

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

## ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ Г-МЕТОДУ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ МІЦНОСТІ ПКД ПАНЕЛЕЙ ПРИ ЗГІНІ

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

*Поперечна клеєна деревина (ПКД) або CLT є новим будівельним матеріалом, який широко впроваджується у будівництві багатопверхових житлових та офісних будівель. Цей матеріал набув широке розповсюдження у країнах Європи, США та Канаді і активно використовується вже на протязі 20 років. На сучасному етапі розвитку ПКД панелей тільки національний стандарт німеччини DIN EN 1995-1-1/NA (2010) та стандарт Австрії ÖNORM B 1995-1-1 (2014) з проектування дерев'яних конструкцій містить рекомендації щодо розрахунку та конструювання будівель з ПКД панелей. Розрахунок ПКД панелей при різних видах напруженого стану можливо виконувати лише на основі технічних заключень лабораторій та сертифікатів продуктів які містять вказівки та поправочні величини для розрахунків ПКД панелей конкретного виробника. Наступна редакція Єврокоду-5 у 2022 році буде мати суттєві нормативні вказівки та вимоги для проектування і розрахунку будинків з використанням ПКД панелей. Існує три методи розрахунку міцності ПКД панелей при згині, кожна з яких базується на певній схемі апроксимації: гамма-метод, метод Тимошенко та метод зсувної аналогії. Гамма-метод розглядає ПКД панель як балку на підатливих зв'язках, аналогічно балці системи Дерев'ягіна на пластинчатих шпонках або кубиках Кюблера, де поперечні шари дошок розглядаються як підатливі зв'язки і не враховуються при обчисленні геометричних характеристик поперечних перерізів ПКД панелей. Кожна методика має свої переваги та недоліки, оскільки має цілу низку певних припущень для спрощення обчислень. У даній роботі висвітлені переваги та недоліки гамма-методу, який має найбільше розповсюдження ніж інші методики і міститься у багатьох технічних заключеннях різних виробників ПКД панелей. Аналіз недоліків цієї методики дозволяє уникнути низку неточностей результатів розрахунку.*

*Ключові слова: міцність при згині, поперечна клеєна деревина, ПКД, CLT, методика розрахунку, γ-метод, переваги та недоліки.*

### Вступ

Гамма-метод для розрахунку міцності ПКД панелей при згині найчастіше використовується у інженерній практиці та є адаптованим варіантом гамма методу, який міститься у Єврокод-5 та DIN105 для розрахунку балок складеного поперечного перерізу, оскільки ПКД панель має 3 або 5-шарову структуру, відповідно з двома або трьома шарами повздовжніх дошок. Це також стосується ПКД панелей з подвійними зовнішніми повздовжніми шарами дошок. Для панелей зі структурою 7 або 9 шарів дошок використовується модифікований гамма-метод. Цей метод згідно до методики Möhler та Schelling має дещо модифікований вид. Möhler [10-14] склав різні рівняння для ПКД як системи балок на підатливих зв'язках і пропонує використовувати редуційні коефіцієнти для моментів інерції шарів ПКД у контексті жорсткого композиту. Дана методика може використовуватись виключно для 3-х шарових ПКД панелей. Schelling [7-9] продовжив та адаптував запропоновану методику для ПКД з необмеженою кількістю шарів. Його результати показують, що вплив навантаження та статичної системи (у залежності від довжини), які Möhler ігнорував, безумовно є актуальними. У нормативному документі Німеччини DIN1052 у 1969 році мав цю розрахункову методику у першій апроксимації. Цей алгоритм можна знайти в загальноновизнаних до цих пір правилах проектування у Додатку В норм ÖNORM EN 1995-1-1:2009 [2]. Слід зазначити, що цей підхід повинен використовуватися виключно для однорполітних панелей, що піддаються синусоїдальному навантаженню. Що стосується навантажень, схожих на синусоїдальне навантаження, наприклад, рівномірно розподілених навантажень, цей метод обчислення може бути застосований для отримання достатньо точних результатів.

### Методи досліджень

Модифікований γ-метод, який міститься у ÖNORM EN 1995-1-1:2009 та DIN1052 був дещо змінений S. Aicher [15-16] шляхом використання аналогії між композитним шаром з двома поверхнями, який має зсувне з'єднання та композитом з двох частин, і має підатливе з'єднання цих поперечних перерізів. Гамма-метод за методикою Pischl [3-6] базується на рішенні

диференційних рівнянь згинальних елементів на підатливих зв'язках у контексті різних схем навантаження та припускає використання редуційних коефіцієнтів до ефективного моменту інерції та ефективного моменту опору з урахуванням сполучень навантажень. У роботах Pischl [3-6] запропоновані таблиці зі значеннями редуційних коефіцієнтів для розрахунків у відповідності до характеру навантажень та їх сполучень. DIN1052 містить  $\gamma$ -метод при припущенні дії синусоїдального навантаження та у порівнянні з  $\gamma$ -методом за методикою Pischl, різниця для максимальних згинальних напружень складає до 1,6%, для деформацій до 0,5%, а при дії зосередженого навантаження ця різниця складає 49,4% для напружень та 2,4% для деформацій. Гамма-метод використовується для суцільно з'єднаних згинальних елементів, що підлягають будь-яким навантаженням. На практиці можна сказати, що розв'язування першої хвилі  $n=1$  (синусоїдальне навантаження) зазвичай дає достатньо точні результати. Гамма-метод базується на наступних припущеннях:

1. Теорія згину є актуальною для всіх поперечних перерізів. Це означає, що необхідно зробити деякі припущення, такі як стрижень Бернуллі, закон Гука та лінійний розподіл напружень по поперечному перерізу Нав'є.
2. Прогин як наслідок напружень зсуву не враховується.
3. Стан деформації можна визначити, змістивши центр ваги повного перерізу ПКД панелі.
4. Поперечний переріз ПКД панелі симетричний щодо одного шару, який навантажений і призводить до визначення одноосного згину.
5. Поперечні перерізи шарів дошок з'єднуються на основі безперервної передачі зсуву з постійною жорсткістю зсуву. Якщо це робиться за допомогою механічних з'єднувачів, таких як сталеві штифтові дюбелі та похилі гвинтові з'єднання, то ці окремі з'єднувачі розглядаються як розділені поздовжньо між місцями їх влаштування.
6. Що стосується конструкційного матеріалу окремих поперечних перерізів, то передбачається повністю пружна конструкційна та пластична поведінка.
7. Тертя у вузлових з'єднаннях не враховується.

Слід зазначити, що методика викладена у Єврокод-5 [3] незначно відрізняється від Schelling [7-9], який представляє систему лінійних рівнянь для визначення пружного коефіцієнта ( $\gamma$ -величина кожного шару), де геометричний центр ваги базується на загальній площі перерізів окремих шарів. Що стосується багаточастинних перерізів, існує відносно велика кількість виразів, пов'язаних з геометричною центральною лінією, що виправдовує посилання на ефективну центральну лінію, щонайменше це стосується ручних обчислень типів перерізів, які регулюються стандартами EN1995-1-1 та DIN1052 [1]. Ефективна центральна лінія також може розглядатися як механічна центральна лінія, оскільки її зсувні напруження знаходяться на максимальному рівні. У повністю симетричному перерізі, можливі два рівнозначні значення щодо положення механічного центру ваги. Конкретно це означає, що ці положення можна визначити вище та нижче цих геометричних центрів ваги. Додаючи до цього, надзвичайно важливим є усвідомлення ознаки відстані  $a_2$  при застосуванні Єврокоду 5. Безсумнівно, знаки відстаней  $a_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) можна визначити чіткіше, використовуючи підхід Schelling.

### Результати досліджень

На даний момент основна увага приділяється підходу згідно з додатком В до EN1995-1-1 або Єврокод-5 для підатливого з'єднаних згинальних елементів. Цей інформаційний додаток описує відомий  $\gamma$ -метод і після незначної модифікації може бути застосований для визначення ПКД (модифікованого  $\gamma$ -методу). Стрижні, що складаються з двох та трьох частин (рис. 1) порівнюватимуться за методом Scheiling та з методом Єврокоду-5. Незалежно від опорної осі стає очевидним, що коефіцієнти гнучкості залежать від прольоту. При більшій довжині системи можна збільшити ефективну жорсткість (1) при згині. Після визначення  $\gamma$ -значень окремих перерізів (3), всі інші істотні значення, такі як осьові напруження (5-6), зсувні та напруження (7-8) у з'єднанні, і прогини можна розрахувати.

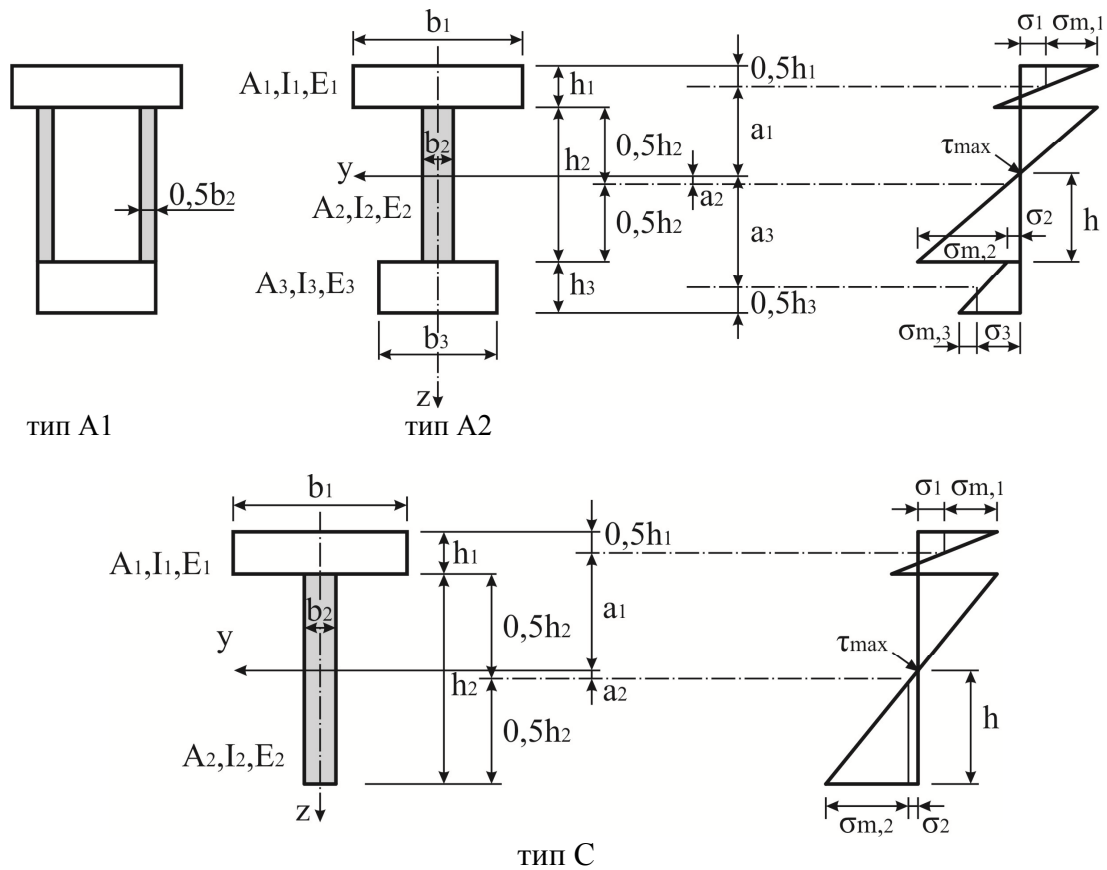


Рисунок 1 – Типи поперечних перерізів складених балок згідно до Єврокоду-5

$$(EI)_{ef} = \sum_{i=1}^3 (E_i \cdot I_i + \gamma_i E_i \cdot A_i \cdot a_i^2) \quad (1)$$

$$A_i = b_i \cdot h_i \quad I_i = \frac{b_i \cdot h_i^3}{12} \quad \gamma_2 = 1 \quad (2)$$

$$\gamma_{i(1,3)} = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \cdot E_i \cdot A_i \cdot s_i}{K_i \cdot l^2}} \quad (3)$$

$$a_2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{\gamma_1 \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot (h_1 + h_2) - \gamma_3 \cdot E_3 \cdot A_3 \cdot (h_2 + h_3)}{\sum_{i=1}^3 \gamma_i \cdot E_i \cdot A_i} \quad (4)$$

Відстань  $a_2$  завжди позитивна у межах балок типу С і нульова точка напружень завжди знаходиться над геометричним центром ваги площі  $A_2$ . Для балок типу А можливе не тільки позитивне, але й негативне значення  $a_2$ , якщо визначена нульова точка напружень розташована нижче центру ваги площі  $A_2$ :

$$\sigma_i = \frac{N_i}{A_i} = \frac{M}{(EI)_{ef}} \cdot \gamma_i \cdot E_i \cdot A_i \quad (5)$$

$$\sigma_{m,i} = \frac{M_i}{W_i} = \frac{M}{(EI)_{ef}} \cdot \frac{E_i \cdot h_i}{2} \quad (6)$$

$$\tau_{2,\max} = \frac{V}{(EI)_{ef}} \cdot \frac{\gamma_3 \cdot E_3 \cdot A_3 \cdot a_3 + 0,5 \cdot E_2 \cdot b_2 \cdot h^2}{b_2} \quad (7)$$

$$\tau_r = \frac{V}{(EI)_{ef}} \cdot \frac{\gamma_3 \cdot E_3 \cdot A_3 \cdot a_3}{b_2} \quad (8)$$

Для того, щоб мати змогу застосувати раніше згадані методи в контексті перевірки поперечно перерізу ПКД панелі, необхідно виконати кілька адаптацій, через що такий підхід називається «модифікованим  $\gamma$ -процесом». 3-шарові, а точніше 5-шарові ПКД панелі (рис. 2) можна вивести з поперечних, перерізів балок, які складаються з двох- або трьох частин (тип С і тип А, див. рис. 1). Таким чином гнучкість з'єднувальних з'єднань ( $s_i/K_i$ ) може бути заміщена гнучкими до зсуву поперечними шарами ПКД ( $h_{s12}/(G_{R,i} \cdot b_i)$ ). Ширина перерізу  $b_i$  переважаючих шарів повинна бути постійною в межах визначення ПКД ( $b_i = b$ ).

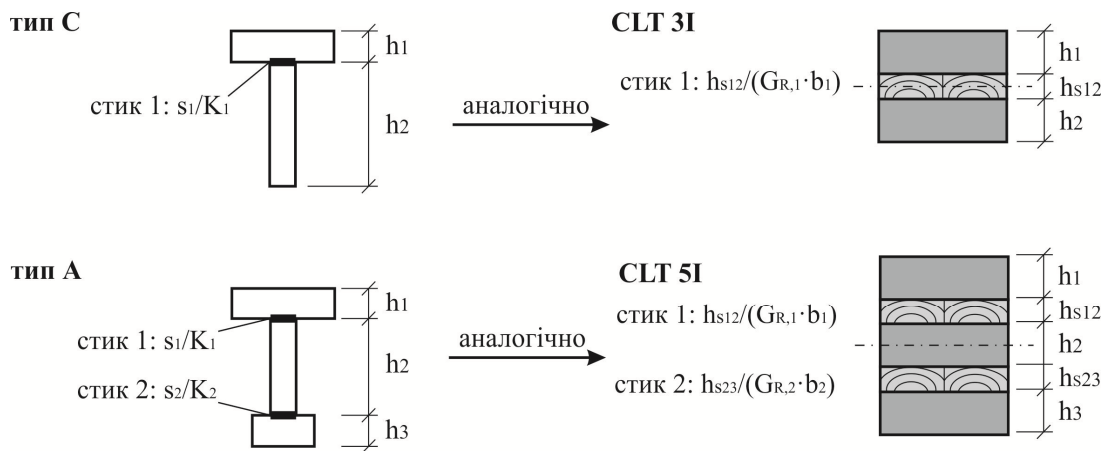


Рисунок 2 – Принцип трансформації балки складеного перерізу у ПКД панель

$$\gamma_{i(1,3)} = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \cdot E_i \cdot A_i \cdot s_i}{K_i \cdot l^2}} = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \cdot E_i \cdot h_i \cdot b \cdot h_{si}}{G_{90} \cdot b \cdot l^2}} \quad (9)$$

$$\gamma_{i(1,3)} = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \cdot E_i \cdot h_i \cdot h_{si}}{G_{90} \cdot l^2}} \quad (10)$$

При умові рівності товщин усіх шарів ПКД панелі можна отримати наступне спрощення відомих виразів:

-для 3-шарових панелей

$$\gamma_1 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \cdot E_0 \cdot h^2}{G_{90} \cdot l^2}} \quad \gamma_2 = 1 \quad (11)$$

$$a_2 = \frac{\gamma_1 \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot \left( \frac{h_1 + h_2}{2} + h_{s12} \right)}{\sum_{i=1}^2 \gamma_i \cdot E_i \cdot A_i} \quad (12)$$

$$a_1 = \frac{h_1}{2} + h_{s12} + \frac{h_2}{2} - a_2 = 2h - a_2 \quad (13)$$

- для 5-шарових панелей

$$\gamma_1 = \gamma_3 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \cdot E_0 \cdot h^2}{G_{90} \cdot l^2}} \quad \gamma_2 = 1 \quad (14)$$

$$a_2 = \frac{\gamma_1 \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot \left( \frac{h_1 + h_2}{2} + h_{s12} \right) - \gamma_3 \cdot E_3 \cdot A_3 \cdot \left( \frac{h_2 + h_3}{2} + h_{s23} \right)}{\sum_{i=1}^3 \gamma_i \cdot E_i \cdot A_i} = 0 \quad (15)$$

$$a_1 = a_3 = \frac{h_1}{2} + h_{s12} + \frac{h_2}{2} - a_2 = 2h \quad (16)$$

Клас міцності деревини дошок усіх шарів приймається однаковою. Як правило товщини дошок шарів ПКД панелей є однаковими, або нерівномірними але поперечний переріз залишається симетричним

### Висновки

Позитивною особливістю гамма-методу є те, що він найпоширеніший метод, який застосовується у Єврокод-5, а також майже у всіх технічних заключеннях щодо ПКД панелей.

До недоліків гамма-методу слід віднести, що стандартизований підхід (ефективна центральна лінія) може застосовуватися лише у межах 3-х або 5-ти шарових ПКД панелей. Доцільно використовувати загальні рівняння Schelling при зіткненні з більшою кількістю шарів. Також цей метод підходить не тільки для ручного обчислення на основі рівнянь, наведених у додатку В Єврокода-5, але й до теорії гнучких до зсуву стрижнів. Що стосується різної ширини прольоту, можуть траплятися поля без нульової точки моменту, і використання такої еквівалентної довжини, 80% від ширини прольоту, запропоновані нормою, є дуже сумнівним. Перенесення теорії гнучких до зсуву стрижнів у контексті структури 2D-пластини викликає серйозні проблеми. Рівняння Schelling справедливі для всіх систем і навантажень в цілому, і днопролітні балки, що мають синусоїдальне навантаження, необхідне у практичних умовах, що спрощує вплив на рівняння, і як наслідок, цей метод демонструє надзвичайно високі відхилення в межах окремих навантажень та внутрішніх опор нерозрізних балок.

Врахування частки навантаження, що сприймається низьким ростверком (від 3 % до 45 %, в залежності від довжини та кроку паль, у складі фундаменту), значно підвищує несучу здатність пального фундаменту в цілому, що дозволяє економити матеріальні та трудові ресурси під час проведення будівельних робіт.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. DIN 1052:2008: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken – Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau, DIN, Berlin, 2008. (German)
2. *ÖNORM B 1995-1-1:2015* Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln für den Hochbau, (German) Austria, 2015.
3. EN 1995-1-1:2008: Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings, European Committee for Standardization CEN, Bruxelles, Belgium, 2008.
4. PISCHL, R.: Ein Beitrag zur Berechnung zusammengesetzter hölzerner Biegeträger. Der Bauingenieur, 43. Jahrgang, S.448-452, 1968.
5. PISCHL, R.: Die praktische Berechnung zusammengesetzter hölzerner Biegeträger mit Hilfstafeln zur Berechnung der Abminderungsfaktoren. Der Bauingenieur, 44. Jahrgang, S.181-185, 1969.
6. PISCHL, R.: Die Auslegung der Verbindungsmittel bei zusammengesetzten hölzernen Biegeträgern. Der Bauingenieur, 44. Jahrgang, S.419-423, 1969.
7. PISCHL, R.: Die direkte Bemessung der Verbindungsmittel bei zusammengesetzten Biegeträgern im Holzbau unter Voraussetzung von DIN 1052, Absatz 5. Der Bauingenieur, 48. Jahrgang, S.293-296+470, 1973.

8. SCHELLING, W.: Die Berechnung nachgiebig verbundener zusammengesetzter Biegeträger im Ingenieurholzbau. Dissertation TH Karlsruhe, 1968.
9. SCHELLING, W.: Zur Berechnung nachgiebig zusammengesetzter Biegeträger aus beliebig vielen Einzelquerschnitten In: EHLBECK, J. (Hrsg.); STECK, G. (Hrsg.): Ingenieurholzbau in Forschung und Praxis. Bruderverlag Karlsruhe 1982.
10. SCHELLING, W.: Genauere Berechnung nachgiebig verbundener Holzbiegeträger mit dem  $\gamma$ -Verfahren In: Festschrift E. Csiesielski. Werner-Verlag. S 10, April, 1998.
11. Möhler, K., «Strength and long-term behaviour of lumber and glued laminated timber under torsion loads», CIB-W18 / 7-6-1, Proceedings of the international council for research and innovation in building and construction, Working commission W18 – timber structures, Meeting 7, Stockholm, Sweden, 1977.
12. Möhler, K., «Stress perpendicular to grain», CIB-W18 / 11-6-2 , Proceedings of the international council for research and innovation in building and construction, Working commission W18 – timber structures, Meeting 11, Vienna, Austria, 1979.
13. MÖHLER, K.: Über das Tragverhalten von Biegeträgern und Druckstäben mit zusammengesetzten Querschnitten und nachgiebigen Verbindungsmitteln. Habilitation TH Karlsruhe, 1962.
14. MÖHLER, K.: Die Bemessung der Verbindungsmittel bei zusammengesetzten Biege- und Druckgliedern im Holzbau. Bauen mit Holz, 68. Jahrgang, S. 162-164, 1966.
15. Möhler, K.: Grundlagen der Holz- Hochbaukonstruktionen, in Holzbau-Atlas, Institut für intern. Architekturdokumentation, München (1980).
16. AICHER, S.: Bemessung biegebeanspruchter Sandwichbalken mit dem modifizierten  $\gamma$ -Verfahren In: Bautechnik; Nr.: 03/1987, S. 79-86.
17. AICHER, S.; ROTH, W.: Ein modifiziertes  $\gamma$ -Verfahren für das mechanische Analogon: dreischichtiger Sandwichverbund-zweiteiliger verschieblicher Verbund In: Bautechnik; Nr.: 01/1987, S. 21-29.

## REFERENCES

1. DIN 1052:2008: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken – Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau, DIN, Berlin, 2008. (German)
2. *ÖNORM B 1995-1-1:2015* Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln für den Hochbau, (German) Austria, 2015.
3. EN 1995-1-1:2008: Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings, European Committee for Standardization CEN, Bruxelles, Belgium, 2008.
4. PISCHL, R.: Ein Beitrag zur Berechnung zusammengesetzter hölzerner Biegeträger. Der Bauingenieur, 43. Jahrgang, S.448-452, 1968.
5. PISCHL, R.: Die praktische Berechnung zusammengesetzter hölzerner Biegeträger mit Hilfstafeln zur Berechnung der Abminderungsfaktoren. Der Bauingenieur, 44. Jahrgang, S.181-185, 1969.
6. PISCHL, R.: Die Auslegung der Verbindungsmittel bei zusammengesetzten hölzernen Biegeträgern. Der Bauingenieur, 44. Jahrgang, S.419-423, 1969.
7. PISCHL, R.: Die direkte Bemessung der Verbindungsmittel bei zusammengesetzten Biegeträgern im Holzbau unter Voraussetzung von DIN 1052, Absatz 5. Der Bauingenieur, 48. Jahrgang, S.293-296+470, 1973.
8. SCHELLING, W.: Die Berechnung nachgiebig verbundener zusammengesetzter Biegeträger im Ingenieurholzbau. Dissertation TH Karlsruhe, 1968.
9. SCHELLING, W.: Zur Berechnung nachgiebig zusammengesetzter Biegeträger aus beliebig vielen Einzelquerschnitten In: EHLBECK, J. (Hrsg.); STECK, G. (Hrsg.): Ingenieurholzbau in Forschung und Praxis. Bruderverlag Karlsruhe 1982.
10. SCHELLING, W.: Genauere Berechnung nachgiebig verbundener Holzbiegeträger mit dem  $\gamma$ -Verfahren In: Festschrift E. Csiesielski. Werner-Verlag. S 10, April, 1998.
11. Möhler, K., «Strength and long-term behaviour of lumber and glued laminated timber under torsion loads», CIB-W18 / 7-6-1, Proceedings of the international council for research and innovation in building and construction, Working commission W18 – timber structures, Meeting 7, Stockholm, Sweden, 1977.
12. Möhler, K., «Stress perpendicular to grain», CIB-W18 / 11-6-2 , Proceedings of the international council for research and innovation in building and construction, Working commission W18 – timber structures, Meeting 11, Vienna, Austria, 1979.
13. MÖHLER, K.: Über das Tragverhalten von Biegeträgern und Druckstäben mit zusammengesetzten Querschnitten und nachgiebigen Verbindungsmitteln. Habilitation TH Karlsruhe, 1962.
14. MÖHLER, K.: Die Bemessung der Verbindungsmittel bei zusammengesetzten Biege- und Druckgliedern im Holzbau. Bauen mit Holz, 68. Jahrgang, S. 162-164, 1966.
15. Möhler, K.: Grundlagen der Holz- Hochbaukonstruktionen, in Holzbau-Atlas, Institut für intern. Architekturdokumentation, München (1980).
16. AICHER, S.: Bemessung biegebeanspruchter Sandwichbalken mit dem modifizierten  $\gamma$ -Verfahren In: Bautechnik; Nr.: 03/1987, S. 79-86.
17. AICHER, S.; ROTH, W.: Ein modifiziertes  $\gamma$ -Verfahren für das mechanische Analogon: dreischichtiger Sandwichverbund-zweiteiliger verschieblicher Verbund In: Bautechnik; Nr.: 01/1987, S. 21-29.

**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](mailto: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**

## ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF $\Gamma$ -METHOD FOR CALCULATION OF CLT PANELS STRENGTH BY BENDING

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

*Cross laminated timber or CLT is a new building material that is widely implemented in the construction of multi-storey residential and office buildings. This material has become widespread in Europe, the United States and Canada and has been in active use for over 20 years. At the present stage of the panel construction, only the German national standard DIN EN 1995-1-1 / NA (2010) and the Austrian ÖNORM B 1995-1-1 (2014) standard for the design of timber structures contain recommendations for the design and construction of CLT panels buildings. The calculation of the CLT panels strength for different types of stress state can be performed only on the basis of technical conclusions of laboratories and product certificates containing instructions and correction values for the calculation of CLT panels of a specific manufacturer. The next revision of Eurocode-5 in 2022 will have significant regulations and requirements for the design and calculation of houses using CLT panels. There are three methods for calculating the bending strength of panels based on a specific scheme of approximation: the gamma method, the Tymoshenko method, and the shear analogy method. The gamma method treats the CLT panel as a flexible beam, similar to the beam of the Dereviagin system on lamellas or Kubler cubes, where the transverse layers of the boards are considered as pliable and not taken into account in calculating the geometric characteristics of the CLT cross sections. Each technique has its advantages and disadvantages as it has a number of specific assumptions to simplify the calculations. This paper highlights the advantages and disadvantages of the gamma method, which is more prevalent than other techniques and is found in many technical opinions of various CLT panels manufacturers. The analysis of the drawbacks of this technique avoids a number of inaccuracies in the calculation results.*

*Keywords: strength by bending, cross laminated timber, CLT, calculation method,  $\gamma$ -method, advantages and disadvantages*

**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**

## ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ $\Gamma$ -МЕТОДА ДЛЯ РАСЧЕТА ПРОЧНОСТИ ПКД ПАНЕЛЕЙ ПРИ ИЗГИБЕ

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

*Поперечная клееная древесина (ПКД) или CLT является новым строительным материалом, который широко внедряется в строительстве многоэтажных жилых и офисных зданий. Этот материал получил широкое распространение в странах Европы, США и Канаде и активно используется уже в течении 20 лет. На современном этапе развития ПКД панелей только национальный стандарт Германии DIN EN 1995-1-1 / NA (2010) и стандарт Австрии ÖNORM B 1995-1-1 (2014) по проектированию деревянных конструкций содержит*

рекомендации по расчету и конструированию зданий из ПКД панелей. Расчет ПКД панелей при различных видах напряженного состояния можно выполнять только на основе технических заключений лабораторий и сертификатов продуктов, которые содержат указания и поправочные величины для расчетов ПКД панелей конкретного производителя. Следующая редакция Еврокод-5 в 2022 году будет иметь существенные нормативные указания и требования для проектирования и расчета зданий с использованием ПКД панелей. Существует три метода расчета прочности ПКД панелей при изгибе, каждая из которых базируется на определенной схеме апроксимации: гамма-метод, метод Тимошенко и метод сдвиговой аналогии. Гамма-метод рассматривает ПКД панель как балку на податливых связях, аналогично балке системы Деревягина на пластинчатых шпонках или кубышки Кюблер, где поперечные слои досок рассматриваются как податливи связи и не учитываются при вычислении геометрических характеристик поперечных сечений ПКД панелей. Каждая методика имеет свои преимущества и недостатки, поскольку существует целый ряд определенных предположений для упрощения вычислений. В данной работе освещены преимущества и недостатки гамма-метода, который имеет наибольшее распространение, чем другие методики и содержится во многих технических заключениях различных производителей ПКД панелей. Анализ недостатков этой методики позволяет избежать ряд неточностей результатов расчета.

*Ключевые слова:* прочность при изгибе, поперечная клееная древесина, ПКД, CLT, методика расчета,  $\gamma$ -метод, преимущества и недостатки.

**Бидаков Андрей Николаевич** – канд. техн. наук, доцент кафедры строительные конструкции Харьковского национального университета городского хозяйства им. А. Н. Бекетова. E-mail: [bidakov@kname.edu.ua](mailto: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](mailto: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](mailto: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](mailto:bogdanstrashko@outlook.com).