

---

## Определение толщины перекрытия из перекрестно-клееных досок на примере CLT-плит Binderholz (Austria) из условия жесткости

*М.В. Змеев*

*Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону*

**Аннотация:** В статье описывается материал CLT (англ. Cross-Laminated Timber) – перекрестно клееная древесина, который используется для изготовления плит перекрытий. Производится расчет требуемой толщины перекрытия из условия жесткости под нагрузкой  $2,4 \text{ кН/м}^2$  для различных пролетов.

**Ключевые слова:** CLT, Cross-Laminated Timber, перекрестно-клееная древесина, деревянные конструкции, перекрытие, жесткость, прогиб.

История применения древесины в строительстве насчитывает много веков, а в начале XX в. развитие деревянных конструкций получило новый мощный импульс – производство клееных деревянных конструкций [1].

Перекрестно-клееная древесина (CLT) – инновационный материал, разработанный австрийскими и немецкими инженерами и набирающий популярность в строительстве как жилых, так и нежилых зданий [2]. Здания, уже построенные по всему миру, демонстрируют большое количество преимуществ плит из перекрестно-клееной древесины, как конструкционного материала [3].

Главная особенность материала – направление волокон каждого последующего слоя ламелей перпендикулярно направлению волокон предыдущего слоя (рис. 1). Главным направлением чаще всего считают направление волокон наружного слоя.

Наиболее распространены 3, 5, 7-слойные панели. Толщины слоев могут варьироваться и могут не быть одинаковыми для всех слоев. Используются ламели преимущественно хвойных пород толщиной от 20 до 80 мм и шириной от 80 до 250 мм. Основными используемыми клеевыми составами для CLT являются полиуретановые клеи [4-6].

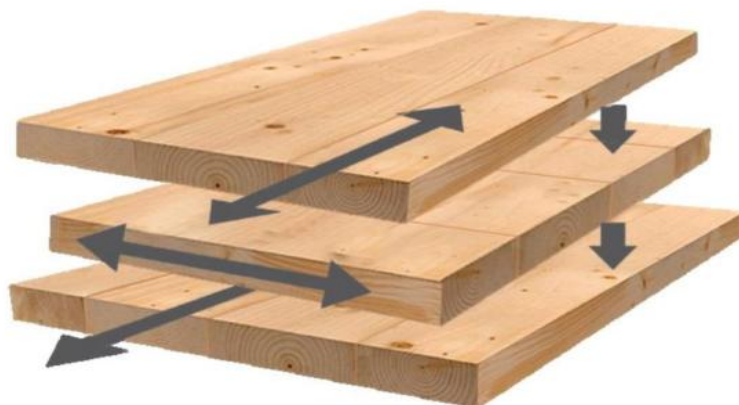


Рис. 1. – расположение ламелей в CLT

Сечение элемента, по которому ведется расчет, называют расчетным или эффективным сечением. Для него вычисляется эффективный момент инерции [7]. Наиболее подходящим методом для расчета жесткости CLT является метод аналогии сдвига. Многослойное поперечное сечение представляют в виде условных балок А и В [8], дифференциация на балки показана на рис. 2.



Рис. 2. – дифференциация на балки по методу аналогии сдвига

Балку А представляют, как сумму прочностей на изгиб всех слоев CLT, а балку В – как точки Штейнера, которые обладают прочностью на сдвиг. Эти две балки соединяются с помощью жестких вставок. Таким образом достигаются равные перемещения балок А и В.

Жесткость балки А определяется по формуле (1):

$$B_A = \sum_{i=1}^n E_i \cdot I_i = \sum_{i=1}^n E_i \cdot b_i \cdot \frac{h_i^3}{12}, \quad (1)$$

где  $b_i$  – ширина слоя, принимается 1 м;  $h_i$  – толщина слоя;  $E_i$  – модуль упругости.

Жесткость балки  $B$  определяется по теореме Штейнера по формуле (2):

$$B_B = \sum_{i=1}^n E_i \cdot A_i \cdot z_i^2, \quad (2)$$

где  $z_i$  – расстояние между центрами отдельных слоев и нейтральной осью сечения;  $A_i$  – площадь сечения  $i$ -го слоя;  $E_i$  – модуль упругости.

Расчетная жесткость сечения на изгиб определяется по формуле (3):

$$(EI)_{ef} = B_A + B_B = \sum_{i=1}^n E_i \cdot b_i \cdot \frac{h_i^3}{12} + \sum_{i=1}^n E_i \cdot A_i \cdot z_i^2, \quad (3)$$

Далее на шарнирно-опертое по двум сторонам перекрытие задается равномерно распределенная нагрузка  $q = 2,4$  кН/м<sup>2</sup> и по формуле (4) определяется максимальный прогиб [9]:

$$f = \frac{f_0}{k} \cdot \left[ 1 + c \cdot \left( \frac{h}{l} \right)^2 \right], \quad (4)$$

где  $f_0 = \frac{5ql^4}{384EI}$  – величина прогиба без учета деформаций сдвига;  $k$  – коэффициент, учитывающий влияние переменности высоты сечения, принимается равным 1 для постоянного сечения;  $c$  – коэффициент, учитывающий влияние деформаций сдвига от поперечной силы;  $h$  – высота сечения;  $l$  – пролет.

Binderholz используют древесину двух классов прочности: С24 – в главных слоях, С16 – в побочных. Значения модулей упругости  $E_x$  для них равны 12000 и 8000 МПа соответственно. Так как кромки досок не проклеены,  $E_y = 0$  [10]. Доски для отдельного слоя применяют толщиной от 20 до 40 мм. Прогибы определяются для перекрытий пролетом 4; 6; 8; 10; 12 м, состоящих из трех, пяти, семи и девяти слоев различной толщины.

Нормативные предельно-допустимые прогибы (СП 20.13330.2016) для каждого из пролетов и результаты вычисления фактических значений прогибов нагруженного перекрытия приведены в табл. 1. Фактическое значение прогиба сравнивается с предельно-допустимым. При неудовлетворительном значении прогиба для данной величины пролета, прогиб для большего пролета не вычислялся.

Таблица № 1

Нормативные и фактические значения прогибов

Пролет $l$ , м	4	6	8	10	12
Предельный прогиб $[f]$ относительно пролета	$l / 167$	$l / 200$	$l / 217$	$l / 233$	$l / 250$
Предельный прогиб $[f]$ , мм	24	30	37	43	48
3-слойная CLT-плита, толщина	Прогиб $f$ , мм				
60 мм	54,3 (-)	—	—	—	—
80 мм	21,6	106,4 (-)	—	—	—
90 мм	14,1	69,2 (-)	—	—	—
100 мм	10,5	51 (-)	—	—	—
120 мм	6,6	31,3 (-)	—	—	—
5-слойная CLT-плита, толщина	Прогиб $f$ , мм				
100 мм	12,7	52,4 (-)	—	—	—
120 мм	8,7	34,2 (-)	—	—	—
140 мм	4,5	21,2	65,6 (-)	—	—
150 мм	2,9	13,9	43,1 (-)	—	—
160 мм	2,5	11,7	36,2	87,3 (-)	—
180 мм	1,9	8,9	27,3	65,7 (-)	—
200 мм	1,6	7,1	21,4	51,2 (-)	—
7-слойная CLT-плита, толщина	Прогиб $f$ , мм				
220 мм	1,1	4,7	14,1	33,6	68,7 (-)
240 мм	0,9	3,9	11,5	27,2	55,4 (-)
9-слойная CLT-плита, толщина	Прогиб $f$ , мм				

---

---

260 мм	0,7	2,9	8,7	20,7	42,4
--------	-----	-----	-----	------	------

Исходя из результатов вычислений, при данной нагрузке на CLT-перекрытие рекомендуется назначать его толщину согласно табл. 2.

Таблица № 2

Рекомендуемая толщина CLT-перекрытия

Пролет $l$ , м	4	6	8	10	12
Толщина перекрытия, мм	80-140	140-180	160-200	200-260	от 260

### Литература

1. Ковальчук Л.М. Производство деревянных клееных конструкций. РИФ Стройматериалы, 2005. 330 с.
2. Шогенов С.Х., Балов А.А., Афашагов Б.З. Новые конструкции универсальных панелей зданий. Инженерный вестник Дона, 2016, №2. URL: [ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_18\\_shogenov\\_balov.pdf\\_fb3a2e9b32.pdf](http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_18_shogenov_balov.pdf_fb3a2e9b32.pdf)
3. Емельяненко Д.А. Конструкции полносборного энергоэффективного индивидуального жилого дома с деревянным каркасом. Инженерный вестник Дона, 2018, №2. URL: [ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_58\\_Emelyanenko.pdf\\_6e48cb7c45.pdf](http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_58_Emelyanenko.pdf_6e48cb7c45.pdf)
4. Gangnon, S., Pirvu, C. CLT Handbook: cross-laminated timber. Quebec: FPInnovations, 2011, 626 с.
5. EN 16351:2015 Timber structures. Cross laminated timber. Requirements. CEN, 2015. 108 с.
6. The CLT Handbook. Stockholm: Swedish Wood, 2019. 188 с.
7. Шелофаст В.В., Черных А.Г. Расчет несущих элементов деревянных конструкций. Томск: Издательство ТГАСУ, 2013. 136 с.

8. EN 1995-1-1 Eurocode 5: Design of timber structures. Part 1-1: General Common rules and rules for buildings. CEN, 2014. 121 с.

9. Гиясов Б.И., Запруднов В.И., Стриженко В.В., Серёгин Н.Г. Конструкции из древесины и пластмасс. АСВ, 2017. 582 с.

10. Серов Е.Н. Проектирование деревянных конструкций. Издательство АСВ, 2015. 536 с.

### References

1. Koval'chuk L.M. Proizvodstvo derevyannykh kleenykh konstruktsiy [Production of wooden glued structures]. RIF Stroymaterialy, 2005. 330 p.

2. Shogenov S.H., Balov A.A., Afashagov B.Z. Novye konstruktsii universal'nykh paneley zdaniy. Inzhenernyj vestnik Dona, 2016, №2. URL: [ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_18\\_shogenov\\_balov.pdf\\_fb3a2e9b32.pdf](http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_18_shogenov_balov.pdf_fb3a2e9b32.pdf)

3. Emel'yanenko D.A. Konstruktsii polnosbornogo energoeffektivnogo individual'nogo zhilogo doma s derevyannym karkasom. Inzhenernyj vestnik Dona, 2018, №2. URL: [ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_58\\_Emelyanenko.pdf\\_6e48cb7c45.pdf](http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_58_Emelyanenko.pdf_6e48cb7c45.pdf)

4. Gangnon, S., Pirvu, C. CLT Handbook: cross-laminated timber. Quebec: FPInnovations, 2011, 626 p.

5. EN 16351:2015 Timber structures. Cross laminated timber. Requirements. CEN, 2015. 108 p.

6. The CLT Handbook. – Stockholm: Swedish Wood, 2019. – 188 p.

7. Shelofast V.V., Chernykh A.G. Raschet nesushchikh elementov derevyannykh konstruktsiy [Calculation of load-bearing elements of wooden structures]. Tomsk: Izdatel'stvo TGASU, 2013. 136 p.

8. EN 1995-1-1 Eurocode 5: Design of timber structures. Part 1-1: General Common rules and rules for buildings. CEN, 2014. 121 p.



9. Giyasov B.I., Zaprudnov V.I., Strizhenko V.V., Seregin N.G. Konstruktsii iz drevesiny i plastmass [Wood and plastic structures]. ASV, 2017. 582 p.
10. Serov E.N. Proektirovanie derevyannykh konstruktsiy [Design of wooden structures]. Izdatel'stvo ASV, 2015. 536 p.