

**ВОПРОСЫ ПЕРЕХОДА НА ЕВРОПЕЙСКИЕ НОРМЫ
ПРОЕКТИРОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**
(г. Минск, СФ БНТУ — 30.11.2010)

УДК 624.012.45

***НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ В СООТВЕТСТВИИ
С ТРЕБОВАНИЯМИ ЕВРОКОД 5***

НАЙЧУК А.Я.

Филиал РУП «Институт БелНИИС» НТЦ
Брест, Беларусь

ОСНОВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ДК

- Проектировать деревянные конструкции и гражданские сооружения на территории Республики Беларусь следует в соответствии с общепринятыми в Европейском Союзе стандартами, с учетом национальных приложений.
- основополагающими документами при проектировании деревянных конструкций и гражданских сооружений являются: ТКП EN 1990-2009 «Основы проектирования конструкций» - определяющий основы строительного проектирования; ТКП EN 1991-1-2009, Еврокод 1 «Воздействия на конструкции», включающий десять частей, рассматривающих воздействия, которые необходимо воспринять; ТКП EN 1995-2009, Еврокод 5 «Проектирование деревянных конструкций», который состоит из трех частей: ТКП EN 1995-1-1 Проектирование деревянных конструкций – Часть 1-1: Общие правила и правила для зданий; ТКП EN 1995-1-2 Проектирование деревянных конструкций – Часть 1-2: Общие положения – Проектирование с учетом огнестойкости и ТКП EN 1995-2 Проектирование деревянных конструкций – Часть 2: Мосты.

ВОЗДЕЙСТВИЯ И ВЛИЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Длительность действия нагрузки и влияние влажности на прочностные и жесткостные характеристики элементов из древесины и материалов на ее основе следует обязательно учитывать в расчетах на прочность и пригодность к эксплуатации. Следует также учитывать воздействия, вызванные изменением влажности древесины.

Классы длительности действия нагрузок

№	Класс воздействия нагрузки	Совокупная длительность воздействия нормативной нагрузки
1	Постоянные	Более чем 10 лет
2	Длительные	6 месяцев – 10 лет
3	Средней продолжительности	от 1 недели до 6 месяцев
4	Кратковременные	менее чем 1 неделя
5	Особые (мгновенные)	

№	Класс воздействия нагрузки	Примеры нагрузок
1	Постоянная	Собственный вес
2	Длительная	Складирование и накопление материалов
3	Средней продолжительности	Нагрузка на перекрытие, снеговые нагрузки
4	Кратковременная	Нагрузки при техническом обслуживании
4	Особая	Ветер и особые нагрузки

Классы эксплуатации

Сооружения подразделяются по одному из классов эксплуатации, приведенных ниже.

Классы эксплуатации	Характеристика условий эксплуатации конструкций	Максимальная влажность древесины для конструкций	
		из клееной древесины	из цельной
1	Внутри отапливаемых помещений при температуре 35 град С, относительной влажности воздуха, %:	до 60 включительно	20
		св. 60 до 75	20
		75 – 95	20
2	Внутри неотапливаемых помещений при относительной влажности воздуха, %:	до 75 включительно	20
		свыше 75	25
4	На открытом воздухе	12	25
4	В частях зданий и сооружений, соприкасающихся с грунтом	–	25
5	Постоянно увлажняемых, находящихся в воде	–	Не ограничивается

Применение клееных деревянных конструкций в условиях эксплуатации класса 1 при относительной влажности воздуха ниже 45% не допускается.

Расчетные значения свойств материалов

Расчетное значение X_d для прочностных характеристик рассчитывается как :

$$X_d = k_{mod} X_k \gamma_m, \quad (1)$$

где X_k – характеристическое значение прочностной характеристики;

k_{mod} – коэффициент модификации, учитывающий эффект длительности нагрузки и содержание влаги;

γ_m – частный коэффициент свойств материала.

Расчетные характеристики жесткости элемента E_d или G_d определяются как :

$$E_d = E_{mean} / \gamma_m, \quad (2)$$

$$G_d = G_{mean} / \gamma_m, \quad (3)$$

где E_{mean} – среднее значение модуля упругости;

G_{mean} – среднее значение модуля сдвига.

Сжимающее напряжение под углом к волокнам

$$f_{c,\alpha,d} = \frac{f_{c,0,d}}{k_{c,90} f_{c,90,d} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

Характеристические значения прочностных и упругих характеристик древесины

		Древесина хвойных пород и тополь										Древесина лиственных пород							
		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50	D30	D35	D40	D50	D60	D70
Показатели прочности (Н/мм ²)	Изгиб	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50	30	35	40	50	60	70
	Растяжение вдоль волок	$f_{t,0,k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30	18	21	24	30	36
Растяжение поперек волок	$f_{t,90,k}$	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,9
	Сжатие вдоль волок	$f_{c,0,k}$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29	23	25	26	29	32
Сжатие поперек волок	$f_{c,90,k}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2	8,0	8,4	8,8	9,7	10,5	13,5
	Сдвиг	$f_{v,k}$	1,7	1,8	2,0	2,2	2,4	2,5	2,8	3,0	3,4	3,8	3,8	3,8	3,0	3,4	3,8	4,6	5,3
Показатели жесткости (кН/мм ²)																			
Среднее значение модуля упругости вдоль волок	$E_{0,0,mean}$	7	8	9	9,5	10	11	11,	12	13	14	15	16	10	10	11	14	17	20
	5%-ная квантиль модуля упругости вдоль волок	$E_{0,0,5}$	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	8,0	8,0	8,7	9,4	10,0	10,7	8,0	8,7	9,4	11,8	14,3
Среднее значение модуля упругости поперек волок	$E_{90,mean}$	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53	0,64	0,69	0,75	0,93	1,13	1,33
	G_{mean}	0,44	0,50	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00	0,60	0,65	0,70	0,88	1,06	1,25
Плотность (кг/м ³)																			
Среднее значение плотности	ρ_d	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460	530	560	590	650	700	900
	ρ_{mean}	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550	640	670	700	780	840	1080

Формулы для определения нормативных значений древесины в соответствии с СТБ EN 338.

Для определения указанных в таблице нормативных значений, кроме прочности при изгибе, среднего значения модуля упругости при изгибе и плотности применяют следующие формулы :

Прочность при растяжении вдоль волокон

■ Прочность при сжатии вдоль волокон

■ Прочность при сдвиге

■ Прочность при растяжении поперек волокон

■ Прочность при сжатии поперек волокон:

■ для хвойных пород древесины

■ для лиственных пород древесины

■ Модуль упругости вдоль волокон:

■ для хвойных пород древесины

■ для лиственных пород древесины

■ Среднее значение модуля упругости поперек волокон:

■ для хвойных пород древесины

■ для лиственных пород древесины

Среднее значение модуля сдвига

$$f_{t,0,k} = \begin{cases} 3,8 \\ 0,2(f_{m,k})^{0,8} \end{cases}$$

$$f_{t,0,k} = 0,6 f_{m,k}$$

$$f_{c,0,k} = 5(f_{m,k})^{0,45}$$

$$f_{t,90,k} = \min \left\{ \begin{matrix} 0,6 \\ 0,0015 k \end{matrix} \right.$$

$$f_{c,90,k} = 0,007 \rho_k$$

$$f_{c,90,k} = 0,015 \rho_k$$

$$E_{0,05} = 0,67 E_0$$

$$E_{0,05} = 0,84 E_0$$

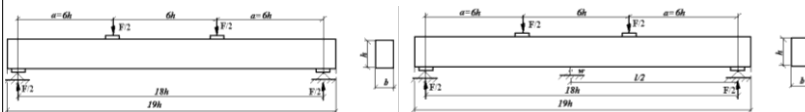
$$E_{90,mean} = E_{0,mean}/30$$

$$E_{90,mean} = E_{0,mean}/15$$

$$G_{mean} = \frac{E_{0,mean}}{16}$$

Определение некоторых физических и механических свойств древесины по СТБ EN 408.

Схема испытаний образцов по определению прочности и модуля упругости древесины при изгибе.



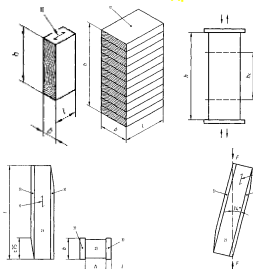
Определение прочности при растяжении и сжатии поперек волокон древесины

Размеры испытываемых образцов строительной древесины или клееной многослойной древесины

Характеристики образца		Клееная многослойная древесина			
Строительная древесина			Объем	в минимум	
V (мм)	h (мм)	l (мм)	b × l (мм ²)	b (мм)	h (мм)
Растяжение					
45	180	70	0,01 м ²	25000	100 400
Сжатие					
45	90	70	-	25000	100 200

Обозначения приведены в разделе 4.

Допустимое отклонение размеров испытываемого образца b, h и l должно составлять 1%.



Характеристические значения прочностных и упругих характеристик клееной древесины

Характеристические свойства прочности, жесткости в Н/мм² и плотности в кг/м³ в соответствии с СТБ EN1194 (для однородной клееной древесины)

Класс прочности клееной древесины	$f_{v,g,k}$	GL 24ч	GL 28ч	GL 32 ч	GL 36 ч
Прочность при изгибе	$f_{m,g,k}$	24	28	32	36
Прочность при растяжении	$f_{t,D,g,k}$	16,5	19,5	22,5	26
	$f_{t,90,g,k}$	0,4	0,45	0,5	0,6
Прочность при сжатии	$f_{c,D,g,k}$	24	26,5	29	31
	$f_{c,90,g,k}$	2,7	3,0	3,3	3,6
Прочность при сдвиге	$f_{v,g,k}$	2,7	3,2	3,8	4,3
Модуль упругости	$E_{0,g,min}$	11 600	12 600	13 700	14 700
	$E_{0,g,05}$	9 400	10 200	11 100	11 900
	$E_{90,g,min}$	390	420	460	490
Модуль сдвига	$G_{g,min}$	720	780	850	910
Плотность	$\rho_{k,k}$	380	410	430	450

Характеристические значения прочностных и упругих характеристик древесины

Характеристические свойства прочности, жесткости в Н/мм² и плотности в кг/м³ в соответствии с СТБ EN 1194 (для комбинированной клееной древесины)

Класс прочности клееной древесины		GL 24ч	GL 28ч	GL 32 ч	GL 36 ч
Прочность при изгибе	$f_{m,g,k}$	24	28	32	36
Прочность при растяжении	$f_{t,D,g,k}$	14	16,5	19,5	22,5
	$f_{t,90,g,k}$	0,35	0,4	0,45	0,5
Прочность при сжатии	$f_{c,D,g,k}$	21	24	26,5	29
	$f_{c,90,g,k}$	2,4	2,7	3,0	3,3
Прочность при сдвиге	$f_{v,g,k}$	2,2	2,7	3,2	3,8
Модуль упругости	$E_{0,g,min}$	11 600	12 600	13 700	14 700
	$E_{0,g,05}$	9 400	10 200	11 100	11 900
	$E_{90,g,min}$	320	390	420	460
Модуль сдвига	$G_{g,min}$	590	720	780	850
Плотность	$\rho_{k,k}$	350	380	410	430

Примеры формирования пакетов древесины клееной слоистой

Примеры наслаиваний балок, свойства слоев

Классы прочности клееной древесины	GL 24	GL 28	GL 32	GL 36
Однородная клееная древесина:				
Прочность при растяжении, в Н/мм ² $f_{t,0,г,к}$	14,5	18	22	26
Модуль упругости при растяжении, в Н/мм ² $E_{0,г,массив}$	11 000	12 000	13 000	14 000
Плотность, в кг/м ³ *) $\rho_{г,к}$	350	370	390	410
Комбинированная клееная древесина: **)				
Прочность при растяжении, в Н/мм ² $f_{t,0,г,к}$	14,5/11	18/14,5	22/18	26/22
Модуль упругости при растяжении, в Н/мм ² $E_{0,г,массив}$	11 000/9 000	12 000/11 000	13 000/12 000	14 000/13 000
Плотность, в кг/м ³ *) $\rho_{г,к}$	350/320	370/350	390/370	410/390
*) Значения плотности являются индикативными свойствами.				
**) Требуемые свойства для комбинированной клееной древесины приведены для внешних/внутренних слоев.				

Примеры наслаиваний балок, классы прочности слоев в соответствии с СТБ EN 338

Классы прочности клееной древесины	GL 24	GL 28	GL 32
Однородная клееная древесина	C24	C30	C40
Комбинированная клееная древесина: внешние/внутренние слой	C24/C18	C30/C24	C40/C30

Значения частных коэффициентов свойств для древесины сосны и ели, γ_m

Напряженное состояние и характеристика элементов	Классы прочности		
	C28	C24	C16
1 Изгиб, сжатие и смятие вдоль волокон:			
а) элементы из пиломатериалов шириной сечения $b \leq 0,13$ м для элементов брусчатых и клееных;	1,22	1,22	1,25
б) шириной $b > 0,13$ м ;	1,15	1,15	1,14
с) из круглых лесоматериалов.	-	1,15	1,14
2 Растяжение вдоль волокон:			
а) элементы из цельной древесины;	1,32	1,4	-
б) элементы из клееной древесины.	1,27	1,25	-
3 Сжатие и смятие по всей площади поперек волокон	1,25	1,25	1,25
4 Смятие поперек волокон местное:			
а) в опорных частях конструкции, лобовых врубках и узловых примыканиях элементов ;	1,25	1,25	1,25
б) под шайбами при углах смятия от 90° до 60°.	1,25	1,25	1,25
5 Скальвание вдоль волокон:			
а) при изгибе неклееных элементов;	1,3	1,3	1,3
б) при изгибе клееных элементов;	1,3	1,3	1,3
с) в лобовых врубках для максимального напряжения	1,3	1,3	1,3
6 Скальвание поперек волокон	1,35	1,35	1,35
7 Растяжение поперек волокон	1,5	1,5	1,5
8 Растяжение под углом 45° к направлению волокон	1,4	1,4	1,4
9 Срез под углом к волокнам 45° и 90°	1,4	1,4	1,4

Значения коэффициентов модификации, k_{mod}

Материал	Стандарт	Класс эксплуатации	Классы длительности действия				Особое
			Постоянное	Длительное			
					снеговое	ветровое	
Цельная и клееная древесина, фанера	СТБ 1711 - СТБ 1714, СТБ 1722, ГОСТ 1147, ГОСТ 3916.1, ГОСТ 3916.2, ГОСТ 11539	1	0,55	0,65	0,80	0,80	0,95
		2	0,55	0,65	0,80	0,80	0,95
		3	0,50	0,55	0,70	0,70	0,85
		4	0,45	0,50	0,65	0,65	0,80
		5	0,40	0,45	0,60	0,60	0,75
ДВПс	ТУ 13-444	1	0,45	0,50	0,55	0,65	0,80
		2	0,30	0,35	0,40	0,45	0,55
		3	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45
		4	0,15	0,20	0,23	0,25	0,30
ДСПК	ГОСТ 10632	1	0,45	0,50	0,55	0,65	0,80
		2	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45
ДСПФ	ГОСТ 10632	1	0,45	0,50	0,55	0,65	0,80
		2	0,35	0,40	0,45	0,50	0,65
		3	0,15	0,20	0,23	0,25	0,30
ЦСП	ГОСТ 26816	1	0,50	0,60	0,65	0,75	0,90
		2	0,45	0,55	0,60	0,65	0,80
		3	0,35	0,40	0,45	0,50	0,65
		4	0,30	0,35	0,40	0,45	0,55

Значения коэффициентов

Таблица 1 Коэффициенты, используемые в ТКП EN 1995-1-1 для учета влияния размера элемента на характеристические значения свойств прочности

Обозначение коэффициента	Назначение коэффициента	Характеристическое свойство	Соответствующий раздел в ТКП EN 1995-1-1
k_H	Корректирует характеристическую прочность при изгибе и/или растяжении вдоль волокон, с целью учета влияния размера элемента, когда размер меньше исходного размера, приведенного в ТКП EN 1995-1-1	$f_{m,k}$ $f_{t,0,k}$	Цельная древесина 3.2(3); древесина клееная многослойная 3.3(3); брус на основе клееного шпона (LVL) 3.4(3); Цельная древесина 3.2(3); древесина клееная многослойная 3.3(3).
k_l	Корректирует характеристическую прочность при растяжении, вдоль волокон бруса на основе клееного шпона, с целью учета влияния длины элемента, когда длина меньше исходной длины, приведенной в ТКП EN 1995-1-1	$f_{t,0,k}$	Брус на основе клееного шпона, 3.4(4).

$$X_d = k_H k_{mod} X_k / \gamma_m$$

$$X_d = k_l k_{mod} X_k / \gamma_m$$



Коэффициент (k_l) согласно ТКП EN для многослойных клееных деревянных балок при изгибе и растяжении

Значения коэффициентов

Таблица 2 Значения K_{fl} , K_t , K_{vol} и K_{dis} *

Материал	Коэффициент	Определение/условия	Характеристическое значение
Цельная древесина	При изгибе и растяжении: $k_s = \min \left\{ \left(\frac{150}{h} \right)^{0,2} \text{ или } 1,3 \right\}$	Характеристическая плотность <math>< 700 \text{ кг/м}^3</math> (1) Изгиб: исходная высота $h = 150 \text{ мм}$ (2) Растяжение: исходная ширина (максимальный размер поперечного сечения) $h = 150 \text{ мм}$.	(1) Прочность при изгибе: = $K_{fl,ik}$ (2) Прочность при растяжении вдоль волокон: = $K_{fl,ok}$
Древесина клееная многослойная	При изгибе и растяжении, и распределении напряжения: $k_s = \min \left\{ \left(\frac{600}{h} \right)^{0,2} \text{ или } 1,1 \right\}$ В верхней части балки двускатной, изогнутой и наклонной криволинейной балки, все слои которой параллельны оси балки: $k_{vol} = \left(\frac{V_0}{V} \right)^{0,2}$ В верхней части балки двускатной и изогнутой балки: $K_{dis} = 1,4$ В верхней части наклонной криволинейной балки: $K_{dis} = 1,7$	Для оценки K_t (1) Изгиб: исходная высота $h = 600 \text{ мм}$. (2) Растяжение: исходная ширина (максимальный размер поперечного сечения) $h = 600 \text{ мм}$. Для оценки коэффициента объема K_{vol} (3) Растяжение: исходный объем $V_0 = 0,01 \text{ м}^3$. Объемом верхней части под напряжением (в м^3), как установлено в ТКП EN 1995-1-1, рисунок 6.9, является V (см. рисунок 6.7). (Примечание: значение V не должно превышать $2V_0/3$, где V_0 – объем балки).	(1) Прочность при изгибе: = $K_{fl,ik}$ (2) Прочность при растяжении вдоль волокон: = $K_{fl,ok}$ (3) Прочность при растяжении поперек волокон: = $K_{dis} K_{vol} K_{t,0,0}$
Брус на основе клееного шпона (LVL)	При изгибе в плоскости l , растяжение и распределение напряжения: $k_s = \min \left\{ \left(\frac{300}{h} \right)^{0,2} \text{ или } 1,2 \right\}$ Для длины: $k_t = \min \{ (3000/l)^2 \text{ или } 1,1 \}$ В верхней части балки двускатной, изогнутой и наклонной криволинейной балки, все слои которой параллельны оси балки: $k_{vol} = \left(\frac{V_0}{V} \right)^{0,2}$ В верхней части балки двускатной, изогнутой и наклонной криволинейной балки значения K_{dis} аналогичны значениям для клееных балок	Для оценки K_0 (1) Экспоненту s влияния размера получают из СТБ EN 14374: $s = 2(c_{1,1}) - 0,25$, где $c_{1,1}$ – коэффициент вариации результатов испытаний. (2) Изгиб: исходная высота $h = 300 \text{ мм}$. Для оценки K_t (1) Растяжение: исходная длина $l = 3000 \text{ мм}$, и s соответствует значению, установленному для K_0 . Для оценки K_{vol} (1) Растяжение: исходный объем $V_0 = 0,01 \text{ м}^3$. Объемом верхней части под напряжением (в м^3), как установлено в ТКП EN 1995-1-1, рисунок 6.9, является V (см. рисунок 6.7). (Примечание: значение V не должно превышать $2V_0/3$, где V_0 – объем балки).	(1) Прочность при изгибе: = $K_{fl,ik}$ (1) Прочность при растяжении вдоль волокон: = $K_{fl,ok}$ (1) Прочность при растяжении поперек волокон: = $K_{dis} K_{vol} K_{t,0,0}$

Значения коэффициентов

Таблица 3 Распространенные коэффициенты преобразования, установленные в ТКП EN 1995-1-1, оказывающие влияние на расчетные значения

Обозначение коэффициента	Функция коэффициента	Подверженное влиянию свойство или коэффициент напряжения	Соответствующий(ие) раздел(ы) в ТКП EN 1995-1-1
K_m	Учитывает перераспределения напряжений, когда сечение подвержено изгибу вокруг оси $y-y$ и оси $z-z$ и подвержено напряжению за пределами предела упругости. Также учитывает изменение прочности материала сечения элемента.	$\frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}}$	6.1.6(2)
K_{vol}	Корректирует расчетную прочность при растяжении, поперек волокон клееной древесины и бруса на основе клееного шпона, когда объем под напряжением в верхней части двускатной балки, криволинейной балки или балки с начальным выгибом превышает исходный объем, установленный в ТКП EN 1995-1-1.	$f_{t,90,d}$	3.3(5), 3.4(7), 6.4.3(6), 6.4.3(7)
K_{dis}	Корректирует расчетную прочность при растяжении, поперек волокон клееной древесины и бруса на основе клееного шпона в верхней части двускатной балки, криволинейной балки или балки с начальным выгибом	$f_{t,90,d}$	6.4.3(6), 6.4.3(7)
K_{crit}	Учитывает влияние бокового выпучивания при кручении, уменьшая расчетную прочность элемента при изгибе вокруг оси $y-y$, когда относительный коэффициент гибкости при изгибе составляет $\geq 0,75$.	$f_{m,y,d}$	6.3.3(3)
K_{cy}, K_{cz}	Учитывает влияние осевой неустойчивости, уменьшая расчетную прочность элемента при осевом сжатии, когда относительный коэффициент гибкости вокруг оси $y-y$ (для k_y) и/или оси $z-z$ (для k_z) составляет $\geq 0,3$.	$f_{c,0,d}$	6.3.2
$K_{c,90}$	Увеличивает прочность конструкций из древесины или древесных материалов при сжатии поперек волокон	$f_{c,90,d}$	6.1.5
K_v	Учитывает влияние подрезки на прочность элемента при сдвиге.	$f_{v,d}$	6.5.2
K_{sys}	Увеличивает свойства прочности элемента, когда несколько аналогичных элементов, узлов или компонентов равномерно распределены и связаны с помощью системы непрерывного распределения нагрузки, способной передавать нагрузку между соседними элементами.	Все свойства прочности элемента в системах перераспределения нагрузки	6.6