

Раздел 2. Расчет элементов конструкций из дерева и пластмасс цельного сечения.

2.1. Нормирование расчетных сопротивлений материалов для конструкций из дерева и пластмасс. Расчет элементов деревянных и пластмассовых конструкций по предельным состояниям 1 и 2 групп.

Основными характеристиками сопротивления конструкционных строительных материалов силовым воздействиям являются нормативное и расчетное сопротивления. Эти характеристики определяют путем статистической обработки результатов стандартных испытаний кратковременной нагрузкой образцов материала с учетом статистической изменчивости показателей прочности в сторону минимально возможных значений (рис. 2.1). Статистическим показателем изменчивости свойств материалов является коэффициент вариации V , величина которого для древесины колеблется в пределах 0,15...0,25 в зависимости от вида напряженного состояния. Нормативное сопротивление древесины или пластмасс принято определять на основе закона нормального распределения с доверительной вероятностью 95% (обеспеченностью по минимуму 0,95) по формуле:

$$R_H = R_{вр} (1 - \eta_H V),$$

где $R_{вр}$ - среднее арифметическое значение временного сопротивления (предела прочности) при стандартных испытаниях материала; η_H - множитель, при обеспеченности по минимуму 0,95 и при законе нормального распределения принимаемый равным 1,65; V - коэффициент вариации.

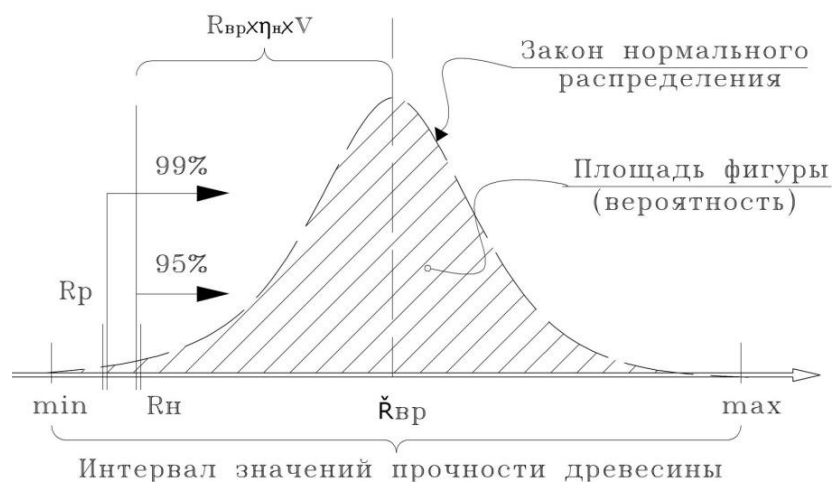


Рис.2.1. К нормированию прочностных характеристик древесины

Расчетное сопротивление определяют на основе нормативного сопротивления с учетом коэффициента надежности по материалу $Y_m=1,1$ и коэффициента $m_{дл}$, учитывающего влияние длительности нагружения конструкции при эксплуатации.

$[R]=(R_n Y_m)$ - для древесины

$[R]=(R_n/Y_m)m_{дл} K_p$ - для пластмасс ($K_p=0.8$).

Расчетные сопротивления древесины отдельных хвойных пород, приведенные к стандартным температуре и влажности и определенные по указанной методике представлены в таблице 2.1. Влияние на прочность материалов условий эксплуатации и особенностей работы, отличающихся от стандартных, учитывают умножением расчетных сопротивлений на коэффициенты условий работы:

$$R=[R] \Pi m_i / \gamma_n,$$

где $[R]$ - расчетное сопротивление материала искомому виду напряженного состояния; m_i - коэффициенты условий работы; γ_n - коэффициент надежности по ответственности зданий и сооружений.

Элементы конструкций рассчитывают по методу предельных состояний. Предельным называется такое состояние конструкции, за пределами которого дальнейшая эксплуатация ее невозможна.

Для конструкций из дерева и пластмасс имеют значение два вида предельных состояний: по несущей способности (прочности,

устойчивости), по деформациям (прогибам, перемещениям). Расчет по первому предельному состоянию производится на расчетные нагрузки, а по второму предельному состоянию производится на нормативные нагрузки. Проф. д-р техн. наук Н. С. Стрелецкий сформулировал основной принцип всякого инженерного расчета, который состоит в том, чтобы было соблюдено условие неразрушимости. Исходя из этого принципа наибольшая возможная или, иначе сказать, предельная нагрузка должна быть меньше или равна наименьшей несущей способности конструкции, вычисленной с учетом рассеяния показателей качества материала, нагрузок и условий работы конструкции, а также с учетом фактора времени.

В расчете по методу предельных состояний учтены особенности работы строительных конструкций, фактическую изменчивость действующих нагрузок, фактическую изменчивость свойств материалов, условий работы конструкций, геометрических размеров элементов конструкций, ответственности зданий и сооружений по назначению и др. Нормируемые значения нагрузок и показателей механических свойств материалов совместно с системой коэффициентов условий работы, надежности по нагрузке и надежности по ответственности обеспечивают необходимый уровень надежности зданий и сооружений, а так же соблюдение условия неразрушимости.

В методе предельных состояний установлены следующие положения расчета строительных конструкций, в т. ч. конструкций из дерева и пластмасс, на силовые воздействия:

- конструкции из дерева и пластмасс должны быть запроектированы так, чтобы они обладали достаточной надежностью при возведении и эксплуатации с учетом, при необходимости, особых воздействий, например пожара. Основное свойство, определяющее пригодность к эксплуатации конструкций из дерева и пластмасс, является безотказность их работы. Безотказность работы - способность сохранять заданные эксплуатационные качества в течение всего срока службы;

- расчет конструкций из дерева и пластмасс следует производить по методу предельных состояний, основные положения которого должны быть направлены на обеспечение безотказной работы конструкций из дерева и пластмасс с учетом изменчивости свойств материалов, нагрузок и воздействий, геометрических характеристик конструкций, условий их работы, ответственности проектируемых зданий и сооружений.

Предельные состояния подразделяются на две группы. К первой группе относятся предельные состояния, которые ведут к полной непригодности к эксплуатации конструкций из дерева и пластмасс, к полной или частичной потере несущей способности зданий и сооружений в целом. Предельные состояния первой группы характеризуются разрушением любого характера, в т. ч. пластическим или хрупким, потерей устойчивости формы (которая приводит к полной непригодности к эксплуатации) или положения, переходом в изменяемую систему, качественным изменением конфигурации, или другими явлениями, при которых наступает необходимость немедленного прекращения эксплуатации деревянных частей зданий и сооружений. Вторая группа включает предельные состояния, затрудняющие нормальную эксплуатацию конструкций из дерева и пластмасс, или снижающая долговечность конструкций из дерева и пластмасс по сравнению с проектным сроком службы. Предельные состояния второй группы определяются достижением предельных деформаций соединениями элементов КДиП, предельных прогибов деревянных конструкций, потерей устойчивости формы, приводящей к затруднению нормальной эксплуатации. Эти факторы требуют временного ограничения эксплуатации объектов с деревянными конструкциями.

Расчет по предельным состояниям позволяет обеспечить надежность здания или сооружения с применением конструкций из дерева и пластмасс в период возведения объекта и в течение всего срока службы. Условия обеспечения надежности требуют, чтобы эффект действия нагрузок -

расчетные значения усилий, напряжений, прогибов, деформаций - не превышали соответствующих предельных значений, установленных сводом правил проектирования конструкций из дерева и пластмасс СП 64.13330.2017 «Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80».

При расчете конструкций должны быть рассмотрены такие расчетные ситуации, в которых учитываются комплексы условий, определяющих расчетные требования к конструкциям из дерева и пластмасс. Расчетные ситуации характеризуются расчетной схемой конструкции, видами нагрузок, значениями коэффициентов условий работы, коэффициентов надежности, перечнем предельных состояний, которые отражают данную ситуацию.

При расчете по первой группе предельных состояний основными прочностными характеристиками древесины, как конструкционного строительного материала, являются расчетные сопротивления. В СП 64.13330.2017 «Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80» расчетные сопротивления древесины при влажности $W=12\%$ установлены в зависимости от породы древесины, условий эксплуатации, режима длительности нагружения конструкции и ряда других факторов. В соответствии с СП 64.13330.2017, в таблице 2.1 даны расчетные характеристики древесины сосны, ели и лиственницы европейской, отсортированной по сортам, для режима нагружения, обозначенного в нормах индексом «А», для сооружений 2-го класса функционального назначения, при сроке эксплуатации не более 50 лет.

Расчетные сопротивления древесины сосны, ели и лиственницы европейской, отсортированной по сортам, следует определять по формуле

$$R^p = R^A m_{дл} \cdot \Pi m_i$$

Где R^A - расчетное сопротивление древесины, МПа, приведенное в таблице 2.1, влажностью 12 % для режима нагружения А, в сооружениях 2-го

класса функционального назначения, при сроке эксплуатации не более 50 лет;

$m_{дл}$ - коэффициент длительной прочности, соответствующий режиму длительности нагружения (таб. 2.2);

Pm_i - произведение коэффициентов условий работы, которые отражают условия эксплуатации и конструктивные особенности деревянных элементов и сооружений в целом, в т. ч.

- коэффициент m_b - учитывающий температурно-влажностные условия эксплуатации деревянных конструкций;

- коэффициенты m_T - учитывающие постоянный и длительный нагрев деревянных конструкций;

- коэффициент m_6 - учитывающий высоту поперечного сечения изгибаемых, внецентренно сжатых, сжато-изгибаемых и сжатых клееных элементов прямоугольного более 50 см;

- коэффициент m_o - учитывающий ослабления в расчетном сечении растянутых и изгибаемых элементов;

- коэффициент m_a - учитывающий глубокую пропитку древесины антипиренами под давлением;

- коэффициент $m_{сл}$ - учитывающий в изгибаемых, внецентренно сжатых, сжато-изгибаемых и сжатых клееных деревянных элементах толщину слоев;

- коэффициент $m_{гн}$ - учитывающий изгиб на стадии изготовления гнутоклееных элементов;

- коэффициент $m_{сс}$ - учитывающий срок службы деревянных конструкций.

Согласно СП 64.13330.2017 различают следующие режимы длительности нагружения деревянных конструкций: нагружение линейно возрастающей нагрузкой при стандартных машинных испытаниях, совместное действие постоянной и длительной временной нагрузок, напряжение от которых превышает 80% полного напряжения в элементах конструкций от всех нагрузок, совместное действие постоянной и

кратковременной снеговой нагрузок, совместное действие постоянной и кратковременной ветровой и (или) монтажной нагрузок, совместное действие постоянной и сейсмической нагрузок, действие импульсивных и ударных нагрузок, совместное действие постоянной и кратковременной снеговой нагрузок в условиях пожара, для опор воздушных линий электропередачи- гололедная, монтажная, ветровая при гололеде, оттяжения проводов при температуре ниже среднегодовой, для опор воздушных линий электропередачи при выборе проводов и тросов.

Таблица 2.1

Расчетные сопротивления сосны, ели, лиственницы европейской

Напряженное состояние и характеристика элементов	Расчетное сопротивление, МПа, для сортов древесины			
	Обозначение	1	2	3
1 Изгиб, сжатие и смятие вдоль волокон: а) элементы прямоугольного сечения [за исключением указанных в б), в)] высотой не более 50см. При высоте сечения более 50 см следует к расчетному сопротивлению в параметр Pm_i вводить коэффициент условия работы m_6	$R_{и}^A, R_{с}^A, R_{см}^A$	21	19,5	13
б) элементы прямоугольного сечения шириной от 11 до 13 см при высоте сечения от 11 до 50 см		22.5	21	15
в) элементы прямоугольного сечения шириной более 13 см при высоте сечения от 13 до 50 см		24	22.5	16.5
г) элементы из круглых лесоматериалов без врезок в расчетном сечении		-	24	15
2 Растяжение вдоль волокон: а) элементы из цельной древесины б) клееные элементы	R_p^A	15 18	10.5 13.5	- -
3 Сжатие и смятие по всей площади 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 от 90° до 60°		6	6	6

5 Скалывание вдоль волокон: а) при изгибе элементов из цельной древесины б) при изгибе клееных элементов в) в лобовых врубках для максимального напряжения г) местное клеевых соединениях для максимального напряжения	$R_{ск}^A$	2.7 2.4 3.6 3.2	2.4 2.25 3.2 3.2	2.4 2.25 3.2 3.2
6 Скалывание поперек волокон в соединениях: а) элементов из цельной древесины б) клееных элементов	$R_{ск90}^A$	1.5 1.05	1.2 1.05	0.9 0.9
7 Растяжение поперек волокон элементов из клееной древесины	R_{R90}^A	0.23	0.15	0.12
8 Срез под углом к волокнам 45°	$R_{ср45}^A$	9	7.5	6
То же 90°	$R_{ср90}^A$	16.5	13.5	12

Примечания:

В конструкциях построечного изготовления величины расчетных сопротивлений на растяжение, принятые по пункту 2а) настоящей таблицы, следует снижать на 30 %.

Расчетное сопротивление изгибу для элементов настила и обрешетки под кровлю из древесины 3-го сорта следует принимать равным 13 МПа.

Каждому режиму нагружения соответствует приведенное расчетное время действия нагрузки и коэффициент длительной прочности $m_{дл}$ - (таб. 2.2).

Таблица 2.2

Режимы длительности загрузки деревянных конструкций

Обозначение режимов нагружения	Характеристика режимов нагружения	Приведенное расчетное время действия нагрузки, с	Коэффициент длительной прочности $m_{дл}$
А	Линейно возрастающая нагрузка при стандартных машинных испытаниях	1-10	1,0
Б	Совместное действие постоянной и длительной временной нагрузок, напряжение от которых превышает 80% полного напряжения в элементах конструкций от всех нагрузок	$10^8 - 10^9$	0,53

В	Совместное действие постоянной и кратковременной снеговой нагрузок	$10^6 - 10^7$	0,66
Г	Совместное действие постоянной и кратковременной ветровой и (или) монтажной нагрузок	$10^3 - 10^4$	0,8
Д	Совместное действие постоянной 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 натяжения проводов при температуре ниже среднегодовой	$10^4 - 10^5$	0,85
К	Для опор воздушных линий электропередачи при выборе проводов и тросов	$10^{-1} - 10^{-2}$	1,1

Расчетное сопротивление древесины местному смятию поперек волокон на части длины (при длине незагруженных участков не менее длины площадки смятия и толщины элементов), определяют по формуле:

$$R_{\text{см}90}^A = R_{\text{с}90}^A \left(1 + \frac{80}{l_{\text{см}} + 12} \right)$$

где $R_{\text{с}90}$ - расчетное сопротивление древесины сжатию и смятию по всей поверхности поперек волокон; $l_{\text{см}}$ - длина площадки смятия вдоль волокон древесины, см;

Расчетное сопротивление древесины смятию под углом α к направлению волокон вычисляют по формуле:

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

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

$$R_{\text{ск}\alpha}^A = \frac{R_{\text{ск}}^A}{1 + \left(\frac{R_{\text{ск}}^A}{R_{\text{ск}90}^A} - 1 \right)} \sin^3 \alpha$$

Поскольку в таблице 2.1 даны расчетные сопротивления сосны, ели, лиственницы европейской, расчетные сопротивления древесины других пород определяются умножением основных расчетных сопротивлений на соответствующие коэффициенты. сосны и ели при длительном действии статической нагрузки, а в таблице 2.3 приведены коэффициенты пересчета расчетных сопротивлений для древесины других пород.

Таблица 2.3

Переходные коэффициенты к расчетным сопротивлениям для расчетных сопротивлений древесины других пород

Древесины породы	Коэффициент m_{II} для расчетных сопротивлений		
	растяжению, изгибу, сжатию и смятию вдоль волокон, $R_p, R_{II}, R_c, R_{см}$	сжатию и смятию поперек волокон, $R_{с90}, R_{см90}$	Скалыванию $R_{ск}$
Хвойные:			
Лиственница, кроме европейской	1,2	1,2	1
Кедр сибирский, кроме Красноярского края	0,9	0,9	0,9
Кедр Красноярского края	0,65	0,65	0,65
Пихта	0,8	0,8	0,8
Твердые лиственные:			
Дуб	1,3	2	1,3
Ясень, клен, граб	1,3	2	1,6
Акация	1,5	2,2	1,8
Береза, бук	1,1	1,6	1,3
Вяз, ильм	1	1,6	1
Мягкие лиственные:			
Ольха, липа, осина, тополь	0,8	1	0,8

Примечание.

Коэффициенты, указанные в таблице для конструкций опор воздушных линий электропередачи, изготовляемых из непрочитанной антисептиками лиственницы (при влажности ≤ 25 %) умножают на коэффициент 0,85.

Условия работы конструкций учитывают умножением расчетных сопротивлений, приведенных в таблице 2.1, на соответствующие коэффициенты условий работы, которые входят в параметр Pm_i :

а) для различных условий эксплуатации деревянных конструкций - коэффициент m_e , указанный в таблице 2.4.

Таблица 2.4

Значения коэффициента условий эксплуатации

Условие эксплуатации	1А и 1	2	3	4
Коэффициент m_b	1	0,9	0,85	0,75

Таблица 2.5

Условия эксплуатации деревянных конструкций

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 течении 2-3 недель в году.

б) конструкций, эксплуатируемых при установившейся температуре воздуха ниже плюс 35°C, - коэффициент $m_T=1$; при температуре плюс 50°C – коэффициент $m_T=0,8$. Для промежуточных значений температуры коэффициент принимают по интерполяции;

в) изгибаемых, внецентренно сжатых, сжато-изгибаемых и сжатых клееных элементов прямоугольного сечения высотой более 50 см значения расчетных сопротивлений изгибу и сжатию вдоль волокон - коэффициент m_b указанный в таблице 2.6:

Таблица 2.6

Значение коэффициента в зависимости от высоты сечения

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

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

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

е) изгибаемых, внецентренно сжатых, сжато-изгибаемых и сжатых клееных деревянных элементов, в зависимости от толщины слоев, значения расчетных сопротивлений изгибу, скалыванию и сжатию вдоль волокон – коэффициент $m_{сл}$, указанный в таблице 2.7:

Таблица 2.7

Значение коэффициента в зависимости от толщины слоя

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

ж) гнутых элементов конструкций значения расчетных сопротивлений растяжению, сжатию и изгибу – коэффициент $m_{гн}$, указанный в таблице 2.8:

Таблица 2.8

Значение коэффициента в зависимости от кривизны элемента

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_{ci}	0,8	0,9	1	1
Растяжение	R_p	0,6	0,7	0,8	1

Примечание:

r_k - радиус кривизны гнутой доски или бруса; a - толщина гнутой доски или бруса в радиальном направлении.

и) в зависимости от срока службы - коэффициент $m_{с.с.}$ указанный в таблице 2.9:

Таблица 2.9

Значение коэффициента в зависимости от срока службы

Вид напряженного состояния	Значение коэффициента $m_{с.с.}$ при сроке службы сооружения		
	≤ 50 лет	75 лет	100 лет и более
Изгиб, сжатие, 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	0,8	0,5

Примечание:

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

к) для смятия поперек волокон при режимах нагружения Г-К коэффициент $m_{см.}=1,15$.

При расчете по второму предельному состоянию модуль упругости древесины принимают; вдоль волокон $E=10000$ МПа, поперек волокон $E_{90}=400$ МПа, а модуль сдвига относительно осей, направленных вдоль и поперек волокон, $G=500$ МПа. Коэффициент Пуассона древесины поперек волокон при напряжениях, направленных вдоль волокон, принимают

$V_{90,0}=0,5$, а вдоль волокон при напряжениях, направленных поперек волокон, $V_{90,0}=0,02$.

Для конструкций, которые находятся в различных условиях эксплуатации, подвергаются повышенной температуре, совместному воздействию постоянной и временной длительной нагрузок, модули упругости (E и G) умножаются на соответствующие коэффициенты. Предусматривается, что в случае расчета конструкций на устойчивость и по деформированной схеме модуль упругости древесины следует принимать $E=300R_c$, где R_c 13–24 МПа - расчетное сопротивление сжатию вдоль волокон для режима нагружения В.

Следует отметить, что согласно СП 64.13330.2017 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:

$$E^II(G^II) = E_{cp}(G_{cp})m_{дл,E}Pm_i$$

где E_{cp} - средний модуль упругости при изгибе, МПа, согласно приложению В СП 64.13330.2017 (таб. 2.10); $m_{дл,E}$ - коэффициент для упругих характеристик, для режима нагружения Б (таб. 2.2) принимают равным 0,8, для остальных режимов нагружения - 1; Pm_i - произведение коэффициентов условий работы $m_b, m_T, m_{с.с.}$.

Согласно СП 64.13330.2017 расчетный модуль упругости (модуль сдвига) древесины при расчете по предельным состояниям 1-й группы по деформированной схеме E^I (G^I) следует вычислять по формуле:

$$E^I(G^I) = E_n(G_{cp})m_{дл,E}Pm_i,$$

где E_n - нормативный модуль упругости при изгибе с обеспеченностью 0,95, МПа; $m_{дл,E}$ и Pm_i - в соответствии см. выше.

Таблица 2.10

Величина прочности и среднего модуля упругости при изгибе

Наименование свойств	Обозначение	Значение свойств для классов прочности			
		K24	K28	K32	K36
Прочность, МПа					
Нормативное значение при изгибе, 5 %-ный квантиль	$R_{и,н}$	24	28	32	36
Модуль упругости, ГПа					
Среднее значение модуля упругости при изгибе		11600	12600	13700	14700
Нормативное значение модуля упругости, 5-% квантиль	$E_{о,н}$	9400	10200	11100	11900
Среднее значение модуля упругости поперек волокон	$E_{90,ср}$	390	420	460	490
Среднее значение модуля сдвига	$G_{сд}$	720	780	850	910

2.2 Расчет элементов деревянных и пластмассовых конструкций по предельным состояниям 1 и 2 групп.

2.2.1 Расчет деревянных элементов на центральное растяжение

Деревянные элементы, работающие на центральное растяжение (рис 2.2.1), рассчитывают по наиболее ослабленному сечению:

$$\frac{N}{F_n} \leq R_p m_0$$

Коэффициент $m_0=0,8$ учитывает концентрацию напряжений, которая возникает в местах ослаблений. При определении $F_{нт}$ необходимо учитывать волокнистую структуру древесины.

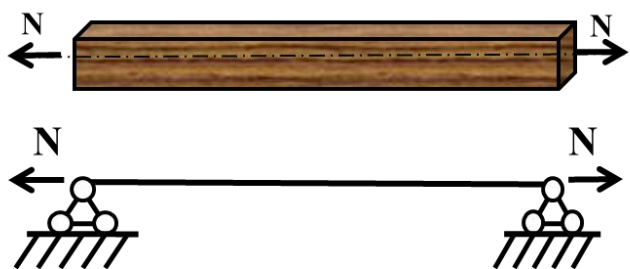


Рис.2.2.1. Схема стержня работающего на растяжение

Если считать, что площадь и жесткость волокон древесины одинаковы, то в сечении 1-1 (рис. 2.2.1) все волокна будут загружены одинаково. В первом отверстии у сечения 2-2 часть волокон будет перерезана, в связи с чем их усилия будут переданы соседним волокнам,

которые окажутся нагруженными сильнее. Таким образом распределение растягивающих напряжений в сечении 3-3 будет неравномерным. На расстоянии S между отверстиями эта неравномерность будет постепенно выравниваться. Однако если расстояние S невелико, то выравнивания не произойдет, а так как в сечении 4-4, где находятся два отверстия, часть волокон ими будет так же вырезана, то соседние пока сильно нагруженные волокна еще получают дополнительные усилия. В результате усилия в отдельных волокнах могут достичь их предела прочности на растяжение, что приведет к разрыву волокон, передаче усилий с них соседним волокнам и их последующему разрыву. Так как разрыв будет в наиболее слабых местах волокон, то разрушение элемента произойдет по зигзагу, как показано на рис. 2.2.1:

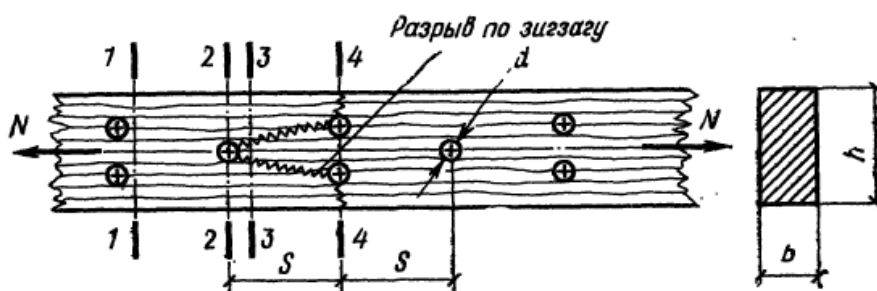


Рис. 2.2.2. Центральное растяжение деревянного элемента

Из изложенного следует, что при определении площади ослабления $F_{нт}$ надо учитывать расстояния S между соседними ослаблениями. В СП 64.13330-2017 в связи с этим устанавливается, что при определении $F_{нт}$ все ослабления, расположенные на участке длиной до 200 мм, следует принимать совмещенными в одном сечении.

Применительно к рисунку 2.2.2 по этому требованию при $S \geq 200$ мм $F_{нт} = b(h - 2d)$, а при $S < 200$ мм $F_{нт} = b(h - 3d)$.

2.2.2. Расчет деревянных элементов на центральное сжатие.

Пластические свойства древесины при центральном сжатии рисунок 2.2.3 проявляются значительно сильнее, чем при растяжении, поэтому при расчете на прочность ослабление учитывают только в рассчитываемом сечении, а при расчете на устойчивость, во-первых, особо учитывают зону

работы древесины, в которой модуль упругости нельзя считать постоянным, и, во-вторых, принимают во внимание невозможность обеспечения при защемлении элемента угла поворота, равного нулю.

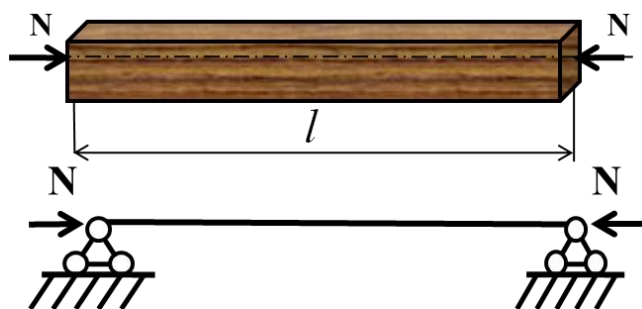


Рис. 2.2.3. Схема стержня работающего на сжатие

Расчет на прочность производят по формуле:

$$\frac{N}{F_{\text{н}}} \leq R_{\text{с}}$$

где N - действующее в элементе усилие; $F_{\text{нт}}$ - площадь нетто в рассчитываемом сечении.

Расчет на прочность необходим главным образом для коротких стержней, для которых условно длина $\leq 7\delta$. Более длинные элементы, не закрепленные в поперечном направлении связями, следует рассчитывать на продольный изгиб, который состоит в потере гибким центрально сжатым прямым стержнем своей прямолинейной формы, что называется потерей устойчивости. Потеря устойчивости сопровождается искривлением оси стержня при напряжениях, меньших предела прочности.

Сжатые деревянные элементы рассчитывают на устойчивость при действии продольных сил сжатия N от расчетных нагрузок:

$$\frac{N}{\varphi(x;y)F_{\text{расч}}} \leq R_{\text{с}}$$

где $F_{\text{расч}}$ - расчетная площадь поперечного сечения элемента, которая принимается равной (таб. 2.2.1.).

Таблица 2.2.1

Таблица определение расчетной площади поперечного сечения $F_{\text{расч}}$

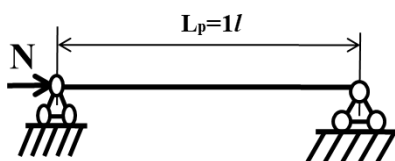
$F_{расч}=F_{бр}$	$F_{расч}=4/3F_{нт}$	$F_{расч}=F_{нт}$	Расчет как внецентренно- сжатого элемента
- если нет ослаблений; - если ослабления не выходят на кромку и $F_{осл} \leq 0,25F_{бр}$	- если ослабления не выходят на кромку и $F_{осл} > 0,25F_{бр}$	- если ослабления симметричные и выходят на кромку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

Коэффициент устойчивости элемента φ определяется в зависимости от его расчетной длины l_0 , радиуса инерции сечения r , гибкости $\lambda = l_0/r$ и находится из выражений $\varphi = 3000/A^2$ при $\lambda > 70$ и $\varphi = 1 - (\lambda/100)^2$ при $\lambda \leq 70$.

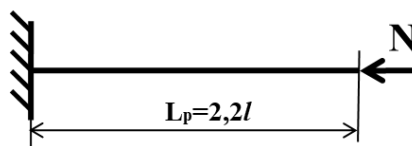
Для каждого материала A имеет свое значение. В частности, для древесины $A=3000$, для фанеры и LVL $A=2500$, для полиэфирного стеклопластика $A=1097$; для органического стекла $A=580$ и т. д. В связи с тем, что древесина является упругопластическим материалом, ее модуль упругости можно считать постоянным только до предела пропорциональности.

Для древесины коэффициент $a=0,8$, для фанеры и LVL $a=1$. В точке $\lambda=70$ кривая ЦНИИПС и гипербола Эйлера имеют общую касательную. Кривую ЦНИИПС используют при гибкостях 0-70, а формулу Эйлера при $\lambda > 70$.

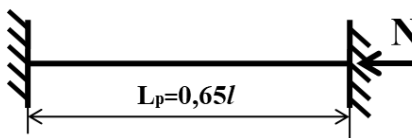
Расчетная длина l_0 учитывает влияние типа закрепления концов на устойчивость сжатого элемента. При обоих шарнирно закрепленных концах она равна геометрической длине $l_0=l$.



При одном закрепленном, а другом свободном конце $l_0=2,2l$.



При обоих жестко заземленных $l_0=0,65$.



В случае распределенной равномерно по длине элемента продольной нагрузки: при обоих шарнирно-закрепленных концах 0,73; при одном заземленном и другом свободном конце 1,2.

Гибкость элементов конструкций не должна превышать значений, приведенных в таблице 2.2.2.

Таблица 2.2.2

Предельные гибкости элементов конструкций

Элементы конструкций	Предельная гибкость $\lambda_{\max}$
Сжатые пояса, опорные раскосы и опорные стойки ферм, колонны	120
Прочие сжатые элементы ферм и других сквозных конструкций	150
Сжатые элементы связей	200
Растянутые пояса ферм в вертикальной плоскости	150
Прочие растянутые элементы ферм и других сквозных конструкций	200
Связи	200

2.2.3 Расчет деревянных элементов на поперечный изгиб.

Изгибаемые элементы рассчитывают по первому и второму предельным состояниям, или иначе на прочность и жесткость. В расчете по первому предельному состоянию используют расчетную нагрузку, а при определении прогиба нормативную нагрузку, т. е. без учета коэффициента надежности по нагрузке. Расчет деревянных элементов на изгиб по нормальным напряжениям производят приближенно. При более точном методе необходим учет различных значений модулей упругости в сжатой и растянутой зонах.

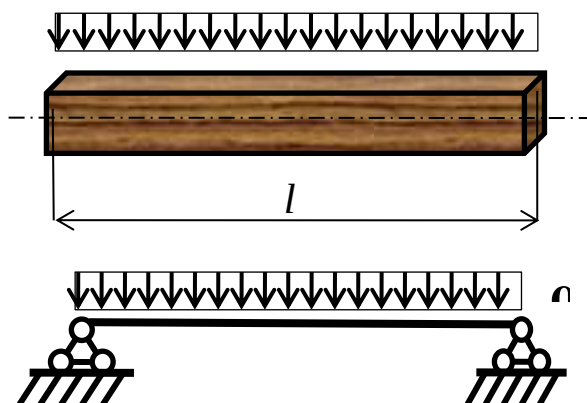


Рис. 2.2.3. Схема стержня работающего на изгиб

Нормальные напряжения определяют при двух допущениях: во-первых, считается, что модули упругости в растянутой и сжатой зонах равны, т.е. $E_c = E_p$, и во-вторых, принимается прямолинейное распределение напряжений по высоте элемента.

При этих допущениях нормальные напряжения в элементах, обеспеченных от потери устойчивости плоской формы деформирования:

$$\frac{M}{W_{нт}} \leq R_{и}^p$$

При определении $W_{нт}$ ослабления сечений, расположенные на участке длиной 200 мм, условно совмещаются в одном сечении;

Прочность проверяют в сечении, где действуют наибольшие изгибные напряжения и, кроме того, в тех сечениях, в которых имеются ослабления

Известно, что Д. И. Журавским было установлено наличие в элементах, работающих на поперечный изгиб, не только нормальных, но также и касательных напряжений, поэтому разрушение элемента может произойти как от нормальных, так и от касательных напряжений в зависимости от того, какие из них раньше достигнут предела прочности. Касательные напряжения особенно опасны, например при больших сосредоточенных грузах, расположенных недалеко от опор, или в балках двутаврового сечения.

На прочность от касательных напряжений проверяют по формуле:

$$\frac{Q \cdot S_{\text{бр}}}{b \cdot I_{\text{бр}}} \leq R_{\text{ск}}^p$$

где Q - расчетная поперечная сила; $S_{\text{бр}}$ - статический момент брутто сдвигаемой части сечения относительно нейтральной оси; $I_{\text{бр}}$ - момент инерции брутто сечения относительно нейтральной оси; b - ширина площадки скалывания (ширина сечения); $R_{\text{ск}}$ - расчетное сопротивление скалыванию при изгибе.

Отношение l/h для элементов прямоугольного сечения, загруженных равномерно распределенной нагрузкой в однопролетных схемах, при котором дальнейшее уменьшение будет приводить к разрушению от касательных напряжений (таб. 2.2.3)

Таблица 2.2.3

Соотношение l/h при котором высока вероятность разрушения от касательных напряжений

Характеристика элементов	Сорт древесины		
	1	2	3
Изгиб неклееных элементов: высотой до 50 см (кроме указанных в пп. б, в)	7,78	8,12	5,31
шириной свыше 11 до 13 см при высоте сечения свыше 11 до 50 см	8,33	8,75	6,25
шириной свыше 13 см при высоте сечения свыше 13 до 50 см	8,89	9,37	6,87

Помимо расчета на прочность изгибаемые элементы, особенно при их малой ширине, проверяют также на устойчивость плоской формы деформирования:

$$\frac{M}{\varphi_M W_{\text{бр}}} \leq R_{\text{и}}^p$$

где M - максимальный изгибающий момент на рассматриваемом участке l_p ; $W_{\text{нт}}$ - момент сопротивления; φ_M - коэффициент устойчивости изгибаемых элементов, шарнирно закрепленных от смещения из плоскости изгиба и закрепленных от поворота в опорных сечениях, определяемый по формуле:

$$\varphi_M = 140 \frac{b^2}{l_p \cdot h} k_\phi$$

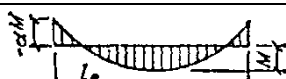
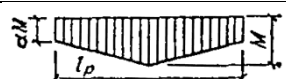
где b, h - ширина и высота поперечного сечения элемента; l_p - расстояние между опорными сечениями элемента, а при закреплении сжатой кромки элемента, в промежуточных точках от смещения из плоскости изгиба - расстояние между этими точками; k_ϕ - коэффициент, зависящий от формы эпюры моментов на участке l_p , определяется по таблице 2.2.6; $k_{пМ}$ - коэффициент, который вводят при подкреплении из плоскости изгиба в промежуточных точках растянутой кромки элемента на участке l_p :

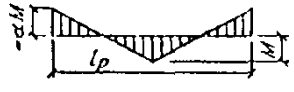
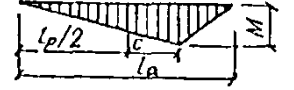
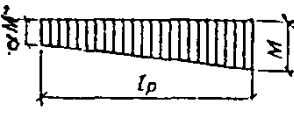
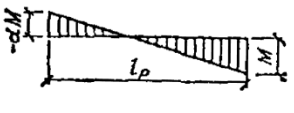
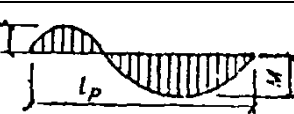
$$k_{пМ} = 1 + \left[0,142 \frac{l_p}{h} + 1,76 \frac{h}{l_p} + 1,4 \alpha_p - 1 \right] \frac{m^2}{m^2 + 1}$$

α_p - центральный угол, рад определяющий участок l_p элемента кругового очертания (для прямолинейных элементов $\alpha_p = 0$); m - число подкрепленных (с одинаковым шагом) точек растянутой кромки на участке l_p (кроме крайних точек). При $m \geq 4$ значение $\frac{m^2}{m^2 + 1}$ следует принимать 1.

Таблица 2.2.4

Значения коэффициента K_ϕ

Форма эпюры моментов	Коэффициент K_ϕ	
	при закреплении только по концам участка l_p	при закреплении по концам и по растянутой от момента M кромки
	1	1
	$1,13 - 0,13\alpha$ $0 \leq \alpha \leq 1$	$1,13 - 0,13\alpha$ $0 \leq \alpha \leq 1$
	$1,13 - \alpha \cdot (0,12 + 0,02\alpha)$ $-2 \leq \alpha \leq 0$	$1,13 - \alpha \cdot (0,12 + 0,02\alpha)$ $-2 \leq \alpha \leq 0$
	$1,35 - 0,35\alpha$ $0 \leq \alpha \leq 1$	$1,35 - 0,35\alpha$ $0 \leq \alpha \leq 1$

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

Изгибаемые элементы проверяют по второму предельному состоянию на жесткость по формуле:

$$f \leq f_u$$

где f - расчетный или фактический прогиб деревянного элемента, определяемый с учетом всех основных факторов, влияющих на работу конструкции (ползучесть, учет деформированной схемы, податливость узлов сопряжений); f_u - предельный прогиб элементов деревянных конструкций покрытий и перекрытий, установленный СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*».

Проверку следует производить исходя из эстетико-психологических (Э/П), конструктивных (К), физиологических (Ф), технологических (Т)

требований. Каждое из указанных требований должно быть выполнено при расчете независимо от других.

Для высоких деревянных элементов, у которых отношение пролета к высоте превышает 15, для элементов из пластмасс, имеющих малый модуль упругости необходимо учитывать влияние на прогиб касательных напряжений. В этом случае прогиб f следует определять по формуле:

$$f = \frac{f_0}{k} \left[1 + c \left(\frac{h}{l} \right)^2 \right],$$

где k - коэффициент, учитывающий влияние переменности высоты сечения, принимаемый равным 1 для балок постоянного сечения; c - коэффициент, учитывающий влияние деформаций сдвига от поперечной силы; h - наибольшая высота сечения; l - пролет балки; f_0 - прогиб балки постоянного сечения высотой h без учета деформаций сдвига, например для равномерно распределенной нагрузки двухопорной балки

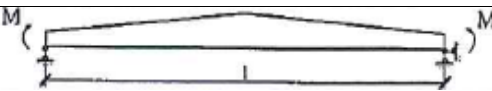
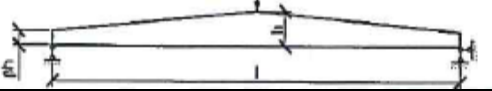
$$f_0 = 5/384 q_n l^4 / E I_{бр},$$

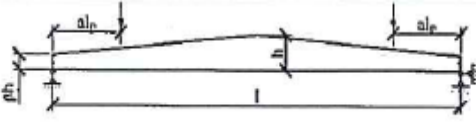
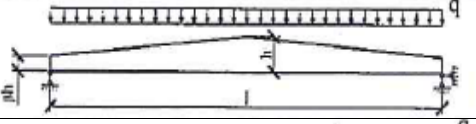
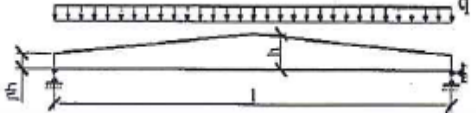
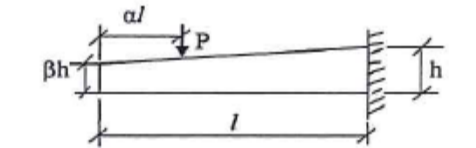
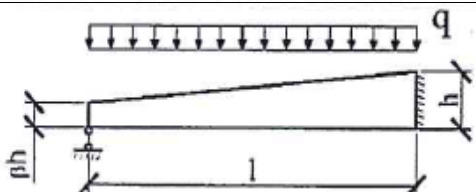
где q_n - нормативная равномерно распределенная нагрузка на балку, E - модуль упругости материала; $I_{бр}$ - момент инерции поперечного сечения брутто.

Значения коэффициентов k и C для основных расчетных схем балок приведены в таблице 2.2.5.

Таблица 2.2.5

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

Поперечное сечение балки	Расчетная схема	k	c
Прямоугольное		β	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		$0,35 + 0,65\beta$	$5,4 + 2,6\beta$

Примечание:

γ - отношение площади поясов к площади стенки двутавровой балки (высота стенки принимается между центрами тяжести поясов).

Прогиб клееных элементов из фанеры с древесиной следует определять, принимая жесткость сечения равной $0,7EI_{np.}$, где $I_{np.}$ - момент инерции сечения, приведенного к фанере.

Прогибы элементов не должны превышать предельных, установленных для каждого вида конструкции.

Выборка из СП 20.13330.2016 включает основные типы изгибаемых элементов, характерные для деревянных конструкций (таб. 2.2.6).

Таблица 2.2.6

Предельные прогибы

Элементы конструкций	Требования	f_u	Нагрузки
----------------------	------------	-------	----------

1. Балки, фермы, ригели, прогоны, плиты, настилы: а) покрытий и перекрытий, открытых для обзора, при пролете L, м : L < 1 L = 3 L = 6 L = 24 (12*) L = 36 (24*) б) покрытий и перекрытий при наличии перегородок под ними	Э/П К	L/120 L/150 L/200 L/250 L/300 40 мм	Постоянные и временные длительные Приводящие к уменьшению зазора
3. Плиты перекрытий, лестничные марши и площадки, прогибу которых не препятствуют смежные элементы	Ф	0,7 мм	P=1кН в середине пролета

Примечания к п. 1.а таблицы:

- для промежуточных значений L предельные прогибы следует определять линейной интерполяцией;
- значения в скобках даны для помещений высотой до 6 м включительно.

Комментарии к п. 1.б:

- прогиб f не должен превышать зазора между нижней поверхностью изгибаемых элементов и верхом перегородок, витражей, оконных и дверных коробок, расположенных под изгибаемыми элементами;
- зазор не должен превышать 40 мм;
- нагрузки - постоянные, временные длительные и кратковременные.

Общие примечания:

- предельные прогибы элементов конструкций, не указанных в таблице .2.15, следует принимать равными L/150 , расчетные прогибы элементов необходимо определять от действия постоянной, временной длительной и кратковременной нагрузок;
- для консольных элементов вместо L следует принимать удвоенную величину пролета.

2.2.3.1 Расчет деревянных элементов на косой изгиб.

Косым называется изгиб, при котором направление Действия усилия не совпадает с направлением одной из главных осей поперечного сечения элемента (рис.2.2.4 а), в этом случае действующее усилие раскладывают по направлению главных осей сечения, затем находят изгибающие моменты, действующие в этих плоскостях.

Нормальные напряжения находят по формуле:

$$\frac{M_1}{W_x} + \frac{M_2}{W_y} \leq R_{\text{и}}^p$$

где M_1 , M_2 - изгибающие моменты, например при равномерно распределенной нагрузке от q_1 и q_2 ; W_x и W_y - моменты сопротивления относительно осей X и Y соответственно (рис.2.2.4)

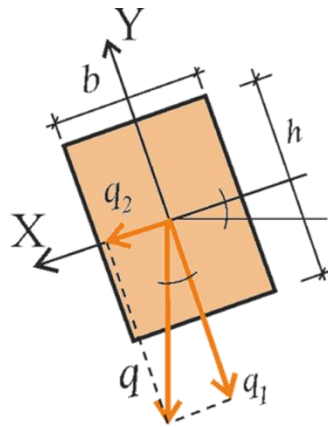


Рис. 2.2.4. Изгиб, при котором направление действия усилия не совпадает с направлением главных осей поперечного сечения элемента

Полный прогиб равен геометрической сумме прогибов от усилий q_x и q_y :

$$f = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} \leq f_u$$

Элемент, имеющий квадратное поперечное сечение, на косой изгиб не работает, так как он всегда деформируется в плоскости действия усилия. Однако формально напряжения в нем определяют по формуле косого изгиба:

$$\sigma = \frac{M_1 + M_2}{W} \leq R_{\text{и}}^p$$

При косом изгибе увеличиваются размеры прогонов прямоугольного сечения, поэтому надо конструктивными мерами исключать работу

элементов на косой изгиб. Так, например, применительно к кровельному покрытию можно исключить работу прогонов на косой изгиб, воспринимая скатную составляющую вспомогательными стропильными ногами, расположенными по прогонам и скрепленными с ними, а также соединенными друг с другом в коньке здания.

2.2.4 Расчет деревянных элементов работающих на растяжение с изгибом.

В растянуто-изгибаемых элементах кроме изгибающего момента действует центрально-приложенное усилие, которое растягивает стержень (рис. 2.2.5), т. е. направлено в обратную сторону по сравнению со сжато-изгибаемым элементом.

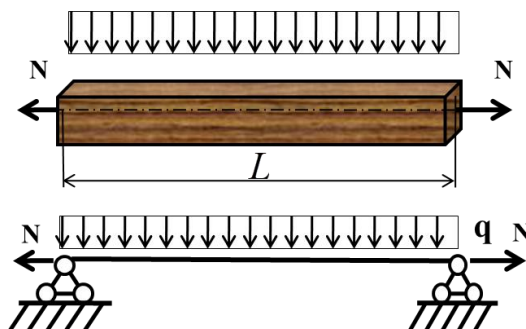


Рис. 2.2.5. Схема стержня работающего на растяжение с изгибом

Поэтому после прогиба стержня, вызванного изгибающим моментом, нормальное усилие будет создавать дополнительный момент противоположного знака (рис.2.2.6) и таким образом уменьшать основной момент.

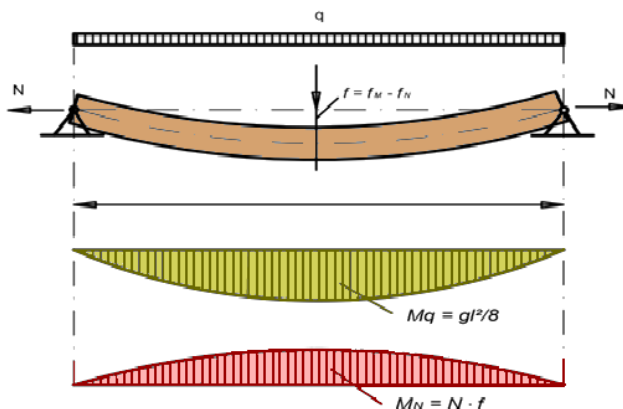


Рис. 2.2.6. Эпюры изгибающих моментов в растянуто-изгибаемом элементе от действия поперечной силы и продольного растягивающего усилия

Так как на деревянные элементы при растяжении сильно влияют пороки древесины, снижая их прочность, то растянуто-изгибаемые элементы рассчитывали в запас прочности без учета дополнительного момента от продольных сил при деформации стержня.

Согласно СП 64.13330.2017 расчет внецентренно растянутых и растянуто-изгибаемых элементов по нормальным напряжениям следует выполнять по формуле:

$$\frac{N}{F_{расч}} + \frac{M_d R_p}{W_{расч} R_u} \leq R_p$$

где M_d - изгибающий момент от действия поперечных нагрузок без учета дополнительного момента от продольной силы; $W_{расч}$ - расчетный момент сопротивления поперечного сечения; $F_{расч}$ - площадь расчетного сечения нетто.

При определении $W_{расч}$ ослабления, расположенные на участке элемента длиной 20 см, совмещаются в одно сечение. Не учитывается уменьшение прогиба от дополнительного момента также при проверке элемента по второму предельному состоянию.

2.2.5 Расчет деревянных элементов работающих на сжатие с – изгибом.

Сжато-изгибаемыми элементами называются такие, на которые действует изгибающий момент и центрально приложенное продольное сжимающее усилие (рис 2.2.7).

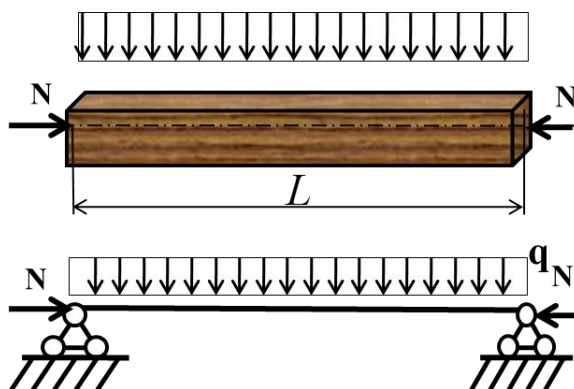


Рис. 2.2.7. Схема стержня работающего на сжатие с изгибом

Изгибающий момент может создаваться: а) внецентренно приложенной сжимающей силой и тогда элемент называют внецентренно сжатым или б) поперечной нагрузкой.

При расчете сжато-изгибаемых деревянных стержней применяют теорию краевых напряжений, предложенную проф. д-ром техн. наук К. С. Завриевым. В соответствии с этой теорией несущая способность стержня считается исчерпанной в тот момент, когда краевое напряжение сжатию делается равным расчетному сопротивлению.

Эта теория менее точная, чем теория устойчивости, однако она дает более простое решение и поэтому принята в действующих нормах проектирования деревянных конструкций СП 64.13330.2017. Так как жесткость стержня не является бесконечной, то он под влиянием изгибающего момента прогибается. При этом центрально приложенная сжимающая сила теперь уже будет иметь эксцентриситет, равный деформации стержня от момента, и таким образом создаст дополнительный момент (рис. 2.2.8).

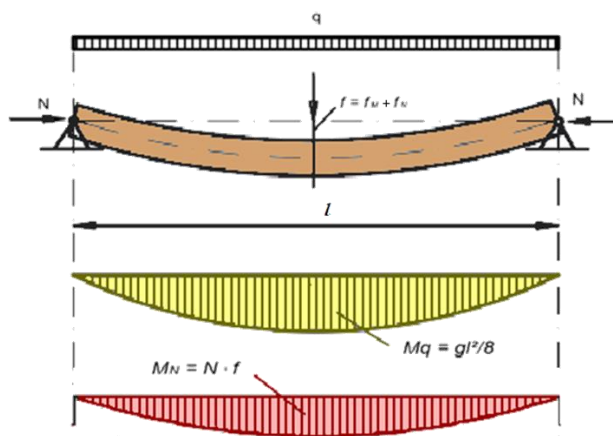


Рис. 2.2.8. Эпюры изгибающих моментов в сжато-изгибаемом элементе от действия поперечной силы и продольного сжимающего усилия

Появление дополнительного момента от нормальной силы увеличит деформацию стержня, что приведет к еще большему возрастанию дополнительного момента. Такое наращивание дополнительного момента и прогибов будет некоторое время продолжаться, но затем затухнет.

Расчет на прочность внецентренно-сжатых и сжато-изгибаемых элементов следует производить по формуле:

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

где M_D - изгибающий момент от действия поперечных и продольных нагрузок, определяемый из расчета по деформированной схеме.

Примечания: 1. Для шарнирно-опертых элементов при симметричных эпюрах изгибающих моментов синусоидального, параболического, полигонального и близких к ним очертаний, а также для консольных элементов M_D следует определять по формуле

$$M_D = \frac{M}{\xi}$$

где M - изгибающий момент в расчетном сечении без учета дополнительного момента от продольной силы; φ - коэффициент, определяемый для деревянных элементов по формуле $\varphi = 3000/\lambda^2$; ξ - коэффициент, изменяющийся от 1 до 0, учитывающий дополнительный момент от продольной силы вследствие прогиба элемента, определяемый по формуле:

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

В случаях когда в шарнирно-опертых элементах эпюры изгибающих моментов имеют треугольное или прямоугольное очертание, коэффициент ξ следует умножать на поправочный коэффициент k_H :

$$k_H = \alpha_H + \xi(1 - \alpha_H),$$

где α_H - коэффициент, который следует принимать равным 1,22 при эпюрах изгибающих моментов треугольного очертания (от сосредоточенной силы) и 0,81 при эпюрах прямоугольного очертания (от постоянного изгибающего момента).

При несимметричном загрузении шарнирно-опертых элементов величину изгибающего момента M_D следует определять по формуле:

$$M_D = \frac{M_c}{\xi_c} + \frac{M_k}{\xi_k}$$

где M_c и M_k - изгибающие моменты в расчетном сечении элемента от симметричной и кососимметричной составляющих нагрузки; ξ_c и ξ_k - коэффициенты, определяемые при величинах гибкостей, соответствующих симметричной и кососимметричной формам продольного изгиба.

Для элементов переменного по высоте сечения площадь $F_{бр}$ следует принимать для максимального по высоте сечения, а коэффициент φ следует умножать на коэффициент $k_{жN}$, принимаемый по таблице Е.1 приложения Е СП 64.13330.2017.

При отношении напряжений от изгиба к напряжениям от сжатия менее 0,1 сжато-изгибаемые элементы следует проверять также на устойчивость без учета изгибающего момента.

Кроме того в сжато-изгибаемом элементе необходимо выполнить проверку на прочность по скалыванию по формуле:

$$\frac{Q \cdot S_{бр}}{b \cdot I_{бр}} + \Delta \tau \leq R_{ск}^p$$

где Q - расчетная поперечная сила; $S_{бр}$ - статический момент брутто сдвигаемой части поперечного сечения элемента относительно нейтральной оси; $I_{бр}$ - момент инерции брутто поперечного сечения элемента относительно нейтральной оси; b - ширина сечения элемента; $\Delta \tau$ - дополнительные касательные напряжений в случае внецентренного приложения силы N , которые определяются по формуле:

$$\Delta \tau = \frac{0.75 N \cdot e}{b \cdot h^2}$$

где N - расчетная продольная сила; e - эксцентриситет передачи усилия N ; h - высота сечения элемента.

Сжато-изгибаемый элемент должен быть также проверен на устойчивость плоской формы деформирования по формуле:

$$\frac{N}{\varphi F_{бр} R_c^p} + \left(\frac{M_D}{\varphi_m W_{бр} R_{и}^p} \right)^n \leq 1$$

где $F_{бр}$ – площадь сечения с максимальными размерами на участке l_p ; $W_{бр}$ – максимальный момент сопротивления на участке l_p ; φ – коэффициент продольного изгиба (как для центрально-сжатых элементов); φ_m – коэффициент продольного изгиба (как для изгибаемых элементов); n – коэффициент зависящий от раскрепления из плоскости растянутой кромки; R_c^p и $R_{и}^p$ – расчетные сопротивления древесины сжатию и изгибу соответственно.

Изгибаемые элементы проверяют по второму предельному состоянию на жесткость по формуле:

$$f \leq f_u$$

где f – расчетный или фактический прогиб деревянного элемента, определяемый с учетом всех основных факторов, влияющих на работу конструкции (ползучесть, учет деформированной схемы, податливость узлов сопряжений); f_u – предельный прогиб элементов деревянных конструкций покрытий и перекрытий, установленный СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*».

2.2.6 Расчет деревянных элементов на смятие.

Смятие древесины – явление сжатия на поверхности элемента. Смятие древесины различают трех видов – вдоль волокон, поперек волокон и под углом к волокнам (рис. 2.2.9).

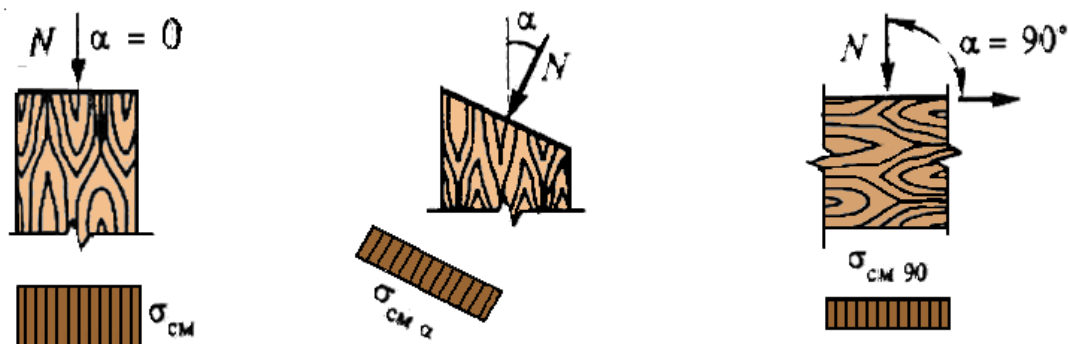


Рис. 2.2.9. Схемы видов смятия в зависимости от направления волокон и внешнего усилия

Расчет древесины на смятие, независимо от вида, производится по формуле:

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{N_{\text{см}}}{F_{\text{см}}} \leq R_{\text{см},\alpha}^p$$

где $\sigma_{\text{см}}$ - напряжения смятия, МПа; $N_{\text{см}}$ - сила, вызывающая смятие; $R_{\text{см},\alpha}$ - расчетное сопротивление древесины смятию с учетом вида смятия (вдоль, поперек или под углом к волокнам); $F_{\text{см}}$ - площадь смятия.

Различая три вида смятия поперек волокон: по всей поверхности (имеет место при смятии деревянных подкладок и прокладок, $R_{\text{см}90}=1,8$ МПа); на части длины по всей ширине (имеет место в опорных частях конструкций, $R_{\text{см}90}=3$ МПа); на части длины и части ширины (имеет место под шайбами, $R_{\text{см}90}=4$ МПа). Расчетные сопротивления даны для режима нагружения «В» (рис.2.2.10).

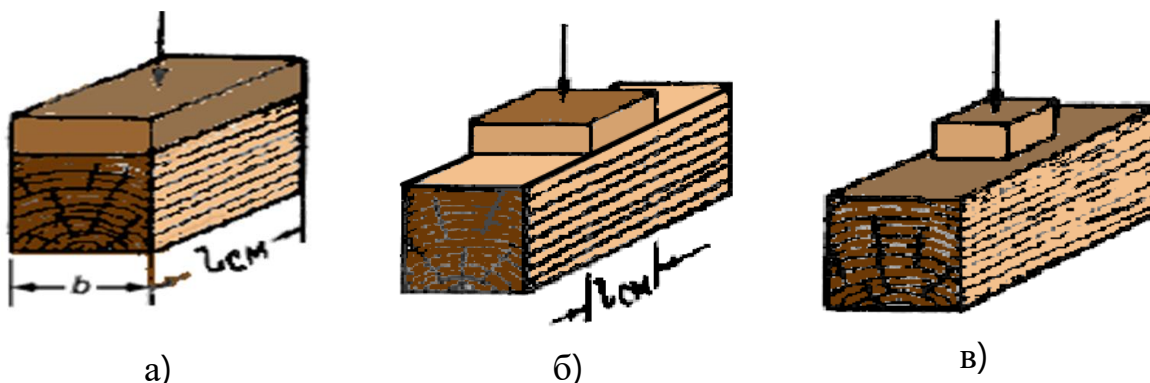


Рис. 2.2.10. Схемы видов смятия поперек волокон: а) по всей поверхности; б) на части длины по всей ширине; в) на части длины и части ширины

Работа древесины на смятие под углом к волокнам зависит от величины угла смятия - с увеличением угла смятия прочность древесины снижается, деформативность увеличивается. Расчетное сопротивление древесины смятию в диапазоне углов смятия от 0° до 90° определяют по следующей формуле:

$$R_{\text{см},\alpha}^A = \frac{R_{\text{см}}^A}{1 + \left[\frac{R_{\text{см}}^A}{R_{\text{см},90}^A} - 1 \right] \sin^3 \alpha}$$

где $R_{\text{сма}}$ - расчетное сопротивление древесины смятию под углом α ; $R_{\text{см}}$ - расчетное сопротивление древесины смятию вдоль волокон; $R_{\text{см90}}$ - расчетное сопротивление древесины смятию поперек волокон.

2.2.7 Расчет деревянных элементов на скалывание.

Расчет древесины на скалывание, независимо от схемы, производится по средним напряжениям по формуле:

$$\sigma_{\text{ск}} = \frac{T_{\text{ск}}}{F_{\text{ск}}} \leq R_{\text{ск}}^{\text{ср}}$$

где $\sigma_{\text{ск}}$ - напряжения смятия, МПа; $T_{\text{ск}}$ - сила, вызывающая скалывание, Н; $R_{\text{ск}\cdot\text{ср}}$ - расчетное сопротивление древесины скалыванию среднее по площадке, МПа; $F_{\text{ск}}$ - площадь скалывания, мм².

Расчетное сопротивление древесины скалыванию среднее по площадке:

$$R_{\text{ск}}^{\text{ср}} = \frac{R_{\text{ск}}^{\text{р}}}{1 + \beta \frac{L_{\text{ск}}}{e}}$$

где $R_{\text{ск}}$ - расчетное сопротивление древесины скалыванию вдоль волокон для максимального напряжения; $L_{\text{ск}}$ - длина площадки скалывания; e - плечо сил скалывания; $\beta=0.25$ при односторонней схеме скалывания; $\beta=0.125$ при промежуточной схеме скалывания. Чтобы уменьшить влияние напряжений растяжения поперек волокон, действующих по площадке скалывания вследствие внецентренного действия усилий $T_{\text{ск}}$, необходимо, чтобы $L_{\text{ск}}/e \geq 3$.

Различают две основные схемы скалывания: одностороннюю схему скалывания и промежуточную схемы скалывания (рис. 2.2.11). При односторонней схеме скалывания (рис. 2.2.11. а) скалывающие усилия расположены с одной стороны по отношению к площадке скалывания. При промежуточной схеме скалывания (рис. 2.2.11 б) площадка скалывания расположена между точками приложения скалывающих усилий. Эти схемы отличаются между собой с точки зрения работы

материала характером распределения напряжений по площадке скалывания. При промежуточной схеме скалывания (рис.2.2.11 б) распределение касательных напряжений по площадке скалывания носит более равномерный характер, чем при схеме односторонней (рис.2.2.11 а). В обоих случаях имеет место существенная разница между максимальным и средним напряжениями скалывания по площадке (рис. 2.2.11).

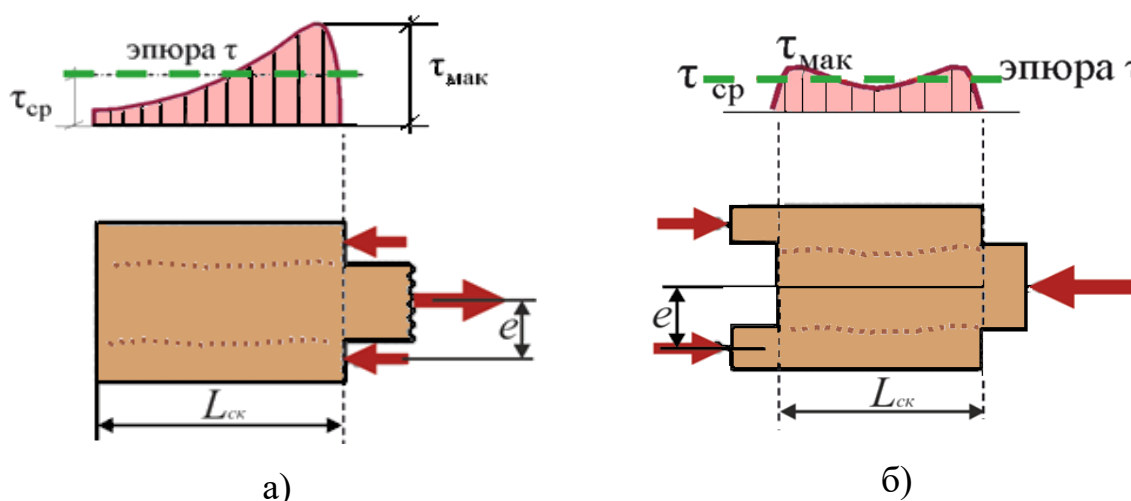


Рис. 2.2.11. К расчету деревянных элементов на скалывание: а) - односторонняя схема скалывания $\beta=0.25$; б) - промежуточная схема скалывания $\beta=0.125$

В сопряжениях деревянных элементов имеет место три вида скалывания - вдоль волокон, поперек волокон и под углом к волокнам.

Скалывание вдоль волокон относится к хрупкому виду работы древесины. Предел прочности на скалывание вдоль волокон чистой древесины составляет 7 МПа, пиломатериала 5-6 МПа. Расчетное сопротивление скалыванию для максимального напряжении в узловых соединениях для режима нагружения «В» $R_{ск \max} = 2.1-2,3$ МПа. Работа древесины на скалывание под углом к волокнам зависит от величины угла скалывания - с увеличением угла скалывания прочность древесины снижается. Расчетное сопротивление древесины скалыванию в диапазоне углов скалывания от 0 до 90° определяется по следующей формуле:

$$R_{ск,\alpha}^A = \frac{R_{ск}^A}{1 + \left[\frac{R_{ск}^A}{R_{ск,90}^A} - 1 \right] \sin^3 \alpha}$$

где $R_{\text{ск.}\alpha}$ - расчетное сопротивление древесины скалыванию под углом α ;
 $R_{\text{ск.}}$ - расчетное сопротивление древесины скалыванию вдоль волокон; $R_{\text{ск.90}}$
- расчетное сопротивление древесины скалыванию поперек волокон.

От правильного конструирования соединений, работающих на скалывание, а также от правильного подсчета предела прочности по скалыванию зависит в основном надежность конструкций.