МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

КУЗБАССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра строительных конструкций

РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Методические указания и задания к практическим занятиям по курсу «Конструкции из дерева и пластмасс» для всех форм обучения по специальности 290300

Составитель В.Н. Ардеев

Утверждены на заседании кафедры

Протокол № 3 от 20.12.99
Рекомендованы к печати
учебно-методической комиссией
по специальности 290300
Протокол № 7 от 10.01.00

Электронная копия
хранится в библиотеке
главного корпуса КузГТУ

Кемерово 2000

РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Элементами деревянных конструкций служат доски, брусья, бруски, бревна цельных сечений с размерами, указанными в сортаментах пиленых и круглых лесоматериалов, сортаменты которых приведены в приложении 1. Они могут являться самостоятельными конструкциями, например балками или стойками, а также быть стержнями в более сложных конструкциях. Деревянные элементы рассчитывают по методу **предельных состояний** с учетом всех особенностей работы древесины и условий работы конструкций.

Предельным состоянием называется такое состояние конструкции, при котором она не может эксплуатироваться в результате действия внешних сил и внутренних напряжений.

В деревянных конструкциях могут возникать две группы предельных состояний.

Первая группа наиболее опасна, она определяет непригодность конструкции к эксплуатации в результате потери несущей способности.

Действующие максимальные нормальные или касательные напряжения в конструкции не должны превышать расчетное сопротивление материала.

Должно выполняться условие

$$\sigma, \tau \leq R. \qquad (1.1)$$

Вторая группа определяет непригодность конструкции к нормальной эксплуатации, когда ее деформации (относительный прогиб) от нагрузки превышают установленные (предельные) значения для данного типа конструкции.

Для нормальной эксплуатации должно выполняться условие

$$f/l \leq [f/l]. \qquad (1.2)$$

Расчет по первой группе предельных состояний проводится на действие расчетных нагрузок, а по второй - на действие нормативных нагрузок. Нагрузки**,** действующие на конструкции, определяются строительными нормами и правилами - СНиП 2.01.07-85* «Нагрузки и воздействия». При расчете конструкций из дерева и пластмасс учитываются главным образом постоянная нагрузка от собственного веса

конструкций и других элементов зданий g и кратковременные нагрузки от веса снега S, давления и отсоса ветра W. Учитываются также нагрузки от веса людей и оборудования. Каждая нагрузка имеет нормативное и расчетное значение.

Нормативные нагрузки удовлетворяют целям нормальной эксплуатации. Временные нагрузки определяются в результате обработки данных многолетних наблюдений и измерений. Постоянные нагрузки вычисляются по значениям собственного веса и объема конструкций, прочих элементов здания и оборудования. Нормативные нагрузки учитываются при расчете конструкций по второй группе предельных состояний - по прогибам.

Расчетные нагрузки определяются на основании нормативных с учетом их возможной переменчивости. Для этого значения нормативных нагрузок умножают на коэффициент надежности по нагрузке γ_f, значения которого различны для разных нагрузок но все они обычно, больше единицы. Значения распределенных нагрузок даются в нормах в килопаскалях (кПа), что соответствует килоньютонам на квадратный метр (кН/м^2). Расчетные нагрузки применяют при расчете конструкций по первой группе предельных состояний, по прочности и устойчивости.

Нормативные сопротивления древесины $R^н$ (МПа) — это основные характеристики прочности чистой от пороков стандартных образцов древесины, определяемые на основании кратковременных лабораторных испытаний.

Значения нормативных сопротивлений практически используются при лабораторном контроле прочности древесины в процессе изготовления деревянных конструкций и при определении несущей способности эксплуатируемых несущих конструкций при их обследованиях.

Расчетные сопротивления древесины R (МПа) — это основные характеристики прочности древесины элементов реальных конструкций. Эта древесина имеет естественные допускаемые пороки и работает под нагрузками в течение многих лет. Расчетные сопротивления определяют на основании нормативных сопротивлений с учетом коэффициента надежности по материалу γ_m и коэффициента длительности нагружения $m_{дл}$ по формуле

$$R = R^н m_{дл} / \gamma_m. \qquad (1.3)$$

Коэффициент γ_m значительно больше единицы. Он учитывает снижение прочности реальной древесины в результате неоднородности строения и наличия различных пороков, которых не бывает в лабора-

торных образцах. Коэффициент длительности нагружения $m_{дл}$ учитывает, что при неограниченном времени работы конструкции длительное сопротивление древесины конструкции примерно вдвое ниже кратковременного.

Расчетные сопротивления древесины сосны и ели принимаются по табл. 3 СНиП II-25-80 в зависимости от сорта древесины, формы и размеров поперечного сечения. Расчетное сопротивление следует умножать на коэффициент породы $m_п$, учитывающий различную прочность древесины разных пород, отличающихся от прочности древесины сосны и ели, и коэффициенты условий работы, принимаемые согласно п. 3.2. СНиП II-25-80. Коэффициент нагрузки $m_н$ учитывает кратковременность действия ветровой и монтажных нагрузок. Коэффициент высоты сечений при изгибе балок с высотой сечения более 50 см $m_б$ снижается от 1 с увеличением высоты. Коэффициент толщины слоев клеедеревянных элементов $m_{сл}$ учитывает повышение их прочности при сжатии и изгибе по мере уменьшения толщины склеиваемых досок, в результате чего увеличивается однородность строения клееной древесины. Коэффициент гнутья $m_{гн}$ учитывает дополнительные напряжения изгиба, возникающие при выгибе досок в процессе изготовления гнутых клеедеревянных элементов. Он зависит от отношения радиуса выгиба к толщине досок r/δ. Коэффициент температуры m_T учитывает снижение прочности древесины конструкций, работающих при температуре от +35 до +50 °С. Коэффициент влажности $m_в$ учитывает снижение прочности древесины конструкций, работающих во влажной среде. Коэффициент концентрации напряжения $m_о$ = 0,8 учитывает местное снижение прочности древесины в зонах врезками и отверстиями при растяжении. Коэффициент длительности нагрузок $m_{дл}$ = 0,8 учитывает снижение прочности древесины в результате того, что длительные нагрузки составляют иногда более 80 % от общей суммы нагрузок, действующих на конструкцию.

Расчетное сопротивление сосны или ели, определяют путем умножения табличного значения R^T на соответствующие коэффициенты условий работы и деления на коэффициент надежности по ответственности γ_n, значение которого принимается по СНиП 2.01.07—85*

$$R = R^T m / \gamma_n. \qquad (1.4)$$

Модуль упругости древесины, с учетом деформаций при длительном нагружении, при расчете по прогибам принимается равным $E=10^4$ МПа для всех пород древесины.

Усилия в элементах конструкций, деформации конструкции или отдельных ее элементов определяют по общим правилам строительной механики.

Подбор сечений при проектировании новых деревянных конструкций заключается в определении таких размеров элемента, при которых его прочность и устойчивость будут достаточны для восприятия действующих усилий, а прогибы не будут превышать предельных значений, установленных нормами проектирования.

Деревянные элементы рассчитывают на растяжение, сжатие, изгиб, растяжение или сжатие с изгибом, смятие и скалывание в соответствии с нормами СНиП 11-25—80 «Нормы проектирования. Деревянные конструкции». В соответствии с этими же нормами производится расчет деревянных изгибаемых элементов по прогибам.

2. РАСЧЕТ ЦЕНТРАЛЬНО-СЖАТЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПОСТОЯННОГО ЦЕЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ

2.1. Общие сведения о работе

На сжатие работают стойки, подкосы, верхние пояса и отдельные стержни ферм и других сквозных конструкций. В сечениях сжатого элемента от сжимающего усилия N, действующего вдоль его оси, возникают почти одинаковые по величине нормальные сжимающие напряжения. Длина сжатых элементов конструкций, как правило, существенно превышает размеры поперечного сечения, и элементы разрушаются в результате потери устойчивости, которая происходит раньше, чем напряжения сжатия достигнут предела прочности. При потере устойчивости сжатый элемент теряет несущую способность и выгибается в сторону. Относительно короткие, редко применяемые элементы, разрушаются только от сжатия без потери устойчивости.

Прочность стержня при сжатии и потеря устойчивости зависят от площади A и формы его сечения, длины и типа закрепления его концов, что учитывается коэффициентом устойчивости φ, называемым иногда **коэффициентом продольного изгиба**.

Сжатые деревянные элементы рассчитывают по прочности и устойчивости при действии продольных сил сжатия N от расчетных нагрузок.

2.2. Расчетные формулы

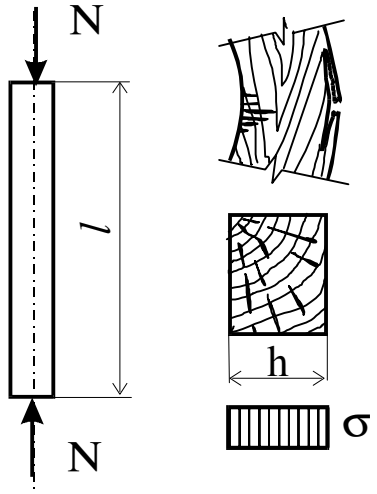

Рис. 2.1. Сжатый элемент

Расчет центрально-сжатых цельных элементов постоянного сечения следует производить по формулам

а) на прочность

$$N/A_{нт} \le R_c; \qquad (2.1)$$

б) на устойчивость

$$N/(\varphi\, A_{расч}) \le R_c, \qquad (2.2)$$

где R_c - расчетное сопротивление древесины сжатию вдоль волокон; φ - коэффициент продольного изгиба; $A_{нт}$ - площадь нетто поперечного сечения элемента; $A_{расч}$ - расчетная площадь поперечного сечения элемента, принимаемая равной:

$A_{расч}=A_{бр}$ - при отсутствии ослабления или если ослабления в опасных сечениях не выходят на кромки и их площадь не превышает 25 % $A_{бр}$, где $A_{бр}$, - площадь сечения брутто;

$A_{расч} = (4/3)\ A_{бр}$ - если ослабления не выходят на кромки и их площадь превышает 25 % $A_{бр}$;

$A_{расч} = A_{нт}$ - при симметричных ослаблениях, выходящих на кромки.

Опасными зонами для центрально-сжатых элементов считаются следующие участки:

для элементов с шарнирным закреплением концов - средний участок, равный половине длины элемента;

для элементов с одним шарнирно-закрепленным и другим защемленным концом - вся длина элемента;

для элементов с одним защемленным и другим свободным нагруженным концом - участок, привыкающий к защемлению, равный половине длины элемента.

Коэффициент продольного изгиба φ следует определять по формулам: при гибкости элемента $\lambda \le 70$

$$\varphi = 1 - a(\lambda/100)^2; \qquad (2.3)$$

при гибкости элемента $\lambda > 70$

$$\varphi = A / \lambda^2, \qquad (2.4)$$

где коэффициент a = 0,8 для древесины и a = 1 для фанеры, коэффициент A = 3000 для древесины и A =2500 для фанеры.

Гибкость элементов цельного сечения определяют по формуле $\lambda = l_0 / i$, где l_0 - расчетная длина элемента; i - радиус инерции сечения элемента с максимальными размерами брутто соответственно относительно осей X или Y.

Расчетную длину элементов l_0 следует определять умножением его свободной длины l на коэффициент μ_o: $l_0 = l\,\mu_o$.

Расчетная длина учитывает влияние типа закрепления концов на устойчивость сжатого элемента. При обоих шарнирно закрепленных концах она равна геометрической длине $l_0 = l$. При нижнем заделанном, а верхнем свободном конце - l_0 = 2,2 l. При нижнем заделанном, а верхнем шарнирном конце - l_0 = 0,8 l, при обоих заделанных концах - l_0 = 0,65 l.

Радиус инерции сечения i зависит от площади A и момента инерции сечения I, т. е. $i = \sqrt{I / A}$. Радиусы инерции прямоугольных сечений с размерами b и h (где h - меньший размер сечения) и круглых сечений диаметром d можно принимать равными 0,289h и $0,25d$.

Гибкость сжатых элементов ограничивается предельной гибкостью $\lambda_{пр}$ с тем, чтобы они не получились недостаточно надежными $\lambda \le \lambda_{пр}$. Основные элементы конструкций - отдельные стойки, пояса и опорные раскосы ферм и др. - должны иметь гибкость не более 120, прочие сжатые элементы основных несущих конструкций - не более 150 и сжатые элементы связей - не более 200.

2.3. Указания по подбору сечения

Подбор сечения центрально-сжатых элементов производят методом попыток, последовательных приближений и считают законченным, если дальнейшее уменьшение размеров поперечного сечения приводит к невыполнению условий прочности или устойчивости.

Размеры поперечного сечения прямоугольной формы следует принимать, руководствуясь сортаментом пиломатериалов по ГОСТ 24454-80Е (приложение 1). При круглых сечениях необходимо иметь в

виду, что диаметр бревен в их тонком конце d должен приниматься кратным 0,02 м, а диаметр в расчетном сечении - с учетом сбега. Величина сбега равна 0,008 м на I м длины, а для лиственницы – 0,0I м на I м длины.

Центральносжатые элементы из брусьев следует проектировать равноустойчивыми, чтобы гибкости относительно осей X и Y были равны, а это значит, что соотношение сторон поперечного сечения должно быть равным или близким соотношению длин. При выполнении этой рекомендации площадь поперечного сечения элемента будет наименьшей.

Зная расчетные длины l_{ox}, l_{oy} и предельную гибкость $\lambda_{пр}$, можно определить возможные наименьшие размеры поперечного сечения:

круглого - $d \geq l_0 / (0{,}25\lambda_{пр})$; (2.5)

прямоугольного - $h \geq l_{0x} / (0{,}289\lambda_{пр})$, $b \geq l_{0y} / (0{,}289\lambda_{пр})$ (2.6)

и таким образом уменьшить количество попыток при подборе сечения.

Можно предварительно приближенно задаться величинами λ и φ. Например, для основных стоек следует принимать гибкость $\lambda = 80$ и $\varphi = 0{,}5$, для неосновных элементов гибкость $\lambda = 120$ и $\varphi = 0{,}2$, для элементов связей гибкость $\lambda = 180$ и $\varphi = 0{,}1$. Требуемую площадь сечения $A_{тр}$ можно определить по формуле $A_{тр} = N/R_c\varphi$ и затем подобрать размеры сечения. Гибкость отдельных элементов прямоугольного сечения следует определять в направлении обеих осей сечения и принимать для расчета наибольшую.

Относительно короткие элементы, длина которых не превышает семикратной высоты сечения, работают на сжатие без потери устойчивости. Расчет таких элементов проводят только на сжатие.

2.4. Задание

Подобрать сечение центрально-сжатого элемента и проверить его на прочность и устойчивость. Исходные данные взять по варианту задания из табл. 2.1, 2.2 и рис. 2.2, 2.3.

2.5. Пример расчета

Исходные данные. Расчетная сжимающая сила $N = 65$ *кН* $= 0{,}065$ *МН*; свободная длина $l = 3{,}3$ м. Древесина сосны 2 сорта.

Условия эксплуатации конструкции: класс ответственности здания II; температурно-влажностный режим здания А3; установившаяся температура воздуха 40°С; отношение постоянных и длительных нагрузок к полной равно 0,8.

Решение

1. Определяем расчетные длины:

относительно оси X - $l_{0x} = l_0\ \mu_{ox}$.= *3,3·2,2 = 7,26 м*, как для стержня с одним защемленным и другим свободным нагруженным концом;

относительно оси Y - $l_{0y} = l_0\ \mu_{oy}$= *3,3·1,0 = 3,3 м,* как для стержня с шарнирно-закрепленными концами.

2. Определяем наименьшие возможные размеры поперечного сечения по предельному значению гибкости: $h \geq l_{0x}/(0{,}289\lambda_{пр})$, $b \geq l_{0y}/(0{,}289\lambda_{пр})$,

$h \geq l_{0x}/(0{,}289\lambda_{пр})$=*7,26/(0,289·120)=0,209 м;*

$b \geq l_{0y}/(0{,}289\lambda_{пр})$=*3,3/(0,289·120)=0,095 м.*

Принимаем ширину сечения *b* в соответствии с сортаментом 0,10 м.

Из условия равноустойчивости $h=b(l_{0x}/l_{0y})$, высоту сечения следует принять *h =10(7,26/3,3) = 0,22 м.*

Принимаем ближайший больший по сортаменту размер 0,225 м.

Определяем гибкости: $\lambda_x=l_{0x}/(0{,}289h)=7{,}26/(0{,}289\cdot 22{,}5)=111{,}6$; $\lambda_Y=l_{0Y}/(0{,}289b)=3{,}3/(0{,}289\cdot 10)=114{,}2$.

3. По большей гибкости определяем коэффициент продольного изгиба. Так как $\lambda_{max} = 114{,}2 > 70$, то φ определяем по формуле (2.4)

$\varphi = 3000/(\lambda_y)^2 = 3000/114{,}2^2 = 0{,}23$.

4. Для сосны 2-го сорта при ширине сечения $b = 0{,}10$ м табличное значение расчетного сопротивления сжатию равно: $R_c^T = 13$ *МПа.* Определяем значение расчетного сопротивления с учетом коэффициентов

условий работы (п. 3.2 [1]) и коэффициента надежности по ответственности (прил. 2) по формуле (1.4):

$R_c = R_c^T m_T m_в m_Д m_n / \gamma_n = 13 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 1/0,95 = 11,49$ *МПа*.

Расчетная площадь поперечного сечения $A_{рас} = A_{бр} = 0,10 \cdot 0,225 = 0,025$ *м*^{2}, так как ослабление расположено вне зоны опасных сечений.

5. Проверяем элемент на устойчивость по формуле (2.2):

$\sigma_c = N/(\varphi A_{расч}) = 0,065/(0,23 \cdot 0,0225) = 12,56$ *МПа* $> R_c = 11,49$ *МПа*.

Условие устойчивости не выполняется.

Увеличиваем высоту сечения до 0,25 м. Ширина осталась без изменения и, соответственно, не изменилась гибкость. Тогда при $A_{расч} = 0,10 \cdot 0,25 = 0,025$ *м*^{2}

$\sigma_c = N/(\varphi A_{расч}) = 0,065/(0,23 \cdot 0,025) = 11,3$ *МПа* $< R_c = 11,49$ *МПа*.

6. Проверяем ослабленное сечение с $A_{НТ} = 0,25(0,10 - 2 \cdot 0,02) = 0,015$ *м*^{2} на прочность по формуле (2.2):

$\sigma_c = N/(A_{НТ}) = 0,065/0,015 = 4,33$ *МПа* $< R_c = 11,49$ *МПа*.

Так как условия прочности и устойчивости выполнены, окончательно принимаем сечение элемента 0,10х0,25 м.

Исходные данные к заданию по подбору сечения центрально-сжатого элемента

Таблица 2.1

Номер задания	Расчетная сила сжатия, кН	Длина стержня, м	Номер схемы закрепления концов стержня относительно осей		Вид материала	Ослабление сечения			Предельная гибкость
			X - X	Y – Y		Номер схемы	Размер, м	Место*	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	85,0	6,0	1	2	Брус	2	0,03	Б	150
2	135,0	3,2	1	1	Бревно	1	0,02	А	120
3	52,5	3,4	3	1	Брус	1	0,018	А	150
4	40,0	4,8	4	1	Брус	3	0,03	Б	120
5	220,0	5,0	1	2	Бревно	2	0,04	А	120
6	92,0	3,7	1	1	Брус	1	0,018	А	120
7	73,0	3,8	3	1	Брус	-	-	-	150
8	331,0	3,5	1	1	Бревно	-	-	-	150
9	489,0	4,5	4	1	Брус	2	0,05	Б	120
10	147,5	5,5	1	2	Брус	1	0,02	А	120
11	710,0	6,5	1	2	Бревно	-	-	-	120
12	140,0	3,6	3	1	Брус	1	0,016	А	150
13	12,5	5,5	4	2	Брус	2	0,03	А	120
14	430,0	6,0	2	1	Бревно	1	0,03	Б	150
15	141,0	4,2	1	1	Брус	-	-	-	120
16	50,0	3,2	3	1	Брус	1	0,02	А	150
17	312,0	4,6	1	1	Бревно	2	0,05	Б	150
18	224,0	3,7	4	1	Брус	3	0,02	Б	120
19	150,0	6,2	1	2	Брус	1	0,018	А	120
20	368,0	5,8	1	2	Бревно	-	-	-	120
21	37,0	3,5	3	2	Брус	3	0,02	Б	150
22	240,0	4,0	1	1	Бревно	-	-	-	150
23	88,0	5,4	1	2	Бревно	2	0,03	А	120
24	222,0	6,1	1	1	Брус	3	0,04	Б	120
25	238,0	4,0	4	2	Брус	2	0,05	А	150

* А – ослабление в пределах опасной зоны, Б – вне опасной зоны.

Таблица 2.2

Номер задания	Класс ответственности здания	Температурно-влажностные условия эксплуатации	Установившаяся температура воздуха, (^{0}C)	Отношение постоянных и длительных временных нагрузок к полной	Порода	Сорт
1	2	3	4	5	6	7
1	II	Б2	<35	<0,8	Лиственница	1
2	III	А1	45	>0,8	Сосна	2
3	II	А3	<35	<0,8	Пихта	1
4	I	Б1	<35	<0,8	Береза	2
5	III	Б2	<35	>0,8	Осина	1
6	III	А3	40	<0,8	Кедр	2
7	II	А3	<35	>0,8	Ель	1
8	I	В3	<35	>0,8	Лиственница	2
9	II	Б3	<35	<0,8	Сосна	1
10	II	А3	<35	>0,8	Пихта	2
11	III	А2	40	<0,8	Береза	1
12	III	В2	<35	<0,8	Осина	2
13	II	В1	<35	>0,8	Кедр	1
14	II	Г1	<35	>0,8	Ель	2
15	I	А2	45	<0,8	Лиственница	2
16	I	Б3	<35	<0,8	Сосна	2
17	II	В1	<35	>0,8	Пихта	1
18	III	А1	<35	>0,8	Береза	1
19	II	В2	40	>0,8	Осина	1
20	I	Б3	45	<0,8	Кедр	2
21	II	А2	<35	<0,8	Ель	2
22	III	В2	<35	<0,8	Сосна	2
23	II	Г2	<35	>0,8	Пихта	1
24	I	Б3	50	<0,8	Береза	2
25	II	А1	40	>0,8	Осина	1

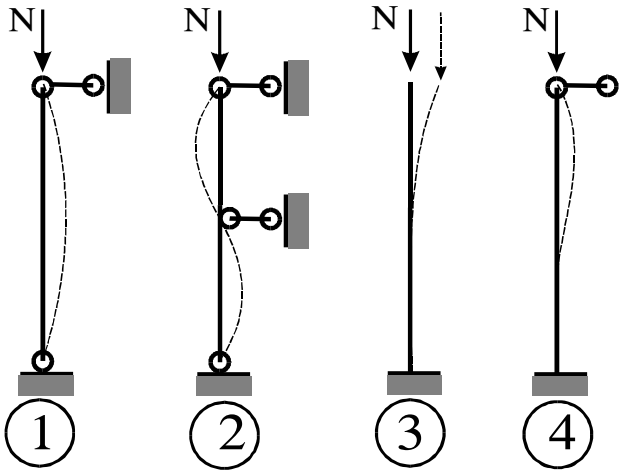

Рис. 2.2. Схемы закрепления концов стержней

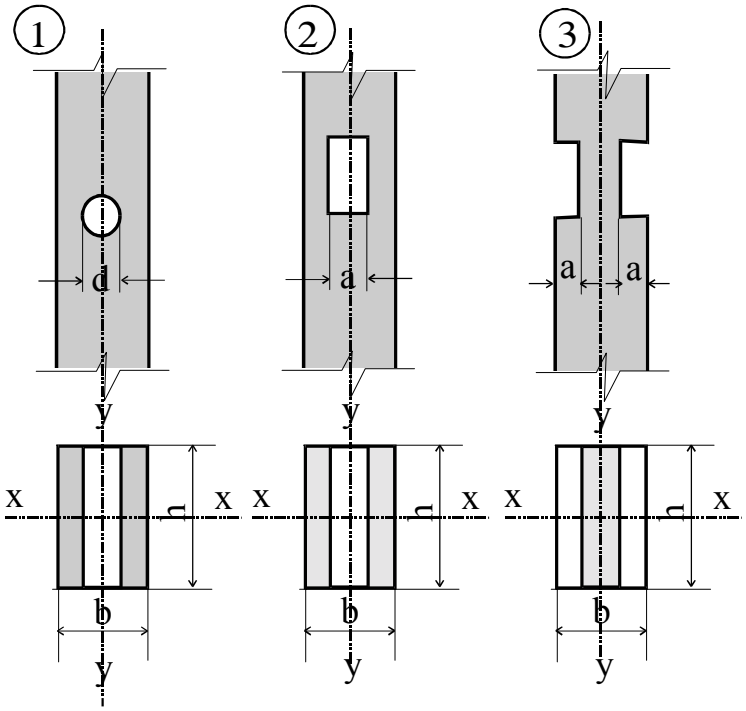

Рис. 2.3. Схемы ослабления сечений

3. РАСЧЕТ НА ПОПЕРЕЧНЫЙ ИЗГИБ

3.1. Общие сведения

Изгибаемые элементы - балки, прогоны, доски настилов и обшивок - наиболее распространенные элементы деревянных конструкций. В изгибаемом элементе от нагрузок, действующих поперек его продольной оси, возникают изгибающие моменты M и поперечные силы Q, определяемые методами строительной механики.

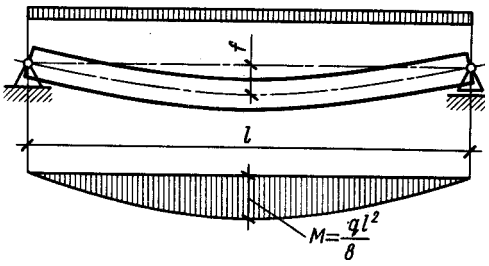

Рис. 3.1. Схема изгибаемого элемента

От действия изгибающего момента в сечениях элемента возникают напряжения изгиба, которые состоят из сжатия в верхней половине сечения и растяжения в нижней. В результате элемент изгибается.

Изгибаемые элементы работают еще более надежно, чем сжатые, и предупреждают об опасности разрушения заранее большими прогибами.

Изгибаемые элементы, как и сжатые, рекомендуется изготовлять из древесины 2-го сорта. В малоответственных элементах можно применять древесину 3-го сорта.

Изгибаемые элементы рассчитываются по первой и второй группе предельных состояний.

3.2. Расчетные формулы

3.1.1. Расчет по первой группе предельных состояний

1. Расчет изгибаемых элементов, обеспеченных от потери устойчивости плоской формы деформирования, на прочность по нормальным напряжениям следует производить по формуле

$$M/W_{расч} \leq R_и, \qquad (3.1)$$

где M - расчетный изгибающий момент; $R_и$ - расчетное сопротивление изгибу; $W_{расч}$ - расчетный момент сопротивления поперечного сечения элемента.

Для цельных элементов $W_{расч}= W_{нт}$. При наличии ослаблений в пределах длины равной 0,20 м в разных сечениях, при определении $W_{нт}$ все ослабления на этой длине суммируются.

2. Расчет изгибаемых элементов на прочность по скалыванию следует выполнять по формуле

$$Q \cdot S_{бр}/(I_{бр} b_{расч}) \leq R_{ск}, \qquad (3.2)$$

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; $b_{расч}$ - расчетная ширина сечения элемента; $R_{ск}$ - расчетное сопротивление скалыванию при изгибе.

При высоте сечения $h = <(R_{ск}/ R_и)/l$ расчет на скалывание можно не проводить.

3. Расчет на устойчивость плоской формы деформирования изгибаемых элементов прямоугольного сечения следует производить по формуле

$$M/(\varphi_м W_{бр}) \leq R_и., \qquad (3.3)$$

где M - максимальный изгибающий момент на рассматриваемом участке $l_р$; $W_{бр}$ - максимальный момент сопротивления брутто на рассматриваемом участке $l_р$.

Коэффициент $\varphi_м$ изгибаемых элементов прямоугольного поперечного сечения, шарнирно закрепленных от смещения из плоскости изгиба и закрепленных от поворота вокруг продольной оси в опорных сечениях, следует определять по формуле

$$\varphi_м=140(b^2/ l_р h)k_ф, \qquad (3.4)$$

где $l_р$ - расстояние между опорными сечениями элемента, а при закреплении сжатой кромки элемента в промежуточных точках от смещения из плоскости изгиба - расстояние между этими точками; b - ширина поперечного сечения; h - максимальная высота поперечного сечения на участке $l_р$; $k_ф$ - коэффициент, зависящий от формы эпюры изгибающих моментов на участке $l_р$, определяемый по табл. 3 прил. 4 [1].

Расчет на устойчивость плоской формы изгиба элементов прямоугольного сечения можно не проводить, если выполняется условие

$$l_р \leq 140(b^2/h). \qquad (3.5)$$

4. Прогиб изгибаемых элементов следует определять по моменту инерции поперечного сечения брутто.

Наибольший прогиб шарнирно-опертых и консольных изгибаемых элементов постоянного и переменного сечений следует определять по формуле

$$f = (f_o /k)[1+c(h/l)^2], \qquad (3.6)$$

где f_o- прогиб балки постоянного сечения высотой h без учета деформаций сдвига; h - наибольшая высота сечения; l - пролет балки; k - коэффициент, учитывающий влияние переменности высоты сечения, 1 для балок постоянного сечения $k = 1$; c - коэффициент, учитывающий влияние деформаций сдвига от поперечной силы.

Значения коэффициентов k и с для основных расчетных схем балок приведены в табл. 3 прил. 4 [1].

Прогибы элементов зданий и сооружений не должны превышать величин, приведенных в табл. 16 [1].

При $h<(1/20)l$ влияние деформаций сдвига можно не учитывать, принимая $f=f_o$.

3.3. Рекомендации по подбору сечения

1. Подбор сечения изгибаемых элементов производят либо методом попыток, либо определением высоты сечений через расчетный изгибающий момент и расчетное сопротивление древесины изгибу, задавшись его шириной.

В первом случае, ориентируясь на рекомендуемые значения высоты сечения и на величину нагрузки, задаются размерами сечения, которое проверяют по формуле (3.1): $M/W_{рас} \leq R_и$. Несоблюдение условия требует увеличения сечения, предпочтительно высоты. Большой запас несущей способности (более 20%) требует уменьшения размеров сечения. При назначении размеров сечения надлежит руководствоваться сортаментом пиломатериалов по ГОСТ 24454-80 (приложение I). Подбор сечения следует считать законченным, если различие между нормальным напряжением и расчетным сопротивлением не превышает 20% в сторону недонапряжения.

Во втором случае требуемую высоту сечения балки определяют, задавшись предварительно шириной сечения, по формуле (для прямоугольного сечения)

$$h_{тр} = \sqrt{6M_{расч} / bR_b}\,, \qquad (3.7)$$

где $M_{расч}$ - изгибающий момент от расчетной нагрузки.

2. После выбора по сортаменту сечения определяют нормальные напряжения и оценивают их величину в сопоставлении с R_u. Затем, если требуется, делают проверку на скалывание и устойчивость плоской формы деформирования и при несоблюдении этих условий увеличивают ширину сечения.

3. Проверку прогиба балок производят при действии нормативных нагрузок по формуле (1.2). Предельные значения прогибов следует делить на коэффициент надежности по ответственности γ_n.

4. При подборе сечений целесообразно использовать рекомендации, изложенные в книге [3] и приведенные ниже.

Наименьшую рекомендуемую высоту балки цельного сечения при полном использовании ее расчетной несущей способности (когда $\sigma=R_u/\gamma_n$) можно получить, приняв прогиб балки равным предельному значению. Например, для балки с равномерно распределенной нагрузкой при полном использовании расчетной несущей способности минимальная высота, обеспечивающая ей необходимую жесткость, равна

$$h=\kappa R_u l / (\gamma_{fcp} E[f/l]), \qquad (3.8)$$

при этом ширина сечения $b=(6M_{расч}/h^2 R_u)\gamma_n$,

где l - расчетный пролет балки; $\kappa=5/24$ - числовой коэффициент, зависящий от схемы нагрузки; γ_n - коэффициент надежности по ответственности здания; M - расчетный изгибающего момента от действия нормативных нагрузок; E - модуль упругости древесины; γ_{fcp} - отношение расчетной нагрузки к нормативной.

При действии на балку сосредоточенных нагрузок в этих формулах будет изменяться лишь числовой коэффициент. Так, для балки на двух опорах, нагруженной сосредоточенной нагрузкой по середине пролета, он будет равен 1/6, двумя сосредоточенными грузами в третях пролета - 23/108. Для балок-консолей, нагруженных равномерно распределенной нагрузкой, этот коэффициент равен 1/2, а для консолей, нагруженных сосредоточенным грузом на конце, - 2/3.

Минимальная рекомендуемая высота балки увеличивается с уменьшением предельного прогиба, а также с увеличением прочности материала балки.

3.4. Задание

Подобрать прямоугольное сечение балки и проверить его на прочность по скалыванию, устойчивость плоской формы деформирования и жесткость. Исходные данные взять из табл. 3.1, 2.1.

3.5. Пример расчета

Исходные данные. Однопролетная шарнирно опертая балка междуэтажного перекрытия из древесины пихты 1-го сорта. Балка имеет пролет $l = 6$ *м* и загружена двумя сосредоточенными силами в третях пролета. Величина нормативной и расчетной нагрузки: $P^н = 3,7$ *кН;* $P = 6,7$ *кН.* Условия эксплуатации конструкции: класс ответственности здания III; температурно-влажностный режим здания А2; установившаяся температура воздуха 35°С; отношение постоянных и длительных нагрузок к полной <0,8.

Решение

1. Подберем сечения по прочности.

Расчетное сопротивление изгибу из табл. 3 [1] - $R_и^T = 15$ *МПа.* Расчетное сопротивление скалыванию $R_{ск}^T = 1,8$ *МПа.* Определяем значение расчетного сопротивления с учетом коэффициентов условий работы и коэффициента надежности по ответственности.

$R_и = R_и^T m_T m_в m_Д m_n/\gamma_n = 13\cdot1\cdot1\cdot1\cdot0,8/0,9 = 13,33$ *МПа*.

$R_{ск} = R_{ск}^T m_T m_в m_Д m_n/\gamma_n = 1,8\cdot1\cdot1\cdot1\cdot0,8/0,9 = 1,6$ *МПа*.

Изгибающий момент от расчетной нагрузки $M = Pl/3 = 6,7\cdot6/3 = 13,4$ *кН·м* $= 0,0134$ *МН·м.*

Задаемся шириной сечения $b = 0,125$ *м*. Требуемая высота сечения по формуле (3.7)

$$h_{тр} = \sqrt{6M_{расч}/bR_b} = \sqrt{6\cdot0,0134/0,125\cdot13,33} = 0,22 \text{ м.}$$

Принимаем по сортаменту ближайшее большее сечение с размерами b x $h = 0,125$ x $0,225$ *м.* Момент сопротивления $W = b\,h^2/6 = 0,125\cdot0,225^2/6 = 1055\cdot10^{-6}$ *м*^{3}.

Напряжение изгиба $\sigma_и = M/W = 0{,}0134/1055\ 10^{-6} = 12{,}7$ *МПа* < $<R_и=13{,}33$ *МПа.*

2. Так как высота сечения $h = 0{,}225 < (R_{ск}/ R_и)l =(1{,}6/13{,}33)6 = =0{,}72$ *м*, то расчет на скалывание можно не проводить.

3. Расчет на устойчивость плоской формы деформирования можно не проводить, так как балки междуэтажного перекрытия имеют сплошное раскрепление верхней сжатой зоны досками настила.

4. Проверка прогиба.

Так как $h = 0{,}225 < l/20 = 0{,}30$ *м,* при определении прогиба деформации сдвига не учитываем.

Момент инерции $I = bh^3/12 =0{,}125\cdot 0{,}225^3/12 = 11865\cdot 10^{-8}$ *м*^{4}.

Модуль упругости $E = 10^4$ *МПа.*

Относительный прогиб $f/l= (1/20{,}8)\ P^н l^2/(EI) = (1/20{,}8)\ 0{,}0037\ 6^2/ /(1\cdot 10^4\cdot 11865\cdot 10^{-8}) =1/185 = [f/l\gamma_n] = 1 /(250\cdot 0{,}9) >1/225.$

Необходимо увеличить сечение для обеспечения жесткости.

Принимаем по сортаменту ближайшее большее сечение b x h = $=0{,}125$ x $0{,}25$ *м.*

Момент инерции $I = bh^3/12 =0{,}125\cdot 0{,}25^3/12=16276\cdot 10^{-8}$ *м*^{4}.

Относительный прогиб $f/l= (1/20{,}8)\ P^н l^2/(EI) = (1/20{,}8)\ 0{,}0037\ 6^2/ /(1\cdot 10^4\cdot 16276\cdot 10^{-8}) =1/254 < [f/l](1/\gamma_n)=(1/250)(1/0{,}9) = 1/225.$

5. Наименьшую рекомендуемую высоту балки цельного сечения при полном использовании ее расчетной несущей способности можно получить, приняв прогиб балки равным предельному по формуле (3.8).

$$h = 5R_и l/(24\gamma_{f.ср}E[f/l]) = 5\cdot 1{,}33\cdot 6/(6{,}7/3{,}7)\cdot 10000(1/250) = 0{,}235 \text{ м},$$

при этом ширина сечения

$$b = 6M_{расч}/h^2R_и = 6\cdot 0{,}0134\cdot 0{,}9/(0{,}235^2\cdot 13{,}33) = 0{,}111 \text{ м}.$$

Принимаем по сортаменту ближайшее большее сечение b x h = $=0{,}125$ x $0{,}25$ *м.* Как видим, мы получили тот же результат.

Исходные данные к заданию по подбору сечения изгибаемого элемента

Таблица 3.1

Номер задания	Пролет элемента, м	Назначение*	Нагрузка		
			Вид**	Значения: q – кН/м; P - кН	
				нормативная	расчетная
1	2	3	4	5	6
1	3,0	ПП	q	3,0	3,2
2	6,0	БЧП	P	10,0	11,3
3	4,5	БМП	2P	3,7	5,7
4	4,5	БЧП	q	1,8	2,6
5	3,0	БМП	q	2,4	3,2
6	3,0	ПП	2P	3,2	3,8
7	6,0	БМП	P	3,6	5,8
8	6,0	БЧП	P	4,5	4,9
9	4,0	БЧП	q	1,2	1,9
10	6,0	ПП	P	7,0	7,7
11	4,5	ПП	P	6,6	9,0
12	6,0	БМП	2P	2,6	3,6
13	3,0	ПП	2P	2,4	4,4
14	4,5	БЧП	q	1,5	2,6
15	5,5	БЧП	q	2,1	2,8
16	6,0	БМП	P	13,0	15,0
17	4,5	БЧП	P	4,5	4,9
18	3,0	БЧП	q	2,9	3,75
19	6,0	БМП	2P	3,2	4,4
20	4,5	БМП	2P	11,2	12,0
21	5,0	БМП	q	5,0	6,0
22	5,5	БЧП	P	4,2	5,2
23	4,0	ПП	P	4,4	5,8
24	3,0	ПП	q	1,0	1,9
25	6,0	БЧП	2P	9,0	11,5
26	6,0	БМП	2P	4,7	5,3

* БМП – балка междуэтажного перекрытия; БЧП - балка чердачного перекрытия; ПП – прогон покрытия.

** q – равномерно распределенная нагрузка; P – сосредоточенная сила в середине пролета; 2P – сосредоточенные силы в третях пролета.

4. РАСЧЕТ НА СЖАТИЕ С ИЗГИБОМ И ВНЕЦЕНТРЕННОЕ СЖАТИЕ

4.1. Общие сведения

Сжато-изгибаемые элементы работают одновременно на сжатие и изгиб. Так работают, например, верхние пояса ферм, в которых кроме сжатия действует еще изгиб от внеузловой нагрузки от веса покрытия. В элементах, где сжимающие силы действуют с эксцентриситетом относительно их осей, тоже возникает сжатие с изгибом. Поэтому они называются также внецентренно сжатыми. Внецентренное сжатие может возникнуть в сечении элемента, имеющего несимметричное ослабление.

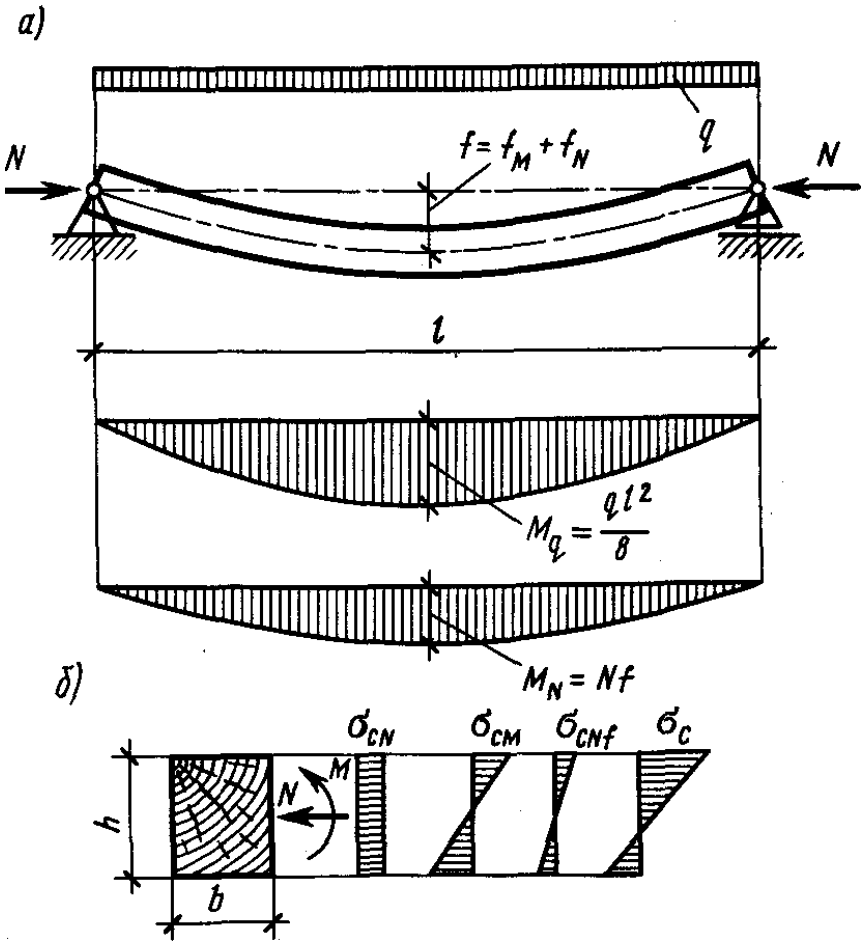

Рис. 4.1. Сжато-изгибаемый элемент:
а – схема работы; б – эпюры нормальных напряжений

В сечении сжато-изгибаемого элемента действуют продольные сжимающие силы *N,* от которых возникают равномерные напряжения сжатия и изгибающий момент *M,* от которого возникают и сжимающие, и растягивающие напряжения, максимальные в крайних волокнах и ну-

левые на нейтральной оси прямоугольного сечения. Максимальные сжимающие напряжения возникают в крайних волокнах сечения в месте действия максимального изгибающего момента.

Разрушение сжато-изгибаемого элемента начинается с потери устойчивости сжатых волокон, что обнаруживается появлением складок и повышенными прогибами, после чего элемент ломается. Такое разрушение частично пластично. Поэтому сжато-изгибаемые элементы работают более надежно, чем растянутые, и их рекомендуется изготовлять из древесины 2-го сорта.

4.2. Расчетные формулы

Сжато-изгибаемые элементы рассчитываются по первой и второй группе предельных состояний.

1. Расчет сжато-изгибаемого элемента производится на действие максимальных продольных сжимающих сил N и изгибающих моментов M от расчетных нагрузок по формуле

$$\sigma = N/A_{расч}+M_Д/W_{расч}= R_c, \qquad (4.1)$$

где N - расчетная сжимающая сила; $M_Д$ - расчетный изгибающий момент от совместного действия поперечной нагрузки и сжимающей силы; $A_{расч}$ и $W_{расч}$ - соответственно площадь поперечного сечения и момент сопротивления (нетто для элементов цельного сечения).

Для шарнирно-опертых элементов при симметричных эпюрах изгибающих моментов синусоидального, параболического, полигонального и близких к ним очертаний, а также для консольных элементов $M_Д$ следует определять по формуле

$$M_Д = M/\xi, \qquad (4.2)$$

где M - изгибающий момент в расчетном сечении без учета дополнительного момента от продольной силы; ξ - коэффициент, изменяющийся от 1 до 0, учитывающий дополнительный момент от продольной силы вследствие прогиба элемента, определяемый по формуле

$$\xi = 1- \lambda^2 N/(3000R_c A_{бр}). \qquad (4.3)$$

2. В случаях, когда в шарнирно-опертых элементах эпюры изгибающих моментов имеют треугольное или прямоугольное очертание,

коэффициент ξ по формуле (4.3) следует умножать на поправочный коэффициент k_α:

$$k_\alpha = \alpha_n + \xi(1 - \alpha_n), \qquad (4.4)$$

где α_n - коэффициент, который следует принимать равным 1,22 при эпюрах изгибающих моментов треугольного очертания (от сосредоточенной силы) и 0,8 при эпюрах прямоугольного очертания (от постоянного изгибающего момента).

3. При отношении напряжений от изгиба к напряжениям от сжатия менее 0,1 сжато-изгибаемые элементы следует также проверять на устойчивость по формуле (2.2) без учета изгибающего момента.

4. Расчет на скалывание при изгибе следует проводить по формуле (3.2), при этом поперечную силу определяют по формуле

$$Q_Д = Q/\xi, \qquad (4.5)$$

где Q - максимальная поперечная сила от поперечной нагрузки.

5. Сжато-изгибаемый элемент должен быть также проверен на прочность и устойчивость только при сжатии продольной силой в направлении из плоскости действия изгибающего момента по формуле (2.2).

6. Проверка устойчивости плоской формы деформирования цельных сжато-изгибаемых элементов, как правило, не требуется.

7. Прогиб сжато-изгибаемых элементов следует проверять по формуле

$$f_Д/l = f/l\xi, \leq [f/l](1/\gamma_n), \qquad (4.6)$$

где f - прогиб, определяемый по формуле (3.5).

4.3. Указания по подбору сечения

Подбор сечений сжато-изгибаемых элементов производят методом последовательных приближений (попыток). Назначенное сечение проверяют по условию прочности (4.1). При несоблюдении условия прочности размеры сечения увеличивают с учетом сортамента пиломатериала. Цель расчета – получение сечения с наименьшей площадью при условии, чтобы суммарные краевые напряжения сжатия были как можно ближе к значению расчетного сопротивления материала. Как правило, рациональной формой сечения будет прямоугольное сечение с высотой в плоскости действия поперечной нагрузки.

4.4. Задание

Подобрать прямоугольное сечение сжато-изогнутого деревянного элемента. Исходные данные взять по варианту из табл. 4.1 и 2.1.

4.5. Пример расчета

Исходные данные. Стержень из древесины лиственницы 2-го сорта длиной $l = 5{,}5м$ не имеет ослабления, и концы его закреплены шарнирно. На стержень от расчетных нагрузок действует продольная сжимающая сила $N = 59{,}4\ кН = 0{,}0594\ МН$ и сосредоточенная сила в середине пролета $P = 10{,}5\ кН = 0{,}0105\ МН$ в направлении большего размера сечения. Нормативная нагрузка составляет 70% от расчетной. Условия эксплуатации конструкции: класс ответственности здания III; температурно-влажностный режим здания А2; установившаяся температура воздуха < 35°С; отношение постоянных и длительных нагрузок к полной >0,8.

Решение. 1. Подберем сечения по прочности. Задаемся размерами сечения по сортаменту 0,15х0,25 м. Расчетное табличное значение сопротивление изгибу древесины сосны 2-го сорта $R_c^T = 15\ МПа$. Определяем значение расчетного сопротивления с учетом коэффициентов условий работы, породы и коэффициента надежности по ответственности.

$R_c = R_c^T m_T m_в m_Д m_п / \gamma_n = 15 \cdot 1{,}0 \cdot 0{,}9 \cdot 0{,}8 \cdot 1{,}2 / 0{,}9 = 14{,}4\ МПа.$

$R_{ск} = R_{ск}^T m_T m_в m_Д m_п / \gamma_n = 1{,}8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0{,}8 / 0{,}9 = 1{,}6\ МПа.$

Изгибающий момент от расчетной нагрузки $M = Pl/4 = 10{,}5 \cdot 5{,}5/4 = 14{,}43\ кН \cdot м = 0{,}01443\ МН \cdot м.$ Площадь и момент сопротивления сечения определяются по формулам

$A = bh = 0{,}15 \cdot 0{,}25 = 0{,}0375\ м^2;$

$W = bh^2/6 = 0{,}15 \cdot 0{,}25^2/6 = 1562 \cdot 10^{-6}\ м^3.$

Расчетная длина и гибкость элемента в плоскости изгиба

$l_o = 5{,}5\ м;\ \lambda = l_o / 0{,}289h = 5{,}5/0{,}289 \cdot 0{,}25 = 76{,}1 < \lambda_{пр} = 150.$

По формуле (4.3) определяем коэффициент $\xi = 1 - \lambda^2 N / 3000 R_c A_{бр} =$

$= 1 - 76{,}1^2 \cdot 0{,}0594 / (3000 \cdot 14{,}4 \cdot 0{,}0375) = 0{,}788.$

По формуле (4.4) определяем коэффициент $k_\alpha = \alpha_n + \xi (1 - \alpha_n) = 1,22 + 0,788(1 – 1,22) = 1,047$.

Момент с учетом деформаций $M_Д = M/\xi k_\alpha = 0,01443 /0,788 \cdot 1,047 = 0,017499$ *МН·м.*

По формуле (4.1) проверяем условие прочности

$\sigma = N/A_{расч} + M_Д/W_{расч} = 0,0594/0,0375 + 0,017499/(1562 \cdot 10^{-6}) = 12,78$ *МПа* $< R_c = 14,4$ *МПа.*

2. Проверка прочности и устойчивости из плоскости изгиба.

Расчетная длина, гибкость и коэффициент продольного изгиба следующие:

$l_{oy} = 5,5$ *м;* $\lambda_y = l_{oy} /0,289b = 5,5/(0,289 \cdot 0,15) = 126,8 > 70,$ но $< \lambda_{пр} = 150.$ Так как $\lambda_y > 70,$ то φ определяем по формуле (2.4) $\varphi_y = 3000/(\lambda_y)^2 = 3000/126,8^2 = 0,187.$

Проверяем элемент на устойчивость по формуле (2.2)

$\sigma_c = N/(\varphi_y A_{расч}) = 0,0594/(0,187 \cdot 0,0375) = 8,47$ *МПа* $< R_c = 14,4$ *МПа.*

3. Делаем расчет на прочность по скалыванию.

Поперечная сила от опоры до места приложения сосредоточенной нагрузки равна $Q = P/2 = 0,0105/2 = 0,00525$ *МН.* С учетом влияния продольной силы по формуле (4.5) определим $Q_Д = Q/\xi k_\alpha = 0,00525/(0,788 \cdot 1,047) = 0,00636$ *МН.* Формула (3.2) для прямоугольного сечения примет вид $\tau = 1,5Q/(h \cdot b_{расч}),$ тогда

$\tau = 1,5 \cdot 0,00636/(0,25 \cdot 0,15) = 0,254$ *МПа* $< R_{ск} = 1,6$ *МПа.*

4. Проверка прогиба.

Нормативная поперечная нагрузка по заданию равна $P^n = 0,7P = 0,7 \cdot 0,0105 = 0,00735$ *МН*. Момент инерции $I = bh^3/12 = 0,15 \cdot 0,25^3/12 = 19531 \cdot 10^{-8}$ *м*^{4}. Модуль упругости $E = 10^4$ *МПа*.

Прогиб без учета деформаций сдвига равен:

$$f_0 = P^n l^3/(48EI) = 735 \cdot 10^{-5} 5,5^3/(48 \cdot 10^4 \cdot 19531 \cdot 10^{-8}) = 0,013 \text{ м}.$$

Прогиб с учетом деформаций сдвига только от поперечной нагрузки по определяем по формуле (3.5), в которой коэффициент с = 24 принят по табл. 4 прил. 4 СНиП II-22-80.

$$f = f_o\,[1 + c(h/l)^2] = 0,013[1 + 24(0,25/5,5)^2] = 0,0136 \text{ м}.$$

Для сжато-изогнутого элемента с учетом дополнительного прогиба от влияния продольной силы по формуле (4.6) получим значение относительного прогиба:

$$f_Д/l = f/l\xi k_\alpha = 0,0136/(5,5 \cdot 0,788 \cdot 1,047) = 1/334 < [f/l](1/\gamma_n) = 1/(300 \cdot 0,9) = 1/270.$$

Исходные данные к заданию по подбору сечения сжато-изгибаемого элемента

Таблица 4.1

Номер задания	Длина *l*, м	Расчетная поперечная нагрузка (нормативная 70% от расчетной)*		Расчетная сила сжатия N, кН	Предельная гибкость	Предельный относительный прогиб, *[f/l]*
		q, кН/м	P, кН			
1	2	3	4	5	6	7
1	5,0	-	3,61	37,20	150	1/250
2	4,0	5,37	-	81,00	120	1/200
3	3,5	7,26	-	149,57	150	1/250
4	5,5	-	4,00	118,00	120	1/300
5	4,6	5,40	-	95,80	150	1/250
6	4,5	-	15,20	130,00	150	1/200
7	4,3	7,20	-	131,00	120	1/300
8	3,2	10,70	-	228,30	120	1/250
9	4,0	8,40	-	84,37	150	1/200
10	4,5	3,95	-	81,50	120	1/250
11	4,0	-	5,12	37,20	120	1/300
12	3,0	-	18,78	168,75	120	1/250
13	4,5	-	15,20	131,25	150	1/200
14	3,8	-	17,80	95,80	120	1/250
15	4,4	4,96	-	97,00	120	1/200
16	5,0	2,00	-	56,00	150	1/300
17	4,0	-	10,75	149,50	150	1/300
18	4,5	2,70	-	56,00	120	1/200
19	2,9	-	20,40	157,50	150	1/250
20	4,8	-	5,48	107,30	120	1/200
21	5,2	3,00	-	95,60	120	1/200
22	3,5	5,10	-	56,00	150	1/250
23	4,0	7,66	-	196,80	150	1/300
24	4,5	-	8,55	149,50	150	1/250
25	3,5	10,50	-	123,70	120	1/200
26	5,5	-	10,50	59,40	150	1/300

* q – равномерно распределенная нагрузка; P – сосредоточенная сила в середине пролета.

5. РАСЧЕТ НА ЦЕНТРАЛЬНОЕ И ВНЕЦЕНТРЕННОЕ РАСТЯЖЕНИЕ

5.1. Общие сведения

Растянутые элементы - это нижние пояса ферм, затяжки арок и некоторые стержни других сквозных конструкций. Растягивающие усилия *N* действуют вдоль оси элемента, и во всех точках его поперечного сечения возникают растягивающие нормальные напряжения, которые с достаточной точностью считаются одинаковыми по значению.

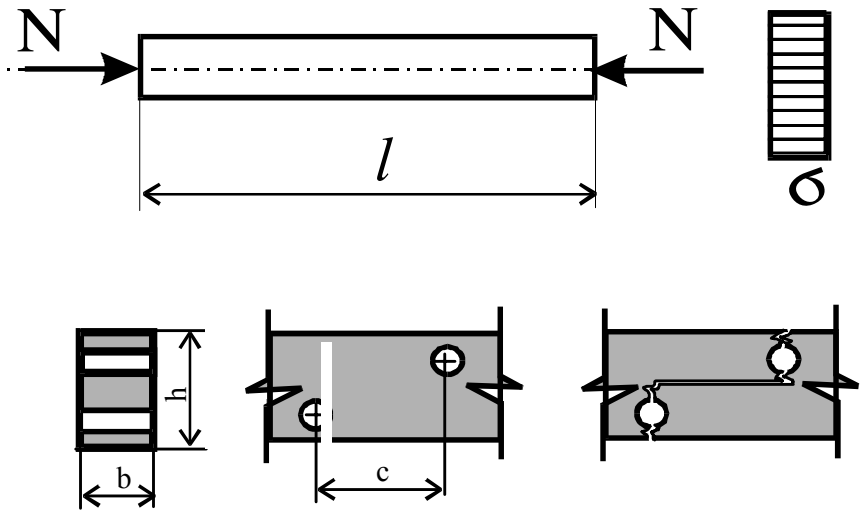

Рис. 5.1. Растянутый элемент

Древесина работает на растяжение почти как упругий материал и имеет высокую прочность. Разрушение растянутых элементов происходит хрупко, в виде почти мгновенного разрыва наименее прочных волокон по пилообразной поверхности. Однако прочность реальной древесины при растяжении, в которой имеются допускаемые пороки и которая работает длительное время, значительно ниже.

Работа деревянных элементов при растяжении является наиболее ответственной. Они разрушаются почти мгновенно, поэтому растянутые элементы надо изготовлять, как правило, из наиболее прочной древесины 1-го сорта.

Растянуто-изгибаемые элементы работают одновременно на растяжение и на изгиб. Так работает, например, нижний пояс фермы, в котором кроме растяжения действует еще и изгиб от межузловой нагрузки от веса подвесного перекрытия. Так же работает элемент, в ко-

тором растягивающие силы действуют с эксцентриситетом относительно его оси. Такие элементы называются еще внецентренно-растянутыми. Схема работы, эпюры изгибающих моментов и напряжений в сечениях растянуто-изгибаемого элемента показаны на рис. 5.2.

В сечениях растянуто-изгибаемого элемента от продольных растягивающих сил N возникают равномерные растягивающие напряжения, а от изгибающего момента M — напряжения изгиба, состоящие из сжатия на одной половине и растяжения на другой половине сечения. Эти напряжения суммируются с учетом их знаков, благодаря чему растягивающие напряжения увеличиваются, а сжимающие уменьшаются. Наибольшие напряжения растяжения действуют в крайних растянутых кромках сечения в месте действия максимального изгибающего момента.

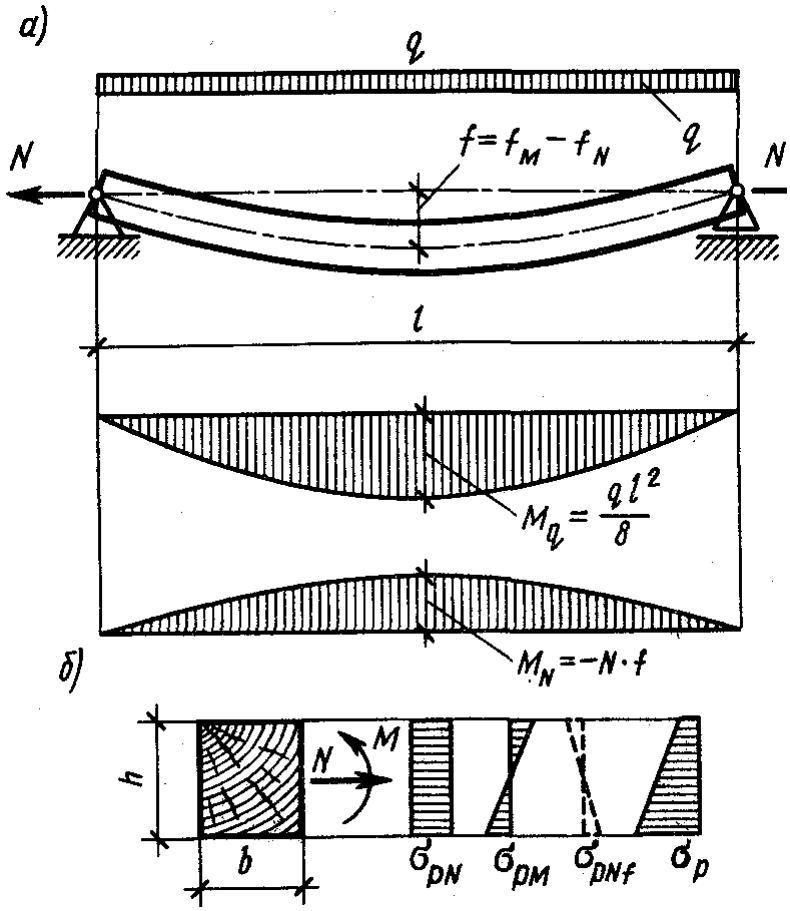

Рис. 5.2. Растянуто-изгибаемый элемент:
а - схема работы и эпюры изгибающих моментов;
б - эпюры нормальных напряжений

Здесь и начинается разрушение элемента от разрыва растянутых волокон древесины. Растянуто-изгибаемые элементы — это такие же ответственные элементы, как и растянутые, и их рекомендуется изготовлять из древесины 1-го сорта. Прочность растянутых элементов в

тех местах, где они ослаблены отверстиями или врезками, снижается дополнительно в результате концентрации напряжений у их краев. Это учитывается снижающим коэффициентом условий работы $m_0 = 0{,}8$.

Растянутые и внецентренно-растянутые элементы рассчитываются только по первой группе предельных состояний.

5.2. Расчетные формулы

Расчет по прочности растянутых элементов производится на растягивающую силу N от расчетных нагрузок:

$$N/A_{нт} \leq R_p m_0, \qquad (5.1)$$

где N – расчетная продольная сила; $A_{нт}$ – площадь поперечного сечения нетто; $m_0 = 0{,}8$ – коэффициент для растянутых элементов с ослаблением в расчетном сечении; R_p – расчетное сопротивление древесины вдоль волокон.

При наличии ослаблений в пределах длины, равной 0,20 м в разных сечениях, поверхность разрыва всегда проходит через них. Поэтому при определении ослабленной площади сечения $A_{нт}$ все ослабления на этой длине суммируются, как бы совмещаются в одном сечении (рис. 5.1).

Расчет растянуто-изгибаемых элементов производится по прочности на действие продольных растягивающих сил N и изгибающих моментов M от действующих расчетных нагрузок по формуле

$$N/A_{нт} + (M/W_{нт})(R_p/R_u) \leq R_p m_0. \qquad (5.2)$$

При наличии ослаблений в пределах длины равной 0,20 м в разных сечениях, при определении $W_{нт}$ все ослабления на этой длине суммируются.

Искривление оси растянуто-изгибаемого элемента при изгибе несколько уменьшает изгибающий момент от внешних нагрузок в результате возникающего эксцентриситета продольных сил. В запас прочности этот обратный изгибающий момент не учитывается при расчете. Отношение расчетных сопротивлений растяжению и изгибу R_p/R_u позволяет привести эти напряжения к общему значению, что необходимо для сравнения его с расчетным сопротивлением растяжению.

5.3. Указания по подбору сечений

Для подбора сечений **растянутых элементов** используют формулу (5.1), написанную относительно требуемой площади сечения, учитывая, что N и R_p известны. При этом площадь поперечного сечения с учетом ослабления $A_{тр} = N/(R_p m_0)$. По требуемой площади подбирают сечение, увязывая размеры с сортаментом пиломатериалов, и делают окончательную проверку по формуле (5.1).

Подбор сечений растянуто-изгибаемых элементов можно производить методом попыток, поскольку непосредственно использовать для этого формулу (5.2) невозможно.

При расчете центрально и внецентренно-растянутых элементов предварительные размеры поперечного сечения (минимальные) назначают исходя из предельной гибкости. Гибкость элементов ограничивается предельной гибкостью $\lambda_{пр.}$ с тем, чтобы они не получились недопустимо неустойчивыми и недостаточно надежными $\lambda \leq \lambda_{пр}$.

5.4. Задание

Подобрать сечение центрально и внецентренно-растянутых элементов. Исходные данные взять из табл. 5.1, 5.2, 2.2 и рис. 5.3.

5.4. Пример расчета

Исходные данные. Рассчитать стойку ригельно-подкосной рамы при действии на нее ветровой нагрузки и растягивающего усилия. Материал – брус из древесины лиственницы второго сорта. Стойка имеет ослабление в виде отверстия $d = 0{,}018$ *м* под крепежный болт стенового ограждения. Стержень имеет длину $l = 4{,}75$ *м*. Он растягивается продольной силой $N = 120$ *кН* $= 0{,}12$ *МН* и изгибается одновременно изгибающим моментом $M = 7{,}3$ *кН·м* $= 0{,}0073$ *МН·м* от расчетных нагрузок, действующих в направлении большего размера сечения. Предельная гибкость элемента $\lambda_{пр} = 120$. Условия эксплуатации конструкции: класс ответственности здания III; температурно-влажностный режим здания Б2; установившаяся температура воздуха +35°С; отношение постоянных и длительных нагрузок к полной <0,8.

Расчет.

1. Из условия предельной гибкости определяем минимальную высоту сечения элемента $h_{min} = l_0 / (0{,}289\, \lambda_{пр}) = 4{,}75/(0{,}289 \cdot 120) = 0{,}137$ *м*.

2. Задаемся размерами сечения элемента (согласно сортамента) *0,15*x*0,125 м*. Расчетное табличное значение сопротивления растяжению древесины сосны 1-го сорта $R_p^T = 7$ *МПа*, $R_u^T = 14$ *МПа*.

3. Определяем значение расчетного сопротивления растяжению с учетом коэффициентов условий работы, породы и коэффициента надежности по ответственности:

$R_p = R_p^T m_t m_в m_Д m_n m_м / \gamma_n = 7 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}2 \cdot 1{,}2 / 0{,}9 = 11{,}2$ *МПа*.

4. Определяем геометрические характеристики:

$A_{расч} = A_{нт} = h(b-d) = 0{,}15(0{,}125-0{,}018) = 0{,}01605$ *м*^{2};

$I_{нт} = (b-d)h^3/12 = =(0{,}125-0{,}018)0{,}15^3/12 = 3009{,}4 \cdot 10^{-8}$ *м*^{4};

$W_{нт} = I_{нт}/(h/2) = 3009{,}4 \cdot 10^{-8} \cdot 2/0{,}15 = 401{,}25 \cdot 10^{-6}$ *м*^{3}.

5. Делаем проверку по прочности по формуле (5.2)

$N/A_{нт} + (M/W_{нт})(R_p/R_u) = 0{,}12/0{,}01605 + (0{,}0068/401{,}25 \cdot 10^{-6})(7/14) =$

$= 8{,}54$ *МПа* $\leq R_p m_0 = 11{,}2\ 0{,}8 = 8{,}96$ *МПа*.

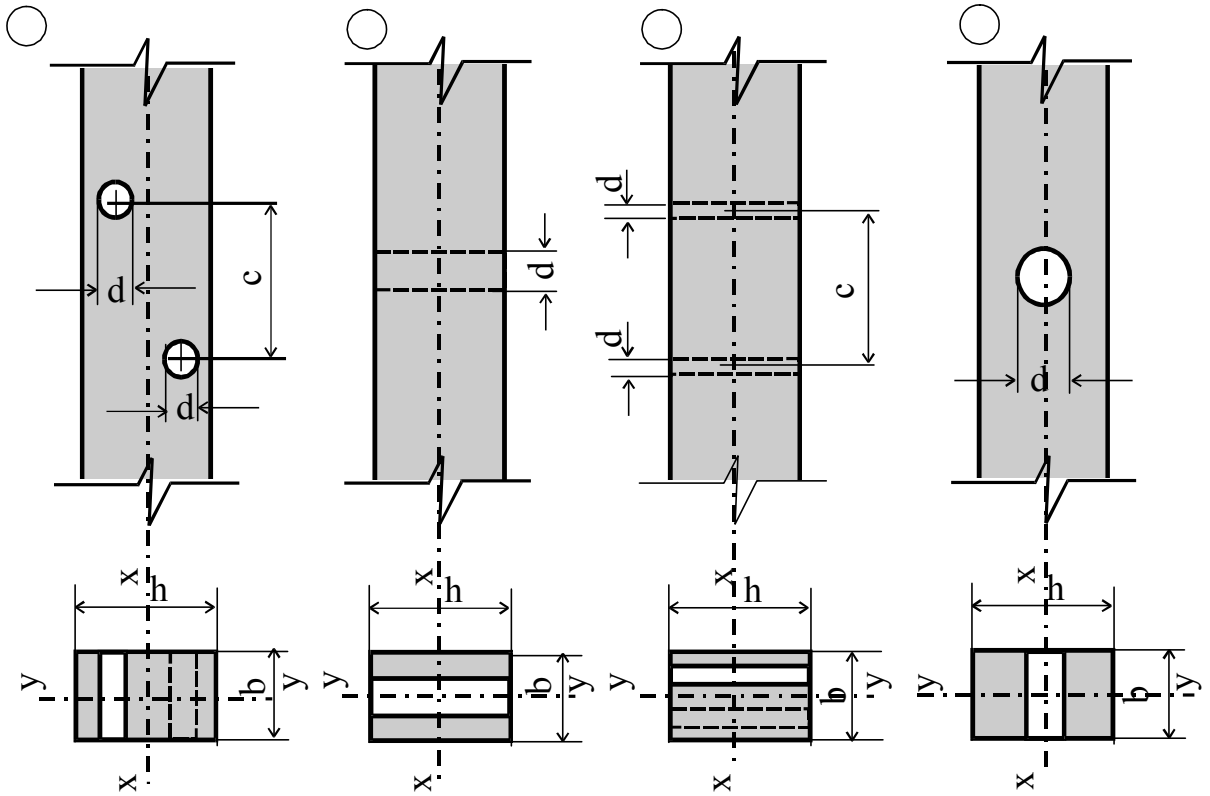

Рис. 5.3. Схемы ослаблений сечений

Исходные данные к подбору сечения центрально-растянутых элементов

Таблица 5.1

Номер задания	Расчетное усилие растяжения N, кН	Геометрическая длина элемента l, м	Вид кратковремен-ной нагрузи	Лесоматериал	Параметры ослабления (см. рис. 5.1)			Предельная гибкость
					d или a, мм	номер схемы	c, см	
1	2	4	5	6	7	8	9	10
1	350	4,5	Гололедная	Брус	-	-	-	200
2	450	5,0	-	Брус	20	3	20	200
3	385	5,5	Монтажная	Бревно	-	-	-	150
4	550	6,0	-	Бревно	18	4	-	150
5	480	6,5	-	Брус	24	2	-	120
6	300	6,0	-	Брус	18	4	20	150
7	285	5,5	Ветровая	Бревно	18	1	20	200
8	360	5,0	-	Бревно	-	-	-	120
9	600	4,5	Сейсмическая	Брус	18	2	-	150
10	500	4,0	-	Бревно	24	2	-	200
11	650	3,5	Монтажная	Брус	12	1	20	200
12	250	4,0	-	Брус	-	-	-	120
13	280	3,5	Гололедная	Бревно	-	-	-	150
14	425	3,0	-	Брус	18	1	20	200
15	255	3,5	Ветровая	Брус	24	4	-	120
16	700	4,0	-	Брус	24	2		150
17	385	4,5	Монтажная	Брус	18	1	20	150
18	400	5,0	-	Бревно	12	2	-	200
19	605	5,5	Сейсмическая	Брус	-	-	-	150
20	380	6,0	Ветровая	Брус	12	1	20	120
21	750	6,5	Монтажная	Брус	24	4	-	200
22	200	6,0	-	Брус	18	3	20	120
23	725	5,5	-	Брус	-	-	-	120
24	380	5,0	-	Брус	18	2	-	150
25	360	4,5	-	Брус	18	3	20	120

Исходные данные к подбору сечения внецентренно-растянутых элементов

Таблица 5.2

Номер задания	Расчетное усилие растяжения N, кН	Расчетный изгибающий момент M, кН/м	Геометрическая длина элемента l, м	Вид кратковременной нагрузки	Лесоматериал	Параметры ослабления (см. рис. 5.3)			Предельная гибкость
						d или δ, мм	номер схемы	c, см	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	15,0	10,0	6,0	-	Брус	-	-	-	200
2	45,0	6,0	5,0	-	Брус	20	3	20	200
3	20,0	8,5	5,5	Монтажная	Брус	-	-	-	150
4	15,0	7,5	6,0	-	Брус	18	4	-	150
5	25,0	6,0	6,5	-	Брус	24	2	-	120
6	30,0	7,0	6,0	-	Брус	18	4	20	150
7	22,5	8,0	5,5	Ветровая	Брус	18	1	20	200
8	30,0	12,0	5,0	-	Брус	-	-	-	120
9	35,0	6,5	4,5	Сейсмическая	Брус	18	2	-	150
10	30,0	7,5	4,0	-	Брус	24	2	-	200
11	65,0	4,0	3,5	Монтажная	Брус	12	1	20	200
12	10,0	5,0	4,0	-	Брус	-	-	-	120
13	12,0	7,3	3,5	Гололедная	Брус	-	-	-	150
14	42,5	5,0	3,0	-	Брус	18	1	20	200
15	60,0	6,0	3,5	Ветровая	Брус	24	5	0	120
16	25,0	8,0	4,0	-	Брус	24	2		150
17	32,0	6,0	4,5	Монтажная	Брус	18	5	0	150
18	17,5	9,0	5,0	-	Брус	12	2	-	200
19	27,5	8,5	5,5	Сейсмическая	Брус	-	-	-	150
20	38,0	7,0	6,0	Ветровая	Брус	12	5	20	120
21	32,0	12,5	6,5	Монтажная	Брус	24	4	-	200
22	20,0	10,0	6,0	-	Брус	18	3	20	120
23	34,0	9,5	5,5	-	Брус	-	-	-	120
24	30,0	5,5	5,0	-	Брус	18	5	0	150
25	36,0	12,5	4,5	-	Брус	18	3	20	120

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

СОРТАМЕНТЫ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ

Таблица 1

Размеры сечений обрезных пиломатериалов хвойных пород по ГОСТ 24454-80Е									
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	275
32	75	100	125	150	175	200	225	250	275
40	75	100	125	150	175	200	225	250	275
44	75	100	125	150	175	200	225	250	275
50	75	100	125	150	175	200	225	250	275
60	75	100	125	150	175	200	225	250	275
75	75	100	125	150	175	200	225	250	275
100	—	100	125	150	175	200	225	250	275
125	—	—	125	150	175	200	225	250	—
150	—	—	—	150	175	200	225	250	—
175	—	—	—	—	175	200	225	250	—
200	—	—	—	—	—	200	225	250	—
250	—	—	—	—	—	—	—	250	—

Примечание: Номинальные размеры длины пиломатериалов устанавливают от 1,0 до 6,5 м с градацией 0,25 м.

Таблица 2

Номинальные размеры толщины и ширины обрезных пиломатериалов лиственных пород по ГОСТ 2695-83*											
по толщине	19	22	25	32	40	45	50	60	70	80	90 100мм
по ширине	60	70	80	90	100	110	130	150	180	200	
по длине:	из твердых лиственных пород от 0,5 до 6,0 м с градацией 0,10 м; из мягких лиственных пород и березы от 0,5 до 2,0 м с градацией 0,25 м										

Примечание: Допускается изготовление пиломатериалов из мягких лиственных пород и березы, предназначенных для использования взамен хвойных с размерами по ГОСТ 24454-80Е.

Таблица 3

Размеры круглых лесоматериалов лиственных (ГОСТ 9462-71*) и хвойных (ГОСТ 9463-72) пород				
Группы лесоматериала	Толщина (диаметр), м	Градация по толщине, (диаметру), м	Длина	Градация по длине, м
Мелкие	0,06 – 0,13	0,01	3,0 - 6,5	0,5
Средние	0,14 – 0,24	0,02	3,0 - 6,5	0,5
Крупные	0,26 и более	0,02	*	*

* - размеры оговариваются ГОСТом в зависимости от назначения лесоматериалов.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

УЧЕТ ОТВЕТСТВЕННОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

В соответствии со СНиП 2.01.07-85* «Нагрузки и воздействия».

1. Для учета ответственности зданий и сооружений, характеризуемой экономическими, социальными и экологическими последствиями их отказов, устанавливают три уровня: I — повышенный, II — нормальный, III — пониженный.

2. При расчете несущих конструкций и оснований следует учитывать коэффициент надежности по ответственности γ_n, принимаемый равным: для I уровня ответственности - более 0,95, но не более 1,2; для II уровня - 0,95; для III уровня - менее 0,95, но не менее 0,8.

На коэффициент надежности по ответственности γ_n следует умножать нагрузочный эффект (внутренние силы и перемещения конструкций и оснований, вызываемые нагрузками и воздействиями) или делить величину расчетного сопротивления.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. СНиП II-25-80. Деревянные конструкции. Нормы проектирования. -М.: Госстрой СССР, 1983.-30 с.
2. СНиП 2.01.07-85*. Нагрузки и воздействия. -М.: Минстрой России, 1996.-44 с.
3. Дмитриев П.А. Деревянные балки и балочные клетки. - Новосибирск, 1989.-161 с.
4. Зубарев Г.Н. Конструкции из дерева и пластмасс. –М.: Высш. шк., 1990.-287с.

СОДЕРЖАНИЕ

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ 1
2. РАСЧЕТ ЦЕНТРАЛЬНО-СЖАТЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПОСТОЯННОГО ЦЕЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ 4
2.1. Общие сведения о работе 4
2.2. Расчетные формулы 5
2.3. Указания по подбору сечения 6
2.4. Задание 7
2.5. Пример расчета 7
3. РАСЧЕТ НА ПОПЕРЕЧНЫЙ ИЗГИБ 13
3.1. Общие сведения о работе 13
3.2. Расчетные формулы 13
3.3. Рекомендации по подбору сечения 15
3.4. Задание 17
3.5. Пример расчета 17
4. РАСЧЕТ НА СЖАТИЕ С ИЗГИБОМ И ВНЕЦЕНТРЕННОЕ СЖАТИЕ 20
4.1. Общие сведения о работе 20
4.2. Расчетные формулы 21
4.3. Указания по подбору сечения 22
4.4. Задание 23
4.5. Пример расчета 23
5. РАСЧЕТ НА ЦЕНТРАЛЬНОЕ И ВНЕЦЕНТРЕННОЕ РАСТЯЖЕНИЕ 27
5.1. Общие сведения о работе 27
5.2. Расчетные формулы 29
5.3. Указания по подбору сечений 30
5.4. Задание. 30
5.4. Пример расчета. 30
ПРИЛОЖЕНИЯ 34
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ 36

Составитель Валерий Николаевич Ардеев

РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Методические указания и задания к практическим занятиям по курсу «Конструкции из дерева и пластмасс»для всех форм обучения по специальности 290300

Редактор З.М. Савина

ЛР№ 020313 от 23.12.96
Подписано в печать 03.02.2000. Формат 60х84/16.
Бумага офсетная. Отпечатано на ризографе. Уч.-изд. л. 2,00.
Тираж 100 экз. Заказ .
Кузбасский государственный технический университет.
650026, Кемерово, ул. Весенняя, 28.
Типография Кузбасского государственного технического университета.
650099, Кемерово, ул. Д. Бедного, 4 А.