

БУДІВЕЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ

УДК 624.01

DOI 10.31649/2311-1429-2020-1-5-10

А. М. Бідаков
Є. А. Распопов
О. М. Пустовойтова
Б. О. Страшко

МІЦНІСТЬ ПКД ПАНЕЛЕЙ ПРИ РОЗТЯГУ ТА СТИСКУ ВЗДОВЖ ВОЛОКОН

Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова

Міцність при згині із площини та міцність при розтягу вздовж волокон залежить від характеристичної міцності дошок при розтягу вздовж волокон, їх коефіцієнту варіації і кількості дошок як системи, або ефективного поперечного перерізу ПКД панелі навантажений вздовж волокон. На сьогоднішній день виконані дослідження з оцінки міцності при розтягу вздовж волокон ПКД панелей, але відсутні коефіцієнти, що враховують можливе розподілення навантаження аналогічного для міцності при згині із площини панелі. Нехтування шарами поперечних дошок при визначенні площі перерізу нетто A_{net} підкреслює раціональність впровадження неоднорідної структури панелі виходячи з класу міцності дошок, аналогічно до комбінованої клеєної деревини для балок, де дошки високих класів міцності розташовуються у верхній і нижній чверті або третині поперечного перерізу. Показана у цій роботі методологія для розрахунку міцності неоднорідних ПКД панелей показує свою ефективність, яка призводить до оптимізації і економії матеріалу. Ортогональна структура склеєних дошок у ПКД панелі при стиску поперек волокон призводить до показників міцності та модуля пружності вище на 30%, ніж для клеєної деревини, як це вказано у публікації Brandner та Schickhofer (2014) [1], де також розглянуто модель дисперсії напружень, раніше розробленої van der Put (1991, 2008, 2012) [4-6] згідно якої дисперсія напружень вздовж волокон складає 45° і 15° поперек волокон. Дослідження зразків ПКД панелей показали, що наявність щілин та компенсаційних пропиливі між дошками знижують параметр дисперсії майже у 2 рази. При стандартних товщинах дошок та наявності щілин дисперсія напружень при стиску поперек площини панелі усереднено становить 35° .

Ключові слова: міцність при розтягу вздовж волокон, стиск поперек волокон, поперечна клеєна деревина, ПКД, CLT, ефективна площа перерізу, комбіновані класи міцності

Вступ

Класи міцності ПКД панелей пов'язані з величиною коефіцієнта варіації міцності дошок при розтягу вздовж волокон, з яких складається ПКД панель. Усі ПКД панелі у Європі виробляються з дошок класу міцності на розтяг T14, якому відповідає міцність при розтягу вздовж волокон $f_{t,0,1,k}=14\text{H}/\text{мм}^2$, згідно діючого стандарту EN14080:2013. Для 5-шарової ПКД панелі (рис. 1) приклад визначення міцності при розтягу вздовж волокон визначається поперечним перерізом шарів дошок навантажених вздовж волокон при коефіцієнті варіації $25\%\pm 5\%$ див. вираз (1), а при коефіцієнті варіації $35\%\pm 5\%$ див. вираз (2)

$$f_{t,x,k} = 1,186 \cdot f_{t,0,l,k} = 1,186 \cdot 14 \approx 16,6 \approx 16\text{H} / \text{мм}^2 \quad (1)$$

$$f_{t,x,k} = 1,323 \cdot f_{t,0,l,k} = 1,323 \cdot 14 \approx 18,5\text{H} / \text{мм}^2 \quad (2)$$

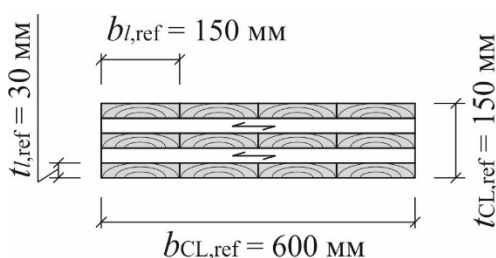


Рисунок 1 – Поперечний переріз 5-шарової ПКД панелі

Характеристична міцність ПКД панелі при розтягу вздовж волокон визначається за виразом

$$f_{t,x,k} = k_{sys,t0/CV} \times f_{t,0,1,k} \quad (3)$$

де $f_{t,0,1,k}$ – характеристична міцність дошок при розтягу вздовж волокон;

$k_{sys,t0/CV}$ – коефіцієнт, який враховує кількість дошок працюючих вздовж волокон у клеєній деревині та враховує коефіцієнт варіації при розтягу вздовж волокон.

Якщо коефіцієнт варіації становить COV ($f_{t,0,1,k}$)=25±5%, то слід використовувати вираз (4), а якщо COV ($f_{t,0,1,k}$)=35±5% слід використовувати вираз (5):

$$k_{sys,t,0/CV} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,075 \cdot \ln(n_{l,x}) + 1 \\ 1,2 \end{array} \right. \quad (4)$$

$$k_{sys,t,0/CV} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,13 \cdot \ln(n_{l,x}) + 1 \\ 1,35 \end{array} \right. \quad (5)$$

де $n_{l,x}$ – кількість дошок навантажених вздовж волокон, див. рис. 2.

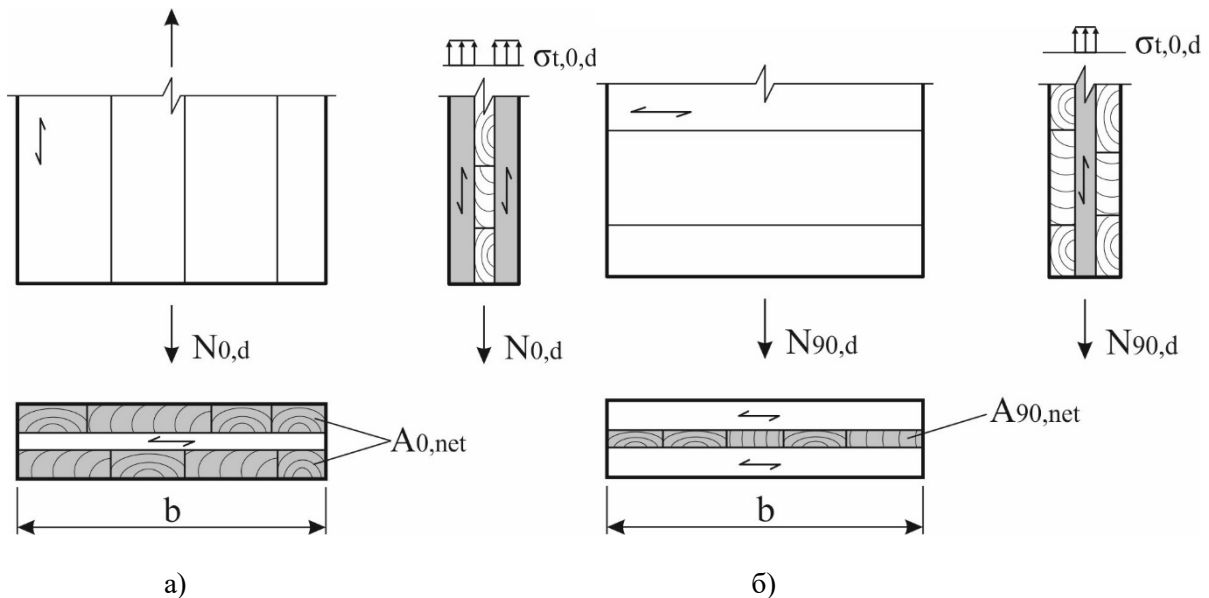


Рисунок 2 – Схеми навантаження ПКД панелі на розтяг у її площині: а – вздовж волокон у дошках зовнішніх шарів; б – поперек волокон у дошках зовнішніх шарів

Методи досліджень

За спрощеною схемою перевірка міцності ПКД панелі при розтягу у площини панелі вздовж та поперек волокон дошок зовнішніх шарів виконується за виразами (6) – (8) при навантаженні відповідно схем зображених на рис. 2.

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d} \quad (6)$$

$$\frac{N_{0,d}}{A_{0,net}} \leq k_{mod} \cdot k_{sys} \cdot \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_m} \quad (7)$$

$$\frac{N_{90,d}}{A_{90,net}} \leq k_{mod} \cdot k_{sys} \cdot \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_m} \quad (8)$$

Аналогічно міцності при згині із площини панелі, міцність при стиску у площині залежить від характеристичного значення міцності дошок, коефіцієнту варіації та площі поперечного перерізу системи дошок навантажених вздовж волокон. Поперечні шари дошок практично не приймають участь у сприйнятті навантаження, але виконують роль елементів структури, що перерозподілюють навантаження по довжині конструкції ПКД панелі. Перевірка міцності ПКД панелі при стиску вздовж волокон дошок зовнішніх шарів виконується за виразами (9) та (10) при навантаженні за схемою показаною на рис. 3-а). При стиску поперек волокон дошок зовнішніх шарів (схема рис. 3-б) виконується за дещо зміненим виразом (11)

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d} \tag{9}$$

$$\frac{N_{0,d}}{A_{0,Net}} \leq k_{mod} \cdot k_{sys} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_m} \tag{10}$$

$$\frac{N_{90,d}}{A_{90,Net}} \leq k_{mod} \cdot k_{sys} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_m} \tag{11}$$

Площа поперечного перерізу нетто A_{net} , який сприймає навантаження дорівнює сумарній площі поперечного перерізу дошок навантажених вздовж волокон з урахуванням щілин між дошками та з використанням коефіцієнту k_{sys} , який приймається рівним від 0,9 до 1,2 в залежності від ширини дошок або довжини навантаженої частини панелі.

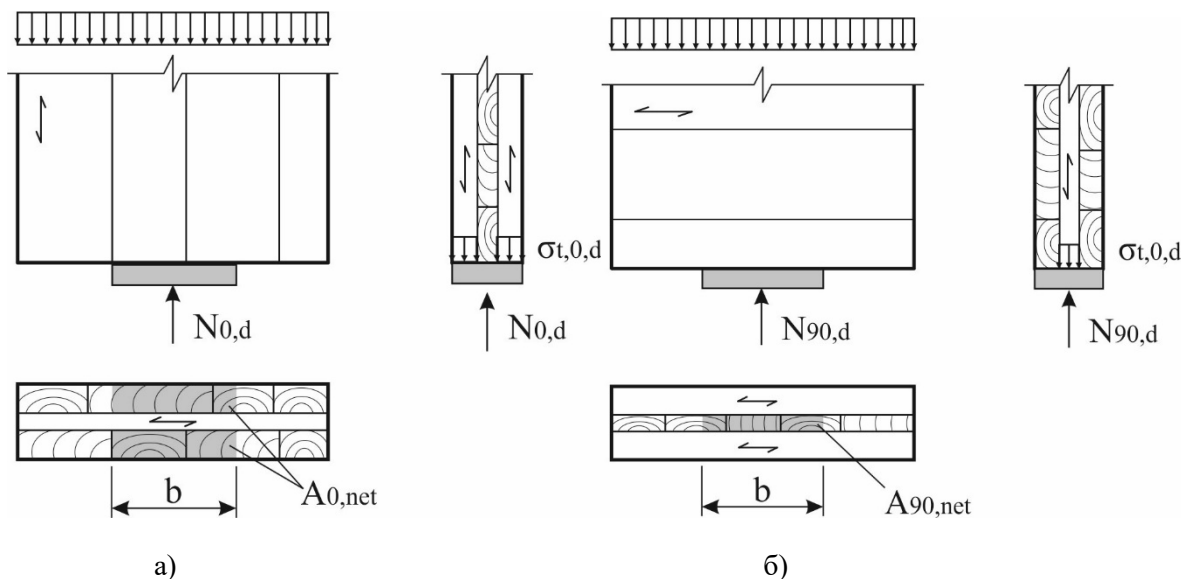


Рисунок 3 – Схема навантаження ПКД панелі на стиск у її площині: а – вздовж волокон у дошках зовнішніх шарів; б – поперек волокон у дошках зовнішніх шарів

Структурні та розрахункові особливості ПКД панелей підсилюють необхідність введення функцій зміни міцності, анізотропії деревини та структурної неоднорідності ПКД панелей виходячи з виду напруженого стану. У випадку стиску в площині панелі очевидним є необхідність збільшення товщин дошок навантажених вздовж волокон, використання дошок високих класів міцності або використання дошок з деревини листяних порід.

Результати досліджень

Основною особливістю ПКД панелей при навантаженнях стиску та розтягу у площині панелі є те, що навантаження сприймається лише повздовжніми шарами дошок відносно напрямку дії навантаження. Поперечні шари лише приймають участь у перерозподілі напружень у панелі та не враховуються при обчисленні нормальних напружень. Масштабний фактор при розтягу не враховується, на відміну від клеєної деревини та цільної деревини при обчисленні міцності

перерізів. У таблиці 1 наведені величини міцності ПКД панелей при згині, розтягу і стиску для запропонованого одного з двох класів міцності CL24, які активно впроваджуються групою провідних дослідників Австрії у Технічному університеті Грац.

Таблиця 1

Характеристичні значення міцності ПКД панелей у Н/мм² при розтягу і стиску з урахуванням характеристичних значень міцності дошок

Властивість		Позначення	Величина	ПКД панелі класу міцності CL24
Міцність при згині	для згинальних моментів з площини	$f_{m,x,k}$ $f_{m,y,k}$	$3 f_{t,0,l,k}^{0,8}$	24
	для згинальних моментів у площині	$f_{m,edge,x,k}$ $f_{m,edge,y,k}$	$f_{m,l,k}$	20,5
Міцність при розтягу	у площині	$f_{t,x,k}$ $f_{t,y,k}$	$1,2 f_{t,0,l,k}$	16
	перпендикулярно до площини панелі	$f_{t,z,k}$	0,5	0,5
Міцність при стиску	у площині	$f_{c,x,k}$ $f_{c,y,k}$	$3 f_{t,0,l,k}^{0,8}$	24
	перпендикулярно до площини панелі	$f_{c,z,k}$	3	3

Висновки

Оскільки величина міцності ПКД панелей при розтягу та стиску вздовж напрямку волокон дошок зовнішніх шарів панелей залежить лише від величини поперечного перерізу, то впровадження панелей комбінованих класів міцності, аналогічно клеєній деревині набуває значної актуальності. Також для стінових ПКД панелей можливо виконувати збільшення товщин перерізів повздовжніх шарів дошок або виробляти панелі з подвійними односпрямованими зовнішніми шарами дошок, що допускається стандартом EN16351:2015 [2, 3].

Використання дошок високих класів міцності у зовнішніх шарах додатково підвищують несучу здатність нагельних з'єднань, які як правило базуються на вузлових системах, що складаються з пластин та групи гвинтів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Brandner R. and Schickhofer G., “SSTC 1.1.2-5 clt_panel_pressdruck: Untersuchungen betreffend der Definition eines für die Produktion von Brettsperrholz optimalen Pressdruckes”, 2012, Research Report, Institute of Timber Engineering and Wood Technology, Graz University of Technology, Competence Centre holz.bau forschung gmbh, p. 76.
2. EN 16351:2015, “Timber structures – Cross laminated timber – Requirements” European Committee for Standardization CEN, Bruxelles, Belgium.
3. prEN 16351:2018, Timber structures — Cross laminated timber — Requirements, WD 2018-03-16.
4. Van der Put, T.A.C.M. (1991) Discussion of the failure criterion for combined bending and compression, CIB-W18/24-6-1, Oxford, United Kingdom.
5. Van der Put, T.A.C.M. (2008) Derivation of the bearing strength perpendicular to the grain of locally loaded timber blocks, Holz als Roh- und Werkstoff, 66:409-417, DOI 10.1007/s00107-008-0258-0.
6. Van der Put, T.A.C.M. (2012) Restoration of exact design for partial compression perpendicular to the grain, Wood Material Science and Engineering, DOI 10.1080/17480272.2012.681703.

REFERENCES

1. Brandner R. and Schickhofer G., “SSTC 1.1.2-5 clt_panel_pressdruck: Untersuchungen betreffend der Definition eines für die Produktion von Brettsperrholz optimalen Pressdruckes”, 2012, Research Report, Institute of Timber Engineering and Wood Technology, Graz University of Technology, Competence Centre holz.bau forschung gmbh, p. 76.
2. EN 16351:2015, “Timber structures – Cross laminated timber – Requirements” European Committee for Standardization CEN, Bruxelles, Belgium.
3. prEN 16351:2018, Timber structures — Cross laminated timber — Requirements, WD 2018-03-16.
4. Van der Put, T.A.C.M. (1991) Discussion of the failure criterion for combined bending and compression, CIB-W18/24-6-1, Oxford, United Kingdom.

5. Van der Put, T.A.C.M. (2008) Derivation of the bearing strength perpendicular to the grain of locally loaded timber blocks, Holz als Roh- und Werkstoff, 66:409-417, DOI 10.1007/s00107-008-0258-0.
6. Van der Put, T.A.C.M. (2012) Restoration of exact design for partial compression perpendicular to the grain, Wood Material Science and Engineering, DOI 10.1080/17480272.2012.681703.

Бідаков Андрій Миколайович – канд. техн. наук, доцент кафедри будівельні конструкції Харківського національного університету міського господарства ім. О. М. Бекетова. E-mail: bidakov@kname.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0001-6394-2247>.

Пустовойтова Оксана Михайлівна – канд. техн. наук, доцент кафедри будівельні конструкції Харківського національного університету міського господарства ім. О. М. Бекетова. E-mail: oksana_pustov@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-4078-4834>.

Распопов Євген Анатолійович – аспірант кафедри будівельні конструкції Харківського національного університету міського господарства ім. О. М. Бекетова. E-mail: raspopovkm@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5084-5533>.

Страшко Богдан Олександрович – аспірант кафедри будівельні конструкції Харківського національного університету міського господарства ім. О. М. Бекетова. E-mail: bogdanstrashko@outlook.com.

**A. Bidakov
E. Raspopov
O. Pustovoitova
B. Strashko**

STRENGTH OF CLT PANELS AT TENSION AND COMPRESSION ALONG GRAIN DIRECTION

O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv

The bending strength of the plane and the tensile strength along the grain depend on the characteristic tensile strength of the boards along the grain, their coefficient of variation and the number of boards as a system, or the effective cross section of the CLT panel loaded along the grain direction. To date, studies have been performed to assess the tensile strength along the grain of the CLT panels, but there are no coefficients that take into account the possible load distribution similar to the bending strength from the plane of the panel. Neglecting the layers of crossboards when determining the net cross-sectional area A_{net} emphasizes the rationality of the introduction of a heterogeneous panel structure based on the strength class of boards, similar to combined plywood for beams, where high-strength boards are located in the upper and lower quarter or third of the cross section. The methodology showed in this paper for calculating the strength of inhomogeneous CLT panels shows its efficiency, which leads to optimization and material savings. The orthogonal structure of glued boards in the CLT panel when compressed perpendicular to the grain leads to strength and modulus of elasticity higher by 30% than for glued laminated timber, as indicated in the publication Brandner and Schickhofer (2014) [1], which also considers the stress dispersion model, previously developed by van der Put (1991, 2008, 2012) [4-6] according to which the stress dispersion along the fibers is 45° and 15° perpendicular to the grain. Studies of CLT panel samples have shown that the presence of gaps and compensatory cuts between the boards reduce the dispersion parameter by almost 2 times. With standard board thicknesses and the presence of cracks, the stress dispersion during compression perpendicular the panel plane is on average 35° .

Keywords: tensile strength along the grain, compression along the grain, cross laminated timber, CLT, effective cross-sectional area, combined strength classes.

Bidakov Andrii – PhD (Tech). Associate Professor, department of Building construction, O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv. E-mail: bidakov@kname.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0001-6394-2247>.

Pustovoitova Oksana – PhD (Tech). Associate Professor, department of Building construction, O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, e-mail: oksana_pustov@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-4078-4834>.

Raspopov Ievgenii – graduate student, department of Building construction, O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv. E-mail: raspopovkm@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5084-5533>.

Bogdan Strashko – graduate student, department of Building construction, O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv. E-mail: bogdanstrashko@outlook.com.

**А.Н. Бидаков
Е.А. Распопов
О.М. Пустовойтова
Б.А. Страшко**

ПРОЧНОСТЬ ПКД ПАНЕЛЕЙ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ И СЖАТИИ ВДОЛЬ ВОЛОКОН

Харьковский национальный университет городского хозяйства им. А.Н. Бекетова

Прочность на изгиб из плоскости и прочность при растяжении вдоль волокон зависит от характеристической прочности досок при растяжении вдоль волокон, их коэффициента вариации и количества досок как системы, или эффективного поперечного сечения ПКД панели нагруженный вдоль волокон. На сегодняшний день выполнены исследования по оценке прочности при растяжении вдоль волокон ПКД панелей, но отсутствуют коэффициенты, учитывающие возможное распределения нагрузки аналогичного для прочности при изгибе из плоскости панели. Пренебрежение слоями поперечных досок при определении площади сечения нетто Anet подчеркивает рациональность внедрения неоднородной структуры панели исходя из класса прочности досок, аналогично комбинированной клееной древесины для балок, где доски высоких классов прочности располагаются в верхней и нижней четверти или трети поперечного сечения. Показанная в этой работе методология для расчета прочности неоднородных ПКД панелей показывает свою эффективность, которая приводит к оптимизации и экономии материала. Ортогональная структура клеенных досок в ПКД панели при сжатии поперек волокон приводит к показателям прочности и модуля упругости выше на 30%, чем для клееной древесины, как это указано в публикации Brandner и Schickhofer (2014) [1], где также рассмотрена модель дисперсии напряжений, ранее разработанной van der Put (1991, 2008, 2012) [4-6] согласно которой дисперсия напряжений вдоль волокон составляет 45 ° и 15 ° поперек волокон. Исследование образцов ПКД панелей показали, что наличие щелей и компенсационных пропилов между досками снижают параметр дисперсии почти в 2 раза. При стандартных толщинах досок и наличии щелей дисперсия напряжений при сжатии поперек плоскости панели усредненно составляет 35 °.

Ключевые слова: прочность при растяжении вдоль волокон, сжатие вдоль волокон, поперечная клееная древесина, CLT, эффективная площадь сечения, комбинированные классы прочности.

Бидаків Андрей Николаевич – канд. техн. наук, доцент кафедры строительные конструкции Харьковского национального университета городского хозяйства им. А. Н. Бекетова. E-mail: bidakov@kname.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0001-6394-2247>.

Пустовойтова Оксана Михайловна – канд. техн. наук, доцент кафедры строительные конструкции Харьковского национального университета городского хозяйства им. А. Н. Бекетова. E-mail: oksana_pustov@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-4078-4834>.

Распопов Евгений Анатольевич – аспирант кафедры строительные конструкции Харьковского национального университета городского хозяйства им. А. Н. Бекетова. E-mail: raspopovkm@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5084-5533>.

Страшко Богдан Александрович – аспирант кафедры строительные конструкции Харьковского национального университета городского хозяйства им. А. Н. Бекетова. E-mail: bogdanstrashko@outlook.com.