$R_{с90}, R_{см90}$	$\frac{1,8}{18}$	$\frac{1,8}{18}$	$\frac{1,8}{18}$

Продолжение таблицы 1

Напряженное состояние и характеристика элементов	Обозначение	Расчетные сопротивления для сортов древесины, $\frac{\text{МПа}}{\text{кгс/см}^2}$		
4. Смятие поперек волокон местное: а) В опорных частях конструкций, лобовых врубках и узловых примыканиях элементов; б) Под шайбами при углах смятия от 90° до 60°	$R_{см90}$	$\frac{3}{30}$	$\frac{3}{30}$	$\frac{3}{30}$
	$R_{см90}$	$\frac{4}{40}$	$\frac{4}{40}$	$\frac{4}{40}$
5. Скалывание вдоль волокон: а) При изгибе не клееных элементов; б) При изгибе клееных элементов; в) В лобовых врубках для максимального напряжения; г) Местное в клеевых соединениях для максимального напряжения	$R_{ск}$	$\frac{1,8}{18}$	$\frac{1,6}{16}$	$\frac{1,6}{16}$
	$R_{ск}$	$\frac{1,6}{16}$	$\frac{1,5}{15}$	$\frac{1,5}{15}$
	$R_{ск}$	$\frac{2,4}{24}$	$\frac{2,1}{21}$	$\frac{2,1}{21}$
	$R_{ск}$	$\frac{2,1}{21}$	$\frac{2,1}{21}$	$\frac{2,1}{21}$
6. Скалывание поперек волокон а) В соединениях не клееных элементов б) В соединениях клееных элементов	$R_{ск90}$	$\frac{1}{10}$	$\frac{0,8}{8}$	$\frac{0,6}{6}$
	$R_{ск90}$	$\frac{0,7}{7}$	$\frac{0,7}{7}$	$\frac{0,6}{6}$
7. Растяжение поперек волокон элементов из клееной древесины	R_{p90}	$\frac{0,35}{3,5}$	$\frac{0,3}{3}$	$\frac{0,25}{2,5}$

Примечания:

1. Расчетное сопротивление древесины местному смятию поперек волокон на части длины (при длине незагруженных участков не менее длины площадки смятия и толщины элементов), за исключением случаев, оговоренных в пункте 4 таблицы 1, определяется по формуле

$$R_{cm90} = R_{c90} = \left(1 + \frac{8}{l_{cm} + 1,2} \right),$$

где R_{c90} – расчетное сопротивление древесины сжатию и смятию по всей поверхности поперек волокон (п. 3 таблицы 1);
 l_{cm} – длина площадки смятия вдоль волокон древесины, см.

2. Расчетное сопротивление древесины смятию под углом α к направлению волокон определяется по формуле

$$R_{cm\alpha} = \frac{R_{cm}}{1 + \left(\frac{R_{cm}}{R_{cm90}} - 1 \right) \sin^3 \alpha}.$$

3. Расчетное сопротивление древесины скалыванию под углом к направлению волокон определяется по формуле

$$R_{ck\alpha} = \frac{R_{ck}}{1 + \left(\frac{R_{ck}}{R_{ck90}} - 1 \right) \sin^3 \alpha}.$$

4. В конструкциях построечного изготовления величины расчетных сопротивлений на растяжение, принятые по пункту 2а таблицы 1, следует снижать на 30%.
5. Расчетное сопротивление изгибу для элементов настила и обрешетки под кровлю из древесины 3-го сорта следует принимать равным 13 МПа (130 кгс/см²).

Таблица 2 – Коэффициенты расчетных сопротивлений древесины разных пород по отношению к древесине сосны и ели

Древесные породы	Коэффициент m_n для расчетных сопротивлений		
	Растяжению, изгибу, сжатию и смятию вдоль волокон $R_p, R_{из}, R_{сж}, R_{см}$	Сжатию и смятию поперек волокон $R_{с90}, R_{см90}$	Скалыванию $R_{ск}$
Хвойные			
1. Лиственница, кроме европейской и японской	1,2	1,2	1,2
2. Кедр сибирский, кроме Красноярского края	0,9	0,9	0,9
3. Кедр Красноярского края, сосна веймутова	0,65	0,65	0,65
4. Пихта	0,8	0,8	0,8
Твердые лиственные			
5. Дуб	1,3	2	1,3
6. Ясень, клен, граб	1,3	2	1,6
7. Акация	1,5	2,2	1,8
8. Береза, бук	1,1	1,6	1,3
9. Вяз, ильм	1	1,6	1
Мягкие лиственные			
10. Ольха, липа, осина, тополь	0,8	1	0,8

Примечание:

Коэффициенты m_n , указанные в таблице 2 для конструкций опор воздушных линий электропередачи, изготавливаемых из непропитанной антисептиками лиственницы (при влажности $\leq 25\%$), умножаются на коэффициент 0,85.

Таблица 3 – Коэффициенты условий работы элемента

Вид усилия, тип элемента	Коэффициент
На растяжение	
Для элементов, не имеющих ослаблений в расчетном сечении	$m_p = 1,0$
Для элементов, имеющих ослабления	$m_p = 0,8$
На сжатие	
Для всех элементов	$m_c = 1,0$
На изгиб	
Для досок, брусков и брусьев с размерами сторон сечения < 15 см	$m_{и} = 1,0$
Для брусьев и клееных элементов сплошного прямоугольного сечения с размерами сторон ≥ 15 см при $h / b = 3,5$	$m_{и} = 1,15$
Для клееных элементов при $h > 50$ см и $b \leq 10$ см	$m_{и} = 0,85$
Для клееных элементов двутаврового сечения при: $b_1 / b = 0,5$;	$m_{и} = 0,90$
$b_1 / b = 0,33$;	$m_{и} = 0,80$
$b_1 / b = 0,25$.	$m_{и} = 0,75$
Для прочих клееных элементов	$m_{и} = 1,0$
Для бревен, не имеющих врезок в расчетном сечении	$m_{и} = 1,2$
Для составных балок пролетом $l \geq 4$ м на пластинчатых нагелях из двух элементов	$m_{и} = 0,90$
Тоже для балок из двух и трех элементов на деревянных призматических шпонках и колодках	$m_{и} = 0,80$
На смятие	
Для всех элементов	$m_{см} = 1,0$

Таблица 4 – Коэффициенты условий работы элемента

Вид усилия, тип элемента	Коэффициент
На скалывание при изгибе	
При расчете по древесине	$m_{ск} = 1,0$
При расчете по клеевым швам шириной = 8 см	$m_{ск} = 0,75$
При расчете по клеевым швам шириной < 8 см	$m_{ск} = 0,5$
На скалывание лобовых врубок	
Для врубок с одним зубом	$m_{ск} = 1,0$
Для врубок с двумя зубьями:	
– при расчете первого от торца зуба;	$m_{ск} = 0,8$
– при расчете второго зуба.	$m_{ск} = 1,15$
При угле наклона примыкающего сжатого элемента $\alpha \leq 20^\circ$	$m_{ск} = 0,8$
При угле наклона примыкающего сжатого элемента $\alpha = 40^\circ$	$m_{ск} = 0,4$
При промежуточных углах α – по интерполяции	
На скалывание при расчете соединений на деревянных призматических шпонках	
Для поперечных шпонок	$m_{ск} = 0,9$
Для продольных шпонок и колодок	$m_{ск} = 0,8$
Для элементов, соединяемых поперечными шпонками	$m_{ск} = 0,85$
Для элементов, соединяемых продольными шпонками	$m_{ск} = 0,7$
Дополнительные коэффициенты для гнутых элементов	
При сжатии и изгибе:	
$r / a = 125$;	$m_{ск} = 0,7$
$r / a = 150$;	$m_{ск} = 0,8$
$r / a = 200$;	$m_{ск} = 0,9$
$r / a \geq 250$,	$m_{ск} = 1,0$
где r – радиус кривизны гнутого элемента; a – размер сечения одной изгибаемой доски или бруса в направлении радиуса кривизны	

ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

Практические занятия проводятся по **2-м разделам**:

1. Расчет элементов цельного сечения;
2. Расчет соединений.

По первому разделу рассматриваются следующие задачи:

- Расчет элементов цельного сечения на центральное растяжение при наличии ослаблений в виде врезок и отверстий;
- Расчет элементов цельного сечения на центральное сжатие при различных способах закрепления концов стержня;
- Расчет элементов цельного сечения на поперечный изгиб при несимметричной схеме загрузки;
- Расчет элементов цельного сечения на внецентренное растяжение при несимметричной поперечной нагрузке;
- Расчет элементов цельного сечения на внецентренное сжатие при несимметричной поперечной нагрузке.

По второму разделу рассматриваются следующие задачи:

- Расчет опорного узла фермы на врубке с одним зубом;
- Расчет растянутого стыка нижнего пояса фермы на металлических болтах и штырях с двусторонними деревянными накладками.

Тема занятия практического занятия № 1

- а) Определение расчетных характеристик древесины разных пород [1, таблицы 1, 3, 4, 5];
- б) Расчет элементов цельного сечения на центральное растяжение при наличии ослаблений [1, пункт 4.1, формула 4].

Тема занятия практического занятия № 2

Расчет элементов цельного сечения на центральное сжатие [1, пункты 4.2; 4.3; 4.4; 4.5; 4.21, формулы 5, 6, 7, 8, 9, 10].

Тема занятия практического занятия № 3

Расчет элементов цельного сечения на поперечный изгиб из условия прочности и по деформациям [1, пункт 4.9, формула 17].

Тема занятия практического занятия № 4

Расчет элементов цельного сечения на внецентренное расстояние [1, пункт 4.16, формула 27].

Тема занятия практического занятия № 5

Расчет элементов цельного сечения на внецентренное сжатие [1, пункт 4.17, формулы 24, 29, 30].

Тема занятия практического занятия № 6

Расчет опорного узла фермы на врубках с одним зубом расчет на смятие и скалывание [1, пункты 5.1; 5.3; 5.10; 5.11, формулы 52, 53, 54].

Тема занятия практического занятия № 7

Расчет растянутого стыка нижнего пояса фермы на металлических болтах и штырях с двусторонними деревянными накладками [1, пункты 5.13; 5.18, формула 55, таблица 17].

РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Центрально-сжатые элементы

Расчет на прочность:

$$N \leq m_c R_c F_{нт},$$

расчет на устойчивость:

$$N \leq m_c \varphi R_c F_{расч},$$

где $m_c = 1$ (таблица 3);

φ – коэффициент продольного изгиба;

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

$F_{расч}$ – расчетная площадь поперечного сечения для расчета на устойчивость (таблица 5);

R_c – расчетное сопротивление древесины сжатого вдоль волокон (таблица 1);

$F_{ос}$ – площадь ослабления;

$F_{бр}$ – площадь поперечного сечения брутто.

При несимметричных ослаблениях, выходящих на ребра, элементы рассчитываются, как внецентренно сжатые

Таблица 5 – Принимаемые значения $F_{расч}$

Характеристика элемента	Принимаемые значения $F_{расч}$
При отсутствии ослаблений	$F_{расч} = F_{бр}$
При ослаблениях, не выходящих на ребро, если: $F_{ос} \leq 0,25F_{бр}$; $F_{ос} > 0,25F_{бр}$	$F_{расч} = F_{бр}$ $F_{расч} = 4F_{нт}/3$
При симметричных ослаблениях, выходящих на ребро	$F_{расч} = F_{нт}$

Коэффициент продольного изгиба φ

Условие прочности:

При $\lambda \leq 75$

$$\text{где } \varphi = 1 - 0,8 \left(\frac{\lambda}{100} \right)^2, \quad \lambda = \frac{l_0}{r}.$$

При $\lambda > 75$

$$\text{где } \varphi = \frac{3100}{\lambda^2}, \quad r = \sqrt{\frac{I_{бр}}{F_{бр}}};$$

λ – гибкость цельных элементов;

l_0 – расчетная длина элемента (таблица 6);

r – радиус инерции сечения элемента;

$I_{бр}$ – момент инерции поперечного сечения брутто.

Таблица 6 – Расчетная длина элемента l_0

Тип закрепления опор	l_0
При обоих защемленных концах	$l_0 = 0,65 l$
При одном защемленном и другом шарнирно закрепленном конце	$l_0 = 0,8 l$
При обоих шарнирно закрепленных концах	$l_0 = 1,0 l$
При одном защемленном и другом свободно нагруженном конце	$l_0 = 2,0 l$

l – действительная длина элемента.

Центрально-растянутые элементы

Условие прочности:

$$N \leq m_p R_p F_{нт},$$

где $F_{нт}$ – площадь рассматриваемого поперечного сечения нетто: при определении $F_{нт}$ ослабления, расположенные на участке длиной 20 см, принимаются совмещенными в одном сечении;

R_p – расчетное сопротивление древесины растяжению вдоль волокон (таблица 1);

m_p – коэффициент условия работы элемента на растяжение.

Для элементов без ослаблений $m_p = 1,0$. Для элементов с ослаблениями $m_p = 0,8$ (таблица 3);

N – расчетная продольная сила.

Изгибаемые элементы. Расчет на прочность

Условие прочности:

$$M \leq m_{и} R_{и} W_{нт},$$

где M – расчетный изгибающий момент;

$m_{и}$ – коэффициент условия работы элемента на изгиб (таблица 3);

$R_{и}$ – расчетное сопротивление древесины изгибу (таблица 1);

$W_{нт}$ – момент сопротивления нетто рассматриваемого поперечного сечения.

Расчет на скалывание

Условие прочности:

$$Q \leq m_{ск} R_{ск} \frac{b \cdot I_{бр}}{S_{бр}},$$

где Q – расчетная поперечная сила;

$m_{ск}$ – коэффициент условия работы элемента (приложение 3);

$R_{ск}$ – расчетное сопротивление древесины скалыванию вдоль волокон (таблица 1);

$I_{бр}$ – момент инерции брутто рассматриваемого поперечного сечения;

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

b – ширина сечения.

Расчет связей составных балок

Условие прочности:

$$n_c T \geq \frac{1,5 M S_{бр}}{I_{бр}},$$

где n_c – количество связей, равномерно расставленных в каждом шве изгибаемых составных элементов на протяжении от сечения с нулевым моментом до сечения с максимальным изгибающим моментом M , при распределенной по длине элемента нагрузке, а также при сосредоточенных грузах в пределах средней трети пролета;

T – расчетная несущая способность одной связи в данном сечении;

$I_{бр}$ – момент инерции брутто поперечного сечения;

$S_{бр}$ – статический момент брутто части поперечного сечения элемента, отсекаемой рассматриваемым швом, относительно нейтральной оси.

Внецентренно сжатые элементы

Условие прочности:

$$\frac{N}{m_c R_c F_{нт}} + \frac{M}{m_{и} \xi R_{и} W_{нт}} \leq 1, \text{ или } \frac{N}{F_{нт}} + \frac{M}{m_{и} \xi W_{нт}} \leq R_c,$$

где $\xi = 1 - \frac{\lambda^2 N}{3100 R_c F_{бр}}$; $\lambda = \frac{l_0}{r}$; $r = \sqrt{\frac{I_{бр}}{F_{бр}}}$;

$m_{ск}$ – коэффициент условия работы элемента на сжатие $m_c = 1$;

$m_{и}$ – коэффициент условия работы элемента на изгиб (таблица 3);

R_c – расчетное сопротивление древесин на сжатие;

$R_{и}$ – расчетное сопротивление древесин на изгиб (таблица 1);

$F_{нт}$ – площадь сечения нетто;

$F_{бр}$ – площадь сечения брутто;

$W_{нт}$ – момент сопротивления сечения нетто;
 $I_{бр}$ – момент инерции сечения брутто;
 ξ – коэффициент (действительный в пределах от 0 до 1), учитывающий дополнительный момент от продольной силы N при деформации элемента.

При $\frac{M}{W_{бр}} \leq 0,1 \frac{N}{F_{бр}}$ внецентренно сжатый элемент рассчитывается на устойчивость без учета изгибающего момента M по формуле:

$$N \leq m_c \varphi R_c F_{расч}.$$

В составных внецентренно сжатых элементах, кроме того, проверяется устойчивость наиболее напряженной ветви при $l_1 > 7h_1$ по формуле:

$$\frac{N}{F_{бр}} + \frac{M}{\xi W_{бр}} \leq \varphi_1 R_c,$$

где l_1 – расчетная длина ветви;
 h_1 – толщина ветви;
 φ – коэффициент продольного изгиба, вычисленный по длине l_1 (для отдельной ветви);
 $F_{бр}$ – площадь поперечного сечения брутто;
 $W_{бр}$ – момент сопротивления поперечного сечения брутто.

Устойчивость элемента в целом в плоскости перпендикулярной плоскости изгиба проверяется без учета изгибающего момента по формуле:

$$N \leq m_c \varphi R_c F_{расч}.$$

Количество связей в шве (n_c) на половине расчетной длины внецентренно сжатого составного элемента:

$$n_c T \geq \frac{1,5MS_{бр}}{\xi I_{бр}}; \quad \xi = 1 - \frac{\lambda^2 N}{3100 R_c F_{бр}},$$

где $S_{бр}$ – статический момент брутто части поперечного сечения элемента, отсекаемой рассматриваемым швом, относительно нейтральной оси;
 $I_{бр}$ – момент инерции брутто рассматриваемого поперечного сечения;
 T – расчетная несущая способность одной связи в данном шве;
 ξ – коэффициент (действительный в пределах от 0 до 1), учитывающий дополнительный момент от продольной силы N при деформации элемента.

При наличии в шве разных связей:

$$n'_c T + n''_c T + \dots \geq \frac{1,5MS_{бр}}{\xi I_{бр}},$$

где $n'_c T$ – относятся к первому виду связей;
 $n''_c T$ – относятся ко второму виду связей и т. д.

Если связи воспринимают, кроме сил сдвига при изгибе, еще другие усилия, количество связей в шве определяется расчетом на полное усилие.

Внецентренно растянутые элементы

Условие прочности:

$$\frac{N}{m_p R_p F_{нт}} + \frac{M}{m_n \xi R_n W_{нт}} \leq 1, \quad \text{или} \quad \frac{N}{m_p F_{нт}} + \frac{0,77M}{m_n \xi W_{нт}} \leq R_p,$$

где m_p – коэффициент условия работы элемента на растяжение;
 m_n – коэффициент условия работы элемента на изгиб (таблица 3);
 R_p – расчетное сопротивление древесины на растяжение;

$R_{и}$ – расчетное сопротивление древесины на изгиб (таблица 1);
 $F_{нт}$ – площадь сечения нетто;
 $W_{нт}$ – момент сопротивления сечения нетто.

Следует по возможности предотвращать возникновение изгибающих моментов в ослабленных сечениях растянутых элементов центрированием растягивающего усилия по ослабленному сечению или другим способом. При соблюдении этого условия элементы рассчитываются на центральное растяжение.

Расчет соединений элементов конструкций

Общие указания по расчету на скалывание и смятие.

1. Расчетная несущая способность T соединений на врубках, призматических шпонках и т. п. из условия смятия древесины определяется по формуле:

$$T = m_{см} R_{сма} F_{см},$$

где $m_{ск}$ – коэффициент условия работы соединения на смятие;

$F_{см}$ – расчетная площадь смятия;

$R_{сма}$ – расчетное сопротивление древесины смятию под углом α к направлению волокон.

2. Расчетная несущая способность соединений на врубках, призматических шпонках и т. п. из условия скалывания древесины определяется по формулам:

$$T_{см} = m_{ск} R_{ска}^{ср} F_{ск}; R_{ска}^{ср} = \frac{R_{ска}}{1 + \beta \frac{l_{ск}}{l}},$$

где $m_{ск}$ – коэффициент условия работы соединений на скалывание;

$F_{ск}$ – расчетная площадь скалывания;

$R_{ска}^{ср}$ – расчетное среднее по площади скалывания сопротивление скалыванию

$R_{ска}$ – расчетное максимальное сопротивление древесины скалыванию под углом α к направлению волокон;

$h_{вр}$ – глубина врезки в элемент;

h – размер сечения элемента по направлению врезки;

$l_{ск}$ – расчетная длина плоскости скалывания;

l – плечо сил скалывания;

β – коэффициент, зависящий от схемы приложения скалывающих усилий (таблица 7).

Таблица 7 – Значения коэффициента β

Тип элементов	β
Для растянутых элементов соединений на врубках и шпонках с односторонним (по отношению к месту приложения скалывающих сил) расположением площадки скалывания	0,25
Для сжатых элементов соединений с промежуточным (по отношению к местам приложения сил скалывания) расположением площадки скалывания, а также при деревянных шпонках	0,125

Разрешается при расчете соединений на врубках и деревянных призматических шпонках принимать $R_{ска}^{ср}$ по таблице 8.

Таблица 8 – Значения $R_{ска}^{ср}$

Тип древесины	Тип соединений	Дополнительные условия	$R_{ска}^{ср}$, кг/см ²
Сосна и ель	В лобовых врубках и элементах составных балок на шпонках	$l_{ск} \leq 2h$ $l_{ск} \leq 10h$	12
	В щелевых врубках	$l_{ск} \leq 5h$ $l_{ск} \leq 10h$	7
Дуб	В поперечных шпонках	При отношении длины к высоте равному 2,5	10–20

Поправочные коэффициенты к основному расчетному среднему сопротивлению скалыванию принимаются по таблице 2.

Расчетный угол смятия древесины принимается равным углу между направлениями сминающего усилия и волокон сминаемого элемента.

Соединяемые элементы должны проверяться, помимо смятия и скалывания, также при растяжении и смятии по ослабленным сечениям нетто.

Соединения на врубках

Соединения на лобовых врубках:
С одним зубом:

$$1,5h \leq l_{ск} \leq 10h_{вр};$$

$$3h \leq l_{ск} \leq 10h_{вр}.$$

С двумя зубьями:

$$L_{ск} \geq 1,5h;$$

$$\Delta \geq 2 \text{ см.}$$

Соединения на лобовых врубках с двумя зубьями допускаются лишь при условии особо тщательной пригонки обоих зубьев к рабочим (упорным) плоскостям.

Рабочую плоскость смятия во врубках следует располагать перпендикулярно к оси примыкающего сжатого элемента. Глубина врезки лобовой врубки принимается по таблице 9.

Элементы соединений на врубках должны быть связаны болтами, хомутами или скобами.

Расчетное сопротивление древесины скалыванию $R_{ски}$ принимается максимальным, независимо от угла примыкания сжатого элемента, например, для сосны и ели $R_{ски} = R_{ск} = 24 \text{ кг/см}^2$. Расчетное сопротивление древесины смятию для лобовых врубок: вдоль волокон $R_{см} = 150 \text{ кг/см}^2$ (сосна, ель); поперек волокон $R_{см90} = 30 \text{ кг/см}^2$ (сосна, ель).

Таблица 9 – Глубина врезки

Тип врубки	Тип конструкции	Глубина врезки $h_{вр}$, не менее
Лобовые врубки	В промежуточных узлах сквозных конструкций	$h / 4$
	В остальных случаях	$h / 3$

Расчет лобовых врубок с двумя зубьями

Расчеты на скалывание по верхней плоскости на глубине врезки первого от торца зуба производится на усилие:

$$T'_{ск} = T_{ск} \frac{F'_{см}}{F_{см}}; F_{см} = F'_{см} + F''_{см}.$$

где $T_{ск}$ – полное усилие скалывания (растягивающее усилие в нижнем поясе фермы);

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

$F'_{см}$ – площадь смятия первого зуба;

$F''_{см}$ – площадь смятия второго зуба.

Расчет на скалывание по нижней плоскости, на глубине врезки второго зуба, производится на полную силу скалывания $T_{ск}$.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

ОБЪЕМНЫЙ ВЕС ДРЕВЕСИНЫ

Породы древесины		Объемный вес древесины в конструкциях	
		Защищенных от увлажнения	Не защищенных от увлажнения
Хвойные	Лиственница	650	800
	Сосна, ель, кедр, пихта	500	600
Твердые лиственные	Дуб, бук, береза, ясень, клен, граб, акация, вяз, ильм	700	800
Мягкие лиственные	Осина, тополь, ольха, липа	500	600

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Условия эксплуатации [1, таблица 1]	Коэффициент m_v	Условия эксплуатации [1, таблица 1]	Коэффициент m_v
A1, A2, B1, B2	1	B2, B3, Г1	0,85
A3, Б3, B1	0,9	Г2, Г3	0,75

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

ОСНОВНЫЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

β	– коэффициент, зависящий от схемы приложения скалывающих усилий
φ	– коэффициент продольного изгиба
λ	– гибкость цельных элементов
b	– ширина сечения
d	– диаметр круглого сечения (гвоздя, нагеля)
E	– модуль упругости древесины вдоль волокон
$F_{бр}$	– площадь поперечного сечения брутто
$F_{нт}$	– площадь поперечного сечения нетто
$F_{ос}$	– площадь ослабления
$F_{расч}$	– расчетная площадь поперечного сечения
$F_{ск}$	– расчетная площадь скалывания
$F_{см}$	– расчетная площадь смятия
$F'_{см}$	– площадь смятия первого зуба
$F''_{см}$	– площадь смятия второго зуба
h	– высота сечения элемента
$h_{вр}$	– глубина врезки в элемент
I_0	– момент инерции поперечного сечения опертых ветвей
$I_{бр}$	– момент инерции поперечного сечения брутто
$I_{но}$	– момент инерции поперечного сечения неопертых ветвей

K_c	– коэффициент податливости соединений
l	– действительная длина элемента
l	– плечо сил скалывания
l_0	– расчетная длина элемента
$l_{ск}$	– расчетная длина плоскости скалывания
$l_{см}$	– длина площадки смятия вдоль волокон древесины
M	– расчетный изгибающий момент
$m_{гн}$	– коэффициент условия работы для гнутых элементов
$m_{и}$	– коэффициент условия работы элемента на изгиб
$m_{п}$	– коэффициент перехода к расчетным сопротивлениям древесины разных пород
$m_{р}$	– коэффициент условия работы элемента на растяжение
$m_{ск}$	– коэффициент условия работы элемента на скалывание
$m_{см}$	– коэффициент условия работы элемента на смятие
N	– расчетная продольная сила
n_c	– количество связей
Q	– расчетная поперечная сила
$R_{и}$	– расчетное сопротивление древесины на изгиб
$R_{р}$	– расчетное сопротивление древесины на растяжение
R_c	– расчетное сопротивление древесины на сжатие
$R_{с90}$	– расчетное сопротивление древесины сжатию и смятию по всей поверхности поперек волокон
$R_{ск}$	– расчетное сопротивление древесины при скалывании вдоль волокон

- $R_{ск90}$ – расчетное сопротивление древесины при скалывании поперек волокон
- $R_{ска\alpha}$ – расчетное максимальное сопротивление древесины скалыванию под углом α к направлению волокон
- $R_{см}$ – расчетное сопротивление древесины при смятии
- $R_{см90}$ – расчетное сопротивление древесины при смятии поперек волокон
- $R_{сма}$ – расчетное сопротивление древесины смятию под углом α к направлению волокон
- $R_{ска}^{ср}$ – расчетное среднее по площади скалывания сопротивление скалыванию
- r – радиус инерции сечения элемента
- $S_{бр}$ – статический момент брутто
- T – расчетная несущая способность одной связи
- $T_{ск}$ – полное усилие скалывания
- $W_{бр}$ – момент сопротивления брутто
- $W_{нт}$ – момент сопротивления сечения нетто

ЛИТЕРАТУРА

1. СНиП II-25-80. Деревянные конструкции: Нормы проектирования. М.: Стройиздат, 1982. 65 с.
2. Слицкоухов Ю. В. Конструкция из дерева и пластмасс. М.: Стройиздат, 2011. 543 с.

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Составитель

Гульмира Джунушовна Адыракаева

РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ
ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Методические указания к практическим занятиям
по дисциплине «Конструкции из дерева и пластмасс»
для студентов строительных специальностей

Компьютерная верстка – *Ю. Ф. Атаманов*

Подписано в печать 28.10.2019.
Формат 60x84¹/₁₆. Офсетная печать.
Объем 2,0 п. л. Тираж 100 экз. Заказ 182

Отпечатано в типографии КРСУ
720048, г. Бишкек, ул. Анкара, 2а