

УДК 624.011.1

## Оценка прочности ПКД панелей при растяжении поперек волокон

**Фурсов В. В.**, д-р. техн. наук, **Бидаков А. Н.**, канд. техн. наук,  
**Распопов Е. А.**

Харьковский национальный университет строительства и архитектуры

**Аннотация:** Прочность поперечной клееной древесины или CLT при растяжении поперек волокон впервые определена при испытании образцов с ранее предложенными размерами и схемой проведения испытаний, основанных на анализе аналогичных испытаний цельной и клееной древесины. Данная характеристика прочности сегодня крайне актуальна и необходима при выполнении расчетов и конструирования изогнутых ПКД панелей, где возникает растяжение поперек волокон в зоне максимальной кривизны. Также растяжение поперек волокон возникает в ряде решений узловых нагельных соединений и в местах расположения монтажных креплений ПКД панелей при их монтаже. В статье проанализированы различные параметры, влияющие на величину значений прочности как цельной, так и клееной древесины. Полученные результаты прочности образцов и предложенная схема испытаний рассматривается как возможная для включения в стандарт EN 16351. Предложенная методика выполнения испытаний предусматривает учет структурных особенностей ПКД панелей, к которым относятся щели между досок и компенсационные пропилы, которые образуют ослабленное рабочее сечение и как следствие сниженное значение площади.

**Ключевые слова:** поперечная клееная древесина (ПКД), растяжение поперек волокон, CLT, EN 16351, размеры образцов, методика проведения испытаний.

**Введение.** Поперечная клееная древесина (ПКД), или CLT (Cross laminated timber), производится в виде панелей толщиной от 90 мм до 400 мм, шириной до 3 м, длиной до 13 м и активно используется в жилом строительстве. Здания из ПКД панелей могут достигать 17 этажей. Высокая популярность данного материала в Европейских странах, а также Канаде и Австралии, обусловлена выполненными многочисленными исследованиями прочности ПКД панелей при различных видах напряженных состояний и различными исследованиями узловых соединений, что позволило включить ПКД в нормативные документы по проектированию деревянных конструкций ведущих европейских стран. Одним из открытых вопросов, требующих предложений и исследований, является метод оценки прочности при растяжении поперек волокон. Величина прочности ПКД при растяжении поперек волокон необходима при выполнении проверок прочности изогнутых панелей, где в вершине кривизны возникают растягивающие напряжения поперек волокон, а также для выполнения проектных усилений узловых соединений.

Прочность цельной и клееной древесины при растяжении поперек волокон является самой малой прочностной характеристикой. Согласно указаниям отечественных национальных норм и традиций проектирования деревянных конструкций рекомендуется избегать конструктивных решений, при которых возникает растяжение поперек волокон. Еврокод 5, немецкие национальные нормы и австрийские национальные нормы по проектированию деревянных конструкций допускают ситуации, при которых элементы конструкций нагружены силами, вызывающими растяжение поперек волокон. Кроме того, западноевропейские страны в своих нормах предусматривают различные мероприятия по конструированию узлов такого типа. Как правило, компоновка узлов выполняется с использованием шурупов больших длин.

Прочность древесины при растяжении поперек волокон зависит от ряда факторов, таких как плотность, ориентация годовых колец в поперечном сечении и объем образца при испытаниях. На сегодняшний день принято решение не учитывать зависимость величины прочности при растяжении поперек волокон от величины плотности древесины. Согласно EN 338:2016 [1], характеристическое значение прочности цельной древесины хвойных пород всех классов прочности составляет  $0,4 \text{ Н/мм}^2$ , а для клееной древесины, согласно EN 14080:2013 [2], составляет  $0,5 \text{ Н/мм}^2$ , также для всех классов прочности.

Прочность при растяжении поперек волокон в старых редакциях европейских стандартов для цельной древесины, таких как EN 384:1995 и EN 338:2003, а также, согласно отмененному стандарту для клееной древесины EN 1194:1999, связана с плотностью древесины, и определяется по формулам (1)–(3):

$$\text{EN 384:1995} \quad f_{t,90,k} = 0,001 \cdot \rho \quad (1)$$

$$\text{EN 338:2003} \quad f_{t,90,k} = \min \begin{cases} 0,6 \\ 0,0015 \cdot \rho_k \end{cases} \quad (2)$$

$$\text{EN 1194:1999} \quad f_{t,90,g,k} = 0,2 + 0,015 \cdot f_{t,0,1,k} \quad (3)$$

где  $f_{t,90,g,k}$  и  $f_{t,0,1,k}$  – прочность клееной древесины поперек волокон, соответствующая объему образца  $V_0=0,01\text{м}^3$ , согласно EN 1193 и EN 14080:2013, и прочность при растяжении вдоль волокон [6].

Прочность клееной древесины приведена для образцов объемом  $V_0$ , который используется при проверке прочности коньковой зоны изогнутых балок, двускатных балок с прямой и изогнутой нижней гранью, согласно Еврокоду 5.

**Материалы и методы.** Исследуемый образец при испытаниях растяжения поперек волокон может крепиться к металлическим пластинам как через промежуточную древесину, в которой направление волокон направлено вдоль действующей силы, так и непосредственно к металлическим пластинам, как показано на рис. 1. Геометрические параметры образца из цельной древесины, согласно действующему стандарту EN 408:2010 [4], составляют  $45 \times 70 \times 180$  мм, а для клееной древесины высота составляет 400 мм и площадь поперечного сечения –  $2500 \text{ мм}^2$ , при условии, что ширина должна быть не менее 100 мм.

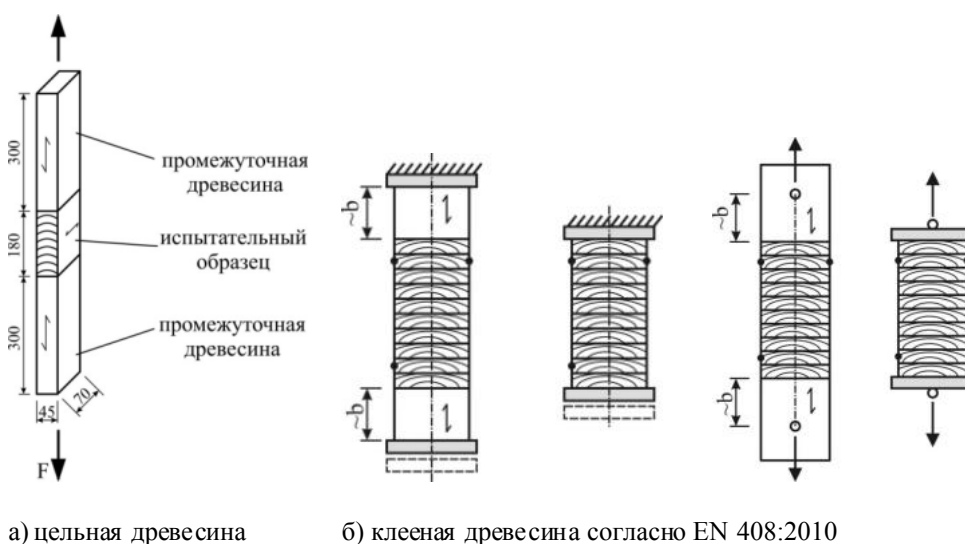


Рис. 1. Методы испытания цельной и клееной древесины

Предложения по методам испытаний ПКД панелей при растяжении поперек волокон сформулированы одним из авторов статьи и опубликованы в техническом отчете исследования, выполненного в рамках гранта Европейского комитета COST Action FP1402 «Basis of Structural Timber Design» - from research to standards (COST Action FP1402 «Основы расчета деревянных конструкций» – от исследований к стандартам) в октябре 2016 г. На основании анализа большого количества работ, касающихся исследований цельной и клееной древесины при растяжении поперек волокон, сформулированные рекомендации технического отчета [8] выполнены в лаборатории Карлсруэ (KIT) под руководством проф. Бласса с учетом приоритетных тенденций, которые положены в основу методов испытаний ПКД панелей согласно стандарту EN 16351:2015 [3]. Размеры испытываемых образцов (рис. 2 б) согласованы со специалистами второй рабочей группы (WG2) Европейского комитета по нормированию деревянных конструкций

COST Action FP 1402 на робочем засіданні в марці 2017 года в г. Загреб (Хорватія).

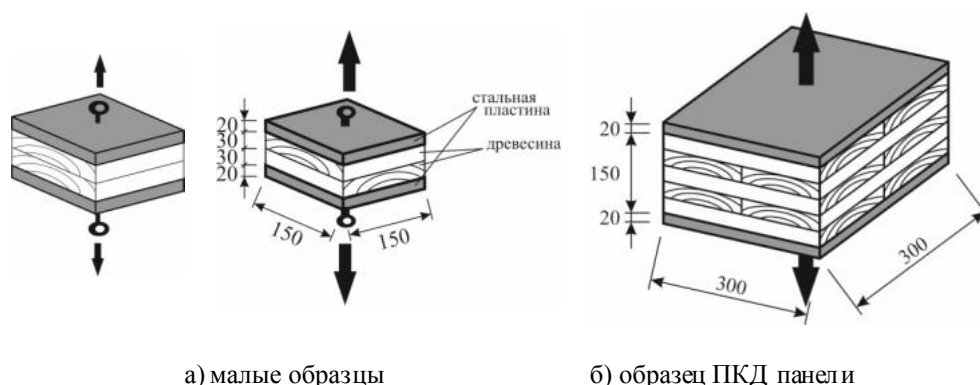


Рис. 2. Схема испытанія малых образцов и образцов ПКД панелей при растяжении поперек волокон со стальными пластинами

Для оценки эффекта поперечной склейки досок на величину прочности при растяжении поперек волокон были выполнены испытания малых образцов, состоящих из двух склеенных досок из древесины сосны с размерами  $150 \times 150 \times 30$  мм, которые в дальнейшем приклеивались к стальным пластинам или блокам из клееной древесины. Направление волокон в этих блоках совпадало с направлением действия растягивающей силы, передаваемой от металлической пластины к захватам прессового оборудования через винты Rothoblaas VGZ9320 длиной 320 мм и диаметром 9 мм, устанавливаемые без предварительного сверления отверстий. После испытаний малого образца деревянные клееные блоки отрезались и снова приклеивались к следующему образцу для выполнения дальнейших испытаний.

В качестве образцов из поперечной клееной древесины были испытаны фрагменты с размерами  $300 \times 300 \times 150$  мм, склеенные из досок с базовыми параметрами, рекомендованными стандартом EN 16351:2015 [3] для других видов испытаний ПКД панелей: ширина доски 150 мм, толщина доски 30 мм. Скорость нагружения образцов составляла  $300 \pm 120$  секунд. Образцы из поперечной клееной древесины имеют высоту как наименьший геометрический параметр, поскольку ПКД является плитным древесным материалом. Испытания образцов ПКД выполнялись преимущественно с использованием металлических пластин, поскольку выполнение испытаний с древесными блоками было более трудоемким.

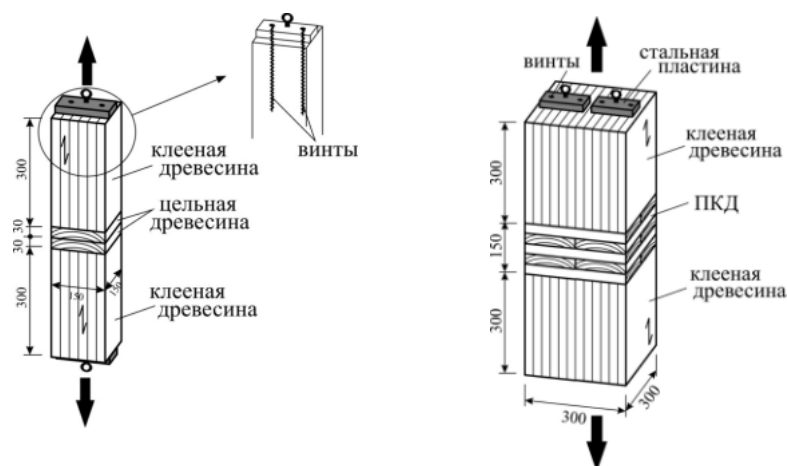
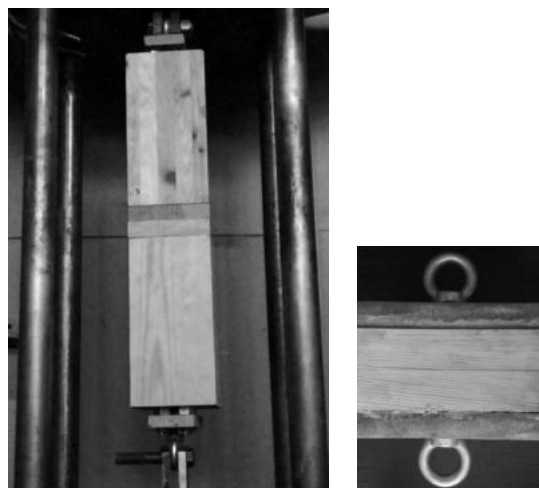


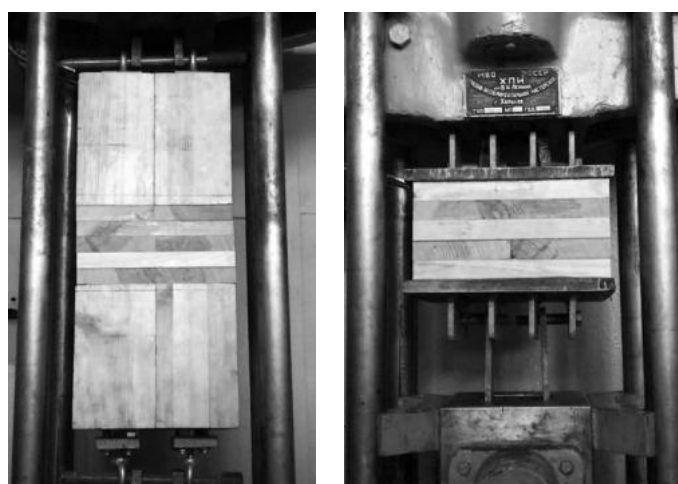
Рис. 3. Схема испытания малых образцов и образцов ПКД панелей при растяжении поперек волокон с древесными блоками и винтами

**Результаты испытаний.** Испытания малых образцов и образцов ПКД на растяжение поперек волокон выполнялись как с использованием блоков из клееной древесины, так и с металлическими пластинами, как показано на рис. 4. Прочностные показатели малых образцов, общее число которых составляет 50 единиц, показали незначительные различия, основные результаты показаны в таблице 1. Малые образцы с параллельно склеенными досками (тип А) показали меньшие величины прочности и коэффициент вариации меньше, чем малые образцы с поперечно склеенными досками (тип В). Разрушение образцов наблюдалось преимущественно по древесине, но и в местах, близких к линии склеивания образца и промежуточной древесины (блок из клееной древесины) или стальной пластины с образцом. Результаты испытаний, при которых площадь разрушения по клеевому соединению превышала 20 %, не учитывались, согласно требованиям стандарта EN 408.

Величины прочности, полученные при испытаниях образцов ПКД панелей (тип С), показали меньшие значения, чем малые образцы, что характерно для больших образцов [7]. Линия разрушения, как правило, проходила по доскам одного слоя, либо охватывала доски двух смежных слоев. Данная картина разрушений образцов ПКД панелей (рис. 5) объясняется неравномерностью распределения напряжений в образце ввиду различной прочности досок из-за ориентации годовых колец относительно действия растягивающей силы, что было подтверждено в работе проф. Бласса [5]. Также прочность образцов в некоторой степени зависит от радиуса годовых колец в поперечном сечении доски или удаленность от сердцевины.



а) малые образцы



б) образцы ПКД панелей

Рис. 4. Общий вид образцов во время испытаний

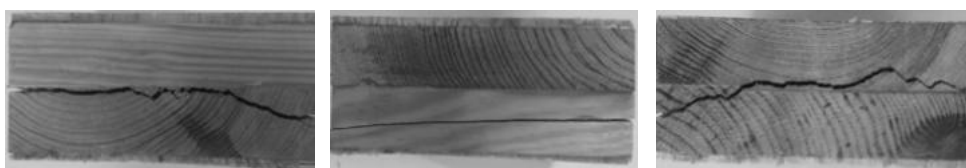
Характеристические значения прочности, приведенные в таблице 1 для образцов всех типов, определялись по формулам нового стандарта EN 14358:2016 [9] по несколько усложненной методике, в сравнении с прошлой редакцией 2006 года, где был предусмотрен метод обработки результатов без деления в зависимости от вида распределения (нормальное или логнормальное).

Таблиця 1

**Результаты испытаний образцов**

Тип образца	Количество	Среднее значение, Н/мм <sup>2</sup>	Минимальное значение, Н/мм <sup>2</sup>	Максимальное значение, Н/мм <sup>2</sup>	Характеристическое значение прочности, Н/мм <sup>2</sup>	Стандартное отклонение, Н/мм <sup>2</sup>	Коэффициент вариации, %
Тип А	25	1,83	1,05	3,022	1,19	0,31	16
Тип В	25	1,78	1,11	3,018	1,15	0,4	23
Тип С (CLT)	25	1,43	0,56	2,11	0,65	0,46	32

Результаты испытаний образцов цельной и клееной древесины при растяжении поперек волокон подчиняются двухпараметрическому закону распределения Вейбулла [5, 6, 10]. На сегодняшний день в новой редакции стандарта EN 14358:2016 отсутствуют рекомендации для определения характеристического значения прочности при растяжении поперек волокон с учетом распределения Вейбулла.



а) малые образцы



б) образцы ПКД

Рис. 5. Характер разрушения образцов

Коэффициент вариации для образцов ПКД достаточно большой, хотя вполне соответствует несколько увеличенным коэффициентам вариации для ПКД при других видах напряженных состояний, как например, при изгибе предусматривается колебание значений коэффициента вариации от 25 % до 35 %.

**Выводы.** Результаты испытаний образцов ПКД панелей позволили определить характеристическую прочность при растяжении поперек волокон, которая составляет  $f_{t,90,CLT,k}=0,6$  Н/мм<sup>2</sup>. Указания относительно методов испытания ПКД панелей, а также размеров образцов при растяжении поперек волокон отсутствуют в EN 16351 и, возможно, будут включены в этот стандарт на основании проведенных испытаний в июне-июле 2017 года в лаборатории строительных конструкций ХНУСА по схемам, показанным на рис. 2.

Европейский стандарт EN 16351:2015 содержит требования и указания относительно ПКД панелей, допускающие их производство с зазорами между досками в каждом слое и выполнение продольных пропилов в досках, что очевидно снижает прочность панелей при растяжении поперек волокон и должно быть учтено при выполнении дальнейших испытаний. Также в дальнейших исследованиях в данном направлении следует рассмотреть изменение параметра прочности при изменении объема образцов.

**Благодарность.** Авторы выражают благодарность руководителям Европейского комитета COST Action FP 1402 «Basis of Structural Timber Design» – from research to standards, при финансовой поддержке которого была выполнена научно-исследовательская работа, частично изложенная в данной публикации. Также выражаем свою признательность проф. Блассу (H. J. Blass), за теплый прием в Технологическом Институте Карлсруэ, а также благодарим за поддержку и консультации при выполнении исследований.

### **Литература**

- [1] Structural timber – Strength classes : EN 338:2016. – Bruxelles : European Committee for Standardization (CEN), 2016. – 14 p. – (European Standard).
- [2] Timber structures – Glued laminated timber and glued solid timber – Requirements : EN 14080. – Bruxelles : European Committee for Standardization (CEN), 2013. – 110 p. – (European Standard).
- [3] Timber structures – Cross laminated timber – Requirements : EN 16351:2015. – Bruxelles : European Committee for Standardization (CEN), 2015. – 106 p. – (European Standard).
- [4] Timber structures – Structural timber and glued laminated timber – Determination of some physical and mechanical properties : EN



- 408:2010+A1:2012. – Bruxelles : European Committee for Standardization (CEN), 2012. – 42 p. – (European Standard)
- [5] Blass H. J. Tensile strength perpendicular to grain according to EN 1193 / H. J. Blass, M. Schmid // Proceedings of the international council for research and innovation in building and construction, Working commission W18 – timber structures, Meeting 31. – Savonlinna, Finland, 1998. – P. 143–158 ; CIB-W18/31-6-2.
- [6] Blass H. J. Tensile strength perpendicular to grain of glued laminated timber / H. J. Blass, M. Schmid // Proceedings of the international council for research and innovation in building and construction, Working commission W18 – timber structures, Meeting 32. – Graz, Austria, 1999. – P. 157–169 ; CIB-W18/32-6-4.
- [7] Aicher S. Evaluation of different size effect models for tension perpendicular to grain design / S. Aicher, G. Dill-Langer // Proceedings of the international council for research and innovation in building and construction, Working commission W18 – timber structures, Meeting 35. – Kyoto, Japan, 2002. – P. 73–84 ; CIB-W18/35-6-1.
- [8] Bidakov A. Strength Properties of CLT by Tension Perpendicular to Grain : Short Term Scientific Mission (STSM) Report [Electronic resource] // COST Action FP1402 “Basis of Structural Timber Design” - from research to standards (COST-STSM-FP1402-101016-080077), Germany, 2016. – URL: [https://www.costfp1402.tum.de/fileadmin/w00bt1/www/All\\_Members/-Bidakov-STSM\\_Report\\_updated\\_2211.pdf](https://www.costfp1402.tum.de/fileadmin/w00bt1/www/All_Members/-Bidakov-STSM_Report_updated_2211.pdf) – Screen title. – (Application date 06.12.2017).
- [9] Timber structures – Calculation of characteristic 5-percentile and mean values for the purpose of initial type testing and factory production control : EN 14358:2016. – Bruxelles : European Committee for Standardization (CEN), 2016. – 20 p. – (European Standard)
- [10] Köhler J. Reliability of Timber Structures : PhD-thesis / J. Köhler // Swiss Federal Institute of Technology. – Submitted for approval : Zürich, 2005. – 241 p.

### Оцінка міцності ПКД панелей при розтягуванні поперек волокон

**Фурсов В. В.**, д-р. техн. наук, **Бідаков А. М.**, канд. техн. наук,  
**Распопов Є. А.**

Харківський національний університет будівництва і архітектури, Україна

**Анотація.** Міцність поперечної клеєної деревини або CLT при розтягуванні поперек волокон була вперше визначена при випробуванні зразків із раніше запропонованими

розмірами і схемою проведення випробувань, які засновані на аналізі аналогічних випробувань цільної та клеєної деревини. Така характеристика міцності сьогодні вкрай актуальна і необхідна при виконанні розрахунків і конструювання зігнутих ПКД панелей, де виникає розтяг поперек волокон у зоні максимальної кривини. Також розтяг поперек волокон виникає у ряді рішень вузлових нагельних з'єднань та у місцях розташування монтажних кріплень ПКД панелей під час монтажу. У статті проаналізовано різні параметри, які впливають на величину значень міцності цільної та клеєної деревини. Отримані результати міцності зразків та запропонована схема випробувань розглядається як можлива для включення до стандарту EN 16351. Запропонована методика випробувань передбачує врахування структурних особливостей ПКД панелей, до яких відносяться щілини між дошками та компенсаційні пропили, які утворюють ослаблений робочий переріз  $i$ , як наслідок, знижене значення площі.

**Ключові слова:** поперечна клеєна деревина (ПКД), розтягнення поперек волокон, CLT, EN 16351, розміри зразків, методика проведення випробувань.

## **Assessment of strength of CLT panels by tension perpendicular to the grain**

**V. Fursov**, Dr. Sc. (Eng.), **A. Bidakov**, Cand. Sc. (Eng.), **Ye. Raspopov**

Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture

**Abstract.** Strength of cross laminated timber (CLT) by tension perpendicular to the grain was determined at the first by the test of specimens with previously proposed dimensions and test arrangement. Proposing is based on the analysis of similar tests of solid and glued laminated timber. This characteristic of strength is extremely topical today and is necessary while performing calculations and design of curved CLT panels, where tension appears perpendicular to the grain in the zone of maximum curvature. Also, tension perpendicular to the grain occurs in a number of decisions of the nailed joints and in the locations of the mounting parts of CLT panels when they are mounted. In the paper various parameters are analysed that affect the value of the strength values in solid timber and glued laminated timber. Obtained results of the specimens' strengths and the proposed test methods could make a valuable contribute to standard EN 16351. The methodology proposed for performing the tests provides for taking into account the structural features of the CLT panels, which include gaps between the boards and stress relieves, which form a weakened working cross section and, as a consequence, a reduced value of the area.

**Key words:** cross laminated timber (CLT), strength by tension perpendicular to the grain, CLT, EN 16351, size of specimens, test arrangement.

*Надійшла до редколегії 6.12.2017 р.*