



А.М. Газизов

РАСЧЕТ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ФАНЕРЫ

Екатеринбург
2017

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ

ФГБОУ ВО «УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра инновационных технологий и оборудования деревообработки

А.М. Газизов

РАСЧЕТ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ФАНЕРЫ

Учебно-методическое пособие
к практическим занятиям по курсу
«Технология клееных деревянных конструкций»
для обучающихся по направлению 35.03.02 «Технология
лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств»
очной и заочной форм обучения

Екатеринбург
2017

Печатается по рекомендации методической комиссии ИЛБиДС.
Протокол № 1 от 20 октября 2016 г.

Рецензент – Стенина Е.И., доцент, кандидат технических наук

Редактор А.Л. Ленская
Оператор компьютерной верстки Е.А. Газеева

Подписано в печать 10.04.17

Плоская печать

Заказ №

Формат 60×84 1/16

Печ. л. 0,7

Поз. 55

Тираж 10 экз.

Цена руб. коп.

Редакционно-издательский отдел УГЛТУ
Отдел оперативной полиграфии УГЛТУ

ВВЕДЕНИЕ

Строительные изделия и конструкции из древесины должны производиться в соответствии со Строительными нормами и правилами, которые определяют комплекс требований по параметрам эксплуатационной надежности. В связи с этим необходимо на этапе проектирования конструкций выполнить расчет элементов изделий на прочность, устойчивость, деформативность, подобрать наиболее эффективные материалы, способы и средства соединения деталей между собой, определить оптимальные размеры заготовок и схемы их сборки. Древесина – особенный строительный материал. Прочностные и физические характеристики древесины зависят от направления ее волокон, породы и состояния. Пиломатериалы и заготовки в большинстве случаев склонны к изменению формы и размеров в условиях воздействия переменной влажности, температуры и нагрузок. Поэтому в процессе конструирования строительных изделий следует тщательно и технически обоснованно определять их структуру, комбинации заготовок, виды соединений и обеспечивать подбор материалов.

В пособии приводятся рекомендации по определению основных оценок эксплуатационной надежности элементов несущих конструкций и назначению некоторых геометрических параметров наиболее ответственных деталей и их соединений.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Строительные конструкции на основе древесины чаще всего бывают представлены балками различных типов, сборно-составными рамами, арками или фермами, стеновыми панелями и перегородками. При их изготовлении применяют склеивание, механическое соединение гвоздями, стяжками, зубчатыми пластинами, сборку на шипы и т.д.

1.1. Оценка надежности элементов конструкций

Для несущих конструкций наиболее важна оценка по двум предельным их состояниям:

- по несущей способности (прочности или устойчивости), при достижении предельного значения которой утрачивается сопротивляемость внешним воздействиям и происходит разрушение;
- по деформациям (прогибу, осадке, смещению и т.д.), предельная величина которых означает для изделия невозможность удовлетворения предъявляемых к нему эксплуатационных требований, хотя еще сохраняется прочность и устойчивость конструкции.

Расчет оценочных параметров по несущей способности обязателен для всех конструкций, работающих с приложением к ним силовых воздействий. Проверка на деформативность характерна в основном лишь для балок, ферм, и т.п., чрезмерные прогибы которых могут ограничить возможность их нормальной эксплуатации. Любые вычисления такого рода проводятся по наибольшим нагрузкам, которые могут проявляться в течение всего срока эксплуатации сооружения.

1.2. Особенности расчета клееных элементов из фанеры с древесиной

Расчет клееных элементов из фанеры с древесиной следует выполнять по методу приведенного поперечного сечения. Прочность растянутой фанерной обшивки плит (рис. 1) и панелей следует проверять по формуле

$$\frac{M}{W_{np}} \leq m_{\phi} R_{\phi.p.}, \quad (1)$$

где M – расчетный изгибающий момент;

$R_{\phi.p.}$ – расчетное сопротивление фанеры растяжению;

m_{ϕ} – коэффициент, учитывающий снижение расчетного сопротивления в стыках фанерной обшивки, принимаемый равным при усовом соединении или с двусторонними накладками: $m_{\phi} = 0,6$ для фанеры обычной и $m_{\phi} = 0,8$ для фанеры бакелизированной; при отсутствии стыков $m_{\phi} = 1$;

W_{np} – момент сопротивления поперечного сечения, приведенного к фанере.

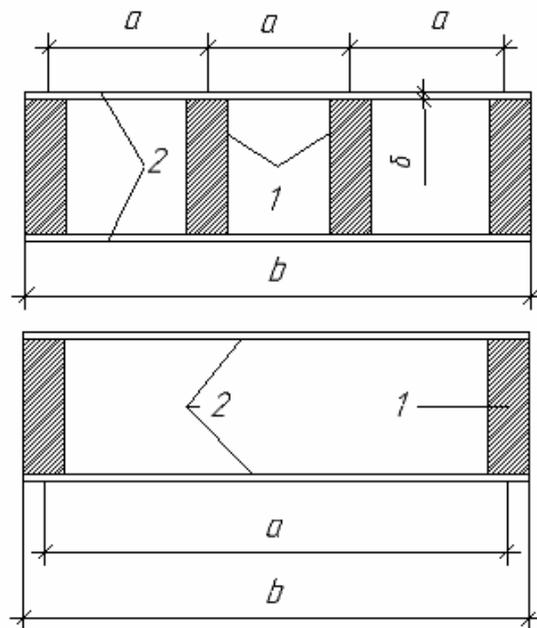


Рис. 1. Поперечное сечение клееных плит из фанеры с древесиной:

1 – продольные ребра; 2 – обшивка

Приведенный момент сопротивления поперечного сечения клееных элементов из фанеры с древесиной следует определять по формуле

$$W_{np} = \frac{I_{np}}{y_0}, \quad (2)$$

где y_0 – расстояние от центра тяжести приведенного сечения до нижней грани обшивки;

I_{np} – момент инерции сечения, приведенного к фанере;

$$I_{np} = I_{\phi} + I \frac{E}{E_{\phi}}. \quad (3)$$

Здесь I_{ϕ} – момент инерции поперечного сечения фанерных обшивок;

I – момент инерции поперечного сечения деревянных ребер каркаса;

E/E_{ϕ} – отношение модулей упругости древесины и фанеры.

При определении приведенных моментов инерции и приведенных моментов сопротивления расчетную ширину фанерных обшивок следует принимать равной $b_{рас} = 0,9b$ при $l \geq 6a$ и $b_{рас} = 0,15a - 1b$ при $l < 6a$ (b – полная ширина сечения плиты, l – пролет плиты, a – расстояние между продольными ребрами по осям).

Устойчивость сжатой обшивки плит и панелей следует проверять по формуле

$$\frac{M}{\varphi_{\phi} W_{np}} \leq R_{\phi,c}, \quad (4)$$

где $\varphi_{\phi} = \frac{a}{(a/\delta)^2}$ при $\frac{a}{\delta} \geq 50$;

$$\varphi_{\phi} = 1 - \frac{(a-\delta)^2}{5000} \quad \text{при} \quad \frac{a}{\delta} > 50.$$

Здесь a – расстояние между ребрами в свету;

δ – толщина фанеры.

Верхнюю обшивку плит дополнительно следует проверять на местный изгиб от сосредоточенного груза $P = 1$ кН (100 кгс) (с коэффициентом перегрузки $n = 1,2$) как заделанную в местах приклеивания к ребрам пластинку.

Проверку на скалывание ребер каркаса плит и панелей или обшивки по шву в месте примыкания ее к ребрам следует проводить по формуле

$$\frac{Q S_{np}}{I_{np} b_{рас}} \leq R_{ск}, \quad (5)$$

где Q – расчетная поперечная сила;

$S_{пр}$ – статический момент сдвигаемой части приведенного сечения относительно нейтральной оси;

$R_{ск}$ – расчетное сопротивление скалыванию древесины вдоль волокон или фанеры вдоль волокон наружных слоев;

b – расчетная ширина сечения, которую следует принимать равной суммарной ширине ребер каркаса.

Расчет на прочность поясов изгибаемых элементов двутаврового и коробчатого сечений с фанерными стенками (рис. 2) следует производить по формуле

$$\frac{M}{W_{расч.}} \leq R_{II} \text{ (или } \leq R_{ид.ш}), \quad (6)$$

где M – расчетный изгибающий момент;

R_{II} – расчетное сопротивление изгибу;

$R_{ид.ш}$ – расчетное сопротивление изгибу древесины из однонаправленного шпона;

$W_{расч.}$ – расчетный момент сопротивления поперечного сечения элемента.

Принимаем $W_{расч} = W_{пр}$ (2), при этом напряжения в растянутом поясе не должны превышать R_p , а в сжатом – φR_c (φ – коэффициент продольного изгиба из плоскости изгиба). Для цельных элементов $W_{расч} = W_{нт}$; для изгибаемых составных элементов на податливых соединениях расчетный момент сопротивления следует принимать равным моменту сопротивления нетто $W_{нт}$, умноженному на коэффициент k_w . Значения k_w для элементов, составленных из одинаковых слоев, приведены в Приложении А и в таблице. Эти значения не распространяются на древесину из однонаправленного шпона. При определении $W_{нт}$ ослабления сечений, расположенных на участке элемента длиной до 200 мм, принимают совмещенными в одном сечении.

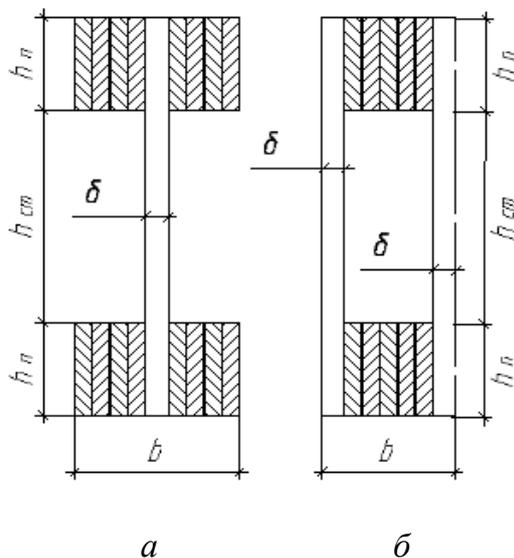


Рис. 2. Поперечные сечения клееных балок с плоской фанерной стенкой:
 а – двутавровое сечение;
 б – коробчатое сечение

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

Примечания:

1. Для промежуточных значений величины пролета и числа слоев коэффициенты определяются интерполяцией.

2. Для составных балок на наклонно клеенных связях при числе слоев не более 4, независимо от пролета, следует принимать $k_w = 0,95$, $k_{жс} = 0,9$.

При проверке стенки на срез по нейтральной оси в формуле (5) значение $R_{ск}$ принимается равным $R_{ф.ср}$, а расчетная ширина $b_{рас}$ равна

$$b_{рас} = \sum \delta_{см} \quad (7)$$

где $\sum \delta_{см}$ – суммарная толщина стенок.

При проверке скалывания по швам между поясами и стенкой в формуле (5) $R_{ск} = R_{ф.ск}$, а расчетную ширину сечения следует принимать равной

$$b_{рас} = nh_n \quad (8)$$

где h_n – высота поясов;

n – число вертикальных швов.

Прочность стенки в опасном сечении на действие главных растягивающих напряжений в изгибаемых элементах двутаврового и коробчатого сечений следует проверять по формуле

$$\frac{\sigma_{см}}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_{см}}{2}\right)^2 + \tau_{см}^2} \leq R_{ф.р.а} \quad (9)$$

где $R_{ф.р.а}$ – расчетное сопротивление фанеры растяжению под углом a , определяемое по графику (рис. Б.1, Приложение Б);

$\sigma_{см}$ – нормальное напряжение в стенке от изгиба на уровне внутренней кромки поясов;

$\tau_{см}$ – касательные напряжения в стенке на уровне внутренней кромки поясов;

a – угол, определяемый из зависимости

$$\operatorname{tg} 2a = \frac{2\tau_{см}}{\sigma_{см}} \quad (10)$$

Устойчивость стенки с продольным по отношению к оси элемента расположением волокон наружных слоев следует проверять на действие касательных и нормальных напряжений при условии

$$\frac{h_{cm}}{\delta} > 50, \quad (11)$$

где h_{cm} – высота стенки между внутренними гранями полок;
 δ – толщина стенки.

Расчет следует производить по формуле

$$\frac{\sigma_{cm}}{k_n \left(\frac{100\delta}{h_{cm}} \right)^2} + \frac{\tau_{cm}}{k_\tau \left(\frac{100\delta}{h_{pac}} \right)^2} \leq 1, \quad (12)$$

где k_n и k_τ – коэффициенты, определяемые по графикам рисунков Б.2 и Б.3 Приложения Б;

h_{pac} – расчетная высота стенки, которую следует принимать равной h_{cm} при расстоянии между ребрами $a \geq h_{cm}$ и равной a при $a < h_{cm}$.

При поперечном по отношению к оси элемента расположении наружных волокон фанерной стенки проверку устойчивости следует проводить по формуле (11) на действие только касательных напряжений в тех случаях, когда

$$\frac{h_{cm}}{\delta} > 80. \quad (13)$$

Список рекомендованной литературы

1. Волынский В.Н. Технология клееных материалов: учебное пособие для вузов (2-е изд., исправленное и дополненное). Архангельск: Изд-во Арханг. гос. техн. ун-та, 2003. 280 с.
2. Ковальчук Л.М. Производство деревянных клееных конструкций. М., 1987.
3. Левинский Ю.Б., Левинская Г.Н., Портникова С.А. Технология строительных материалов и конструкций на основе древесины: учеб. пособие. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2011. 132 с.
4. СНиП II-25-80. Строительные нормы и правила. Деревянные конструкции. М., 1982.
5. СТО 36554501-002-2006. Деревянные клееные и цельнодеревянные конструкции. Методы проектирования и расчета. М. 2006.

Приложения

Приложение А

Данные для расчета сжатых, изгибаемых и сжато-изгибаемых элементов

Таблица 1

Значения коэффициента $k_{ж} N$ для расчета сжатых и сжато-изгибаемых элементов с переменной высотой и постоянной шириной сечения

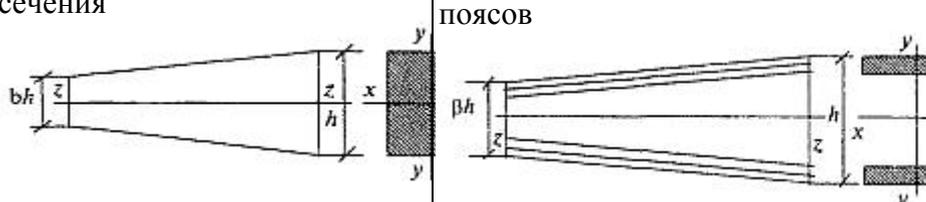
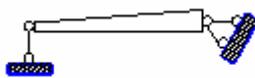
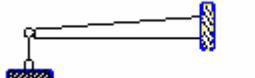
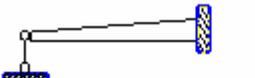
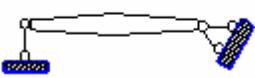
Условия опирания элементов	$k_{ж} N$ при проверке			
	элементов прямоугольного сечения		элементов двутаврового и коробчатого сечений с постоянной высотой поясов	
	В плоскости yz	В плоскости xz	В плоскости yz	В плоскости xz
				
	$(0,4 + 0,6\beta)\beta$	$0,4 + 0,6\beta$	β	L
				
	$0,07 + 0,93\beta$	$0,66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

Таблица 2

Значения коэффициентов k_ϕ и $k_{жМ}$ для расчетов на устойчивость плоской формы деформирования

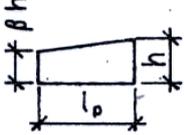
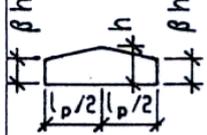
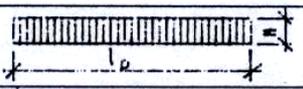
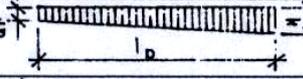
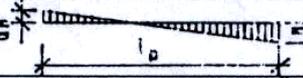
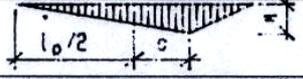
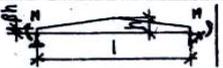
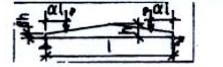
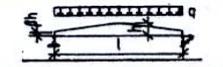
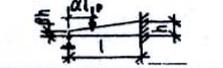
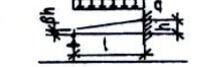
Форма эпюры моментов	k_ϕ		$k_{жМ}$	
	При закреплении только по концам участка l_p	При закреплении по концам и растянутой от момента M кромке		
	1	1	$\beta^{1/2}$	$\beta^{1/2}$
	$1,75-0,75d$; $0 < d \leq 1$	$\frac{3}{2+d}$; $0 \leq d \leq 1$	$\beta^{1/(3-d)}$	$\beta^{1/2}$
	$2-(0,5+d)^2$; $-1 \leq d \leq 0$	$\frac{3}{2+d}$; $-2 < d \leq 0$	$\beta^{1/(3-d)}$	$\beta^{1/2}$
	$1,35 + 1,45(C/l_p)^2$	$1,35 + 0,3(C/l_p)$	$\beta^{1/(2+2C/l_p)}$	$\beta^{1/(3-2C/l_p)}$
	1,13	1,13	$\beta^{1/2}$	$\beta^{2/5}$
	2,54	2,32	$\beta^{1/4}$	$\beta^{1/2}$

Таблица 3

Значения коэффициентов k и c для вычисления прогибов балок с учетом переменной сечения и деформаций сдвига

Поперечное сечение балки	Расчетная схема	k	c
Прямоугольное		β	0
То же		$0,23 + 0,77\beta$	$16,4 + 7,6\beta$
"		$0,5\alpha + (1-0,5\alpha)\beta$	$\frac{[45-24\alpha(1-\beta)+3\beta] \times 1}{3-4\alpha^2}$
"		$0,15 + 0,85\beta$	$15,4 + 3,8\beta$
Двуглавое		$0,4 + 0,6\beta$	$(45,3 + 6,9\beta)\gamma$
Прямоугольное		$0,23 + 0,77\beta + 0,6\alpha(1-\beta)$	$\frac{[8,2 + 2,4(1-\beta)\alpha + 3,8\beta] \times 1}{(2+\alpha)(1-\alpha)}$
То же		$0,35 + 0,65\beta$	$5,4 + 2,6\beta$

Графики для расчета фанерных стенок балок и плит

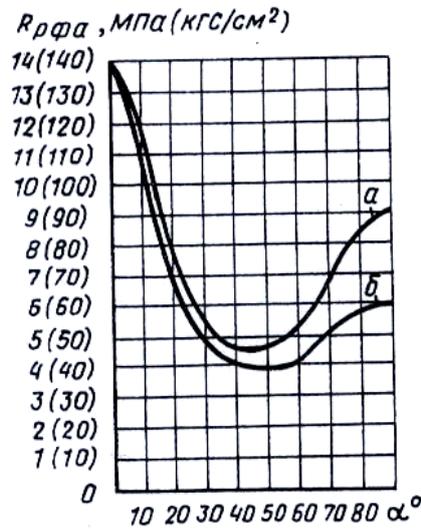


Рис. Б.1. Графики для определения расчетных сопротивлений при растяжении под углом к волокнам наружных слоев березовой фанеры марки ФСФ:
a – семислойная фанера; *b* – пятислойная фанера

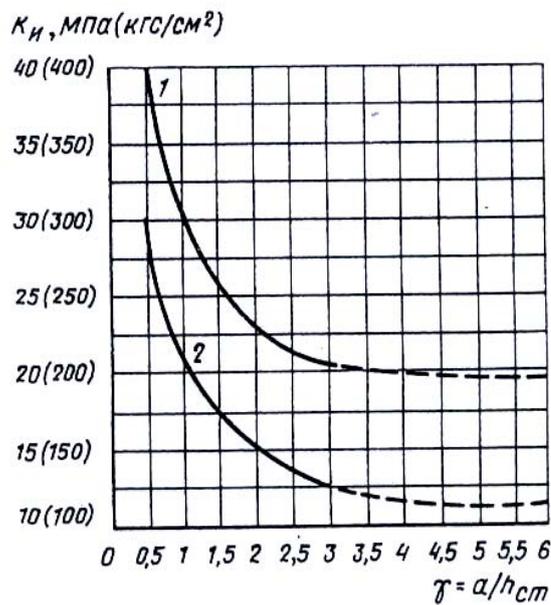


Рис. Б.2. Графики для определения коэффициента h_n при расположении волокон в наружных слоях фанеры вдоль пролета:
1 – для бакелизированной фанеры марок ФБС и ФБСВ толщиной 7 мм и более;
2 – для березовой фанеры марки ФСБ толщиной 8 мм и более.
 В выражении $\gamma = a/h_{ст}$ a – расстояние между ребрами жесткости балки;
 $h_{ст}$ – высота стенки между внутренними гранями полок

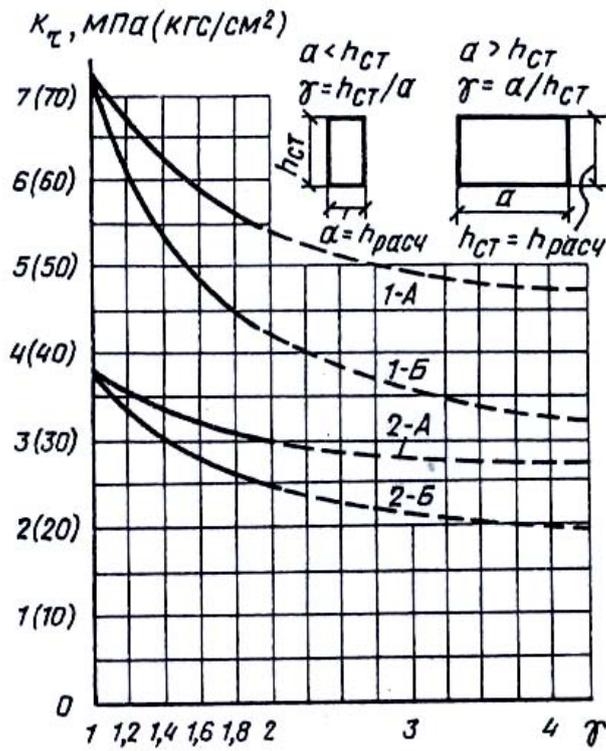


Рис. Б.3. Графики для определения k_{τ} :

1-A – для бакелизированной фанеры марок ФБС и ФБСВ толщиной 7 мм и более при направлении волокон наружных слоев параллельно малой стороне панели; *1-B* – для бакелизированной фанеры марок ФБС и ФБСВ толщиной 7 мм и более при направлении волокон наружных слоев перпендикулярно малой стороне панели; *2-A*, *2-B* – то же для березовой фанеры марки ФСФ толщиной 8 мм и более