

Андрій Бідаков, Оксана Пустовойтова, Євген Распопов, Богдан Страшко

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЧИСЕЛЬНИХ РОЗРАХУНКІВ МІЦНОСТІ ВКЛЕЄНИХ СТРИЖНІВ У CLT ПАНЕЛЯХ

Актуальність теми дослідження. Позитивний досвід використання клеєних сталевих стрижнів у дерев'яних конструкціях спостерігається протягом тривалого періоду в Східній Європі і вважається за необхідне застосування даного типу з'єднань в панелях з поперечної клеєної деревини (ПКД або CLT).

Постановка проблеми. Міцність клеєних стрижнів на висмикування, які встановлені у поперечному перерізі ПКД або CLT панелі показали нові результати, які важко було передбачити з урахуванням значної практики використання клеєних стрижнів у цільній та клеєній деревині. ПКД панель є складною багатошаровою системою дошок зі взаємно перпендикулярним їх розташуванням у суміжних шарах, то виникли нові граничні умови для стрижнів, коли вони можуть бути розташованими на межі поздовжньої та поперечної дошок.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз міцності клеєних стрижнів на висмикування залежно від положення в поперечному перерізі аналогічно випробуванням, описаним в роботі проф. Н. J. Blass при дослідженні міцності гвинтів на висмикування, де місце встановлення гвинтів варіювалося

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Не вирішено питання впливу місця розташування стрижня в поперечному перерізі ПКД панелі на величину його несучої здатності.

Постановка завдання. Провести порівняльний аналіз експериментальних досліджень та чисельних розрахунків міцності клеєних стрижнів у CLT панелях.

Виклад основного матеріалу. Для оцінки достовірності отриманих експериментальних даних виконані аналітичні дослідження в програмному комплексі Ansys для всіх можливих місць розташування стрижнів у поперечному перерізі ПКД панелі, що можуть впливати на величину міцності, з урахуванням пружної моделі анізотропії деревини. Виконані дослідження вказують на те, що небажано виконувати клеювання стрижнів у крайні дошки, навіть при встановленні групи клеєних стрижнів, що також потребує додаткових комплексних варіативних експериментальних досліджень для формулювання конструктивних вимог щодо компоновки вузлів на клеєних стрижнях у ПКД панелях.

Висновки відповідно до статті. На основі експериментальних досліджень міцності клеєних стрижнів у поперечному перерізі ПКД або CLT панелі встановлено зміну міцності залежно від діаметра металевих стрижня та його місця розташування у поперечному перерізі, якому характерно чергування взаємно поперечних шарів дошок.

Ключові слова: клеєні сталеві стрижні; збірні панелі; міцність на висмикування; поперечна клеєна деревина; ПКД; CLT; з'єднання; скінчені елементи; розрахунок; Ansys.

Рис.: 7. Табл.: 1. Бібл.: 14.

Актуальність теми дослідження. Позитивний досвід використання клеєних сталевих стрижнів у дерев'яних конструкціях спостерігається протягом тривалого періоду в Східній Європі і вважається за необхідне застосування даного типу з'єднань у панелях із поперечної клеєної деревини (ПКД або CLT). У цій статті показано порівняння результатів випробувань на висмикування клеєних стрижнів, встановлених у торцевій поверхні ПКД панелей у різних можливих варіантах та результатів чисельних розрахунків. Аналіз міцності клеєних стрижнів на висмикування залежно від положення в поперечному перерізі аналогічний випробуванням, описаним в роботі [12] проф. Н. J. Blass (2007) при дослідженні міцності гвинтів на висмикування, де місце встановлення гвинтів варіювалося.

Постановка проблеми. Оскільки ПКД панель є як стіновим, так і елементом перекриття багатопверхових будівель, то при розробці вузлових з'єднань необхідно враховувати тип з'єднувальних панелей. У Європейських країнах найбільш розповсюдженими є з'єднання на гвинтах, через незначну трудомісткість у порівнянні з клеєними стрижнями, які мають велику популярність у пострадянських країнах і є більш вигіднішим конструктивним рішенням, ніж використання гвинтів. Для впровадження системи клеєних стрижнів для з'єднання ПКД панелей запропоновано універсальне з'єднання на клеєних стрижнях, показане на рис. 1, б, для якого були виконані дослідження стрижнів на висмикування (рис. 1, в) у п'яти різних характерних точках поперечного перерізу (рис. 1, г). Досліджені точки розташування стрижня можуть впливати на величину міцності, що було досліджено на 75 зразках для трьох діаметрів клеєних стрижнів з однаковою глибиною клеювання стрижня.

Розрахунок напружень і деформацій експериментально досліджених зразків з ПКД або CLT виконувались у програмному комплексі ANSYS. При моделюванні зразків дотримувалися всі геометричні параметри та структура ПКД панелі з її технологічними особливостями, а саме склеювання бокових граней дощок та їх взаємно перпендикулярне розташування у суміжних шарах дощок. Відповідно пружні характеристики дощок задавалися з урахуванням напрямку волокон, що спостерігається в результатах розрахунків напружень і деформацій. Пружні характеристики деревини зразків із ПКД панелей були прийняті аналогічно досліджень В. Azinovic, E. Serrano [1], та дисертаційної роботи С. Sandhaas [4] для деревини хвойних порід, а саме сосни: модуль пружності вздовж волокон $E_1 = 11000$ МПа, модуль пружності поперек волокон $E_2 = 370$ МПа, $E_3 = 370$ МПа, модуль зсуву $G_1 = G_2 = 690$ МПа та $G_3 = 50$ МПа, коефіцієнти Пуассона $\nu_1 = 0,4$, $\nu_2 = 0,4$ та $\nu_3 = 0,45$. Пружні характеристики клею також були запозичені з багатьох робіт і мали такі значення: $E = 7000$ МПа, $G = 2600$ МПа, $\nu = 0,25$. Пружні характеристики сталі приймалися за сертифікатом, значення яких були підтверджені при перевірочних випробуваннях шпильок.

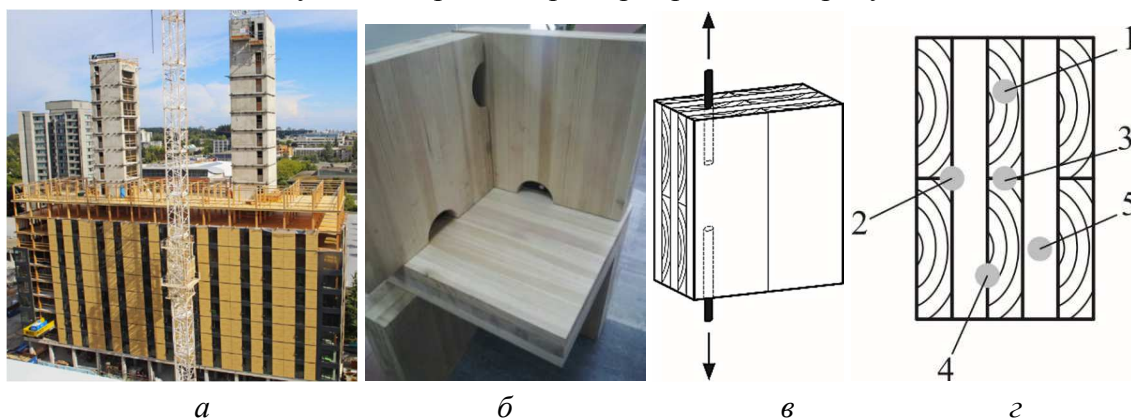


Рис. 1. Багатоповерхова будівля з ПКД панелей та вузол на клеєних стрижнях і схема виконаних досліджень:
 а – будівля з ПКД панелей; б – вузол на клеєних стрижнях;
 в – схема випробувань; з – досліджені точки клеївки стрижнів

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Міцність клеєних стрижнів на висмикування в цільній деревині, ЛВЛ брусі та клеєній деревині досить детально виконані, і лише протягом останніх двох років з'єднання на клеєних стрижнях почали досліджуватись у ПКД панелях, які є новим будівельним матеріалом для будівництва багатоповерхових житлових будівель. У цій статті розглядається робота тільки одиночних стрижнів при двосторонній симетричній клеївці в зразки. Крім того, міцність на висмикування клеєних стрижнів необхідна для виконання підсилень різних частин ПКД панелей, а також для посилення вузлових з'єднань. На сьогодні відомі дослідження клеєних стрижнів у ПКД панелях в дипломній роботі М. Andersen та М. Нøier [8], а також у публікаціях В. Azinovic [1; 9; 10].

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Питання, розглянуті у цій публікації, не вирішують питання впливу місця розташування стрижня в поперечному перерізі ПКД панелі на величину його несучої здатності.

Мета статті. Провести порівняльний аналіз експериментальних досліджень та чисельних розрахунків міцності клеєних стрижнів у CLT панелях.

Виклад основного матеріалу. Розглядається вплив локалізації клеєного стрижня в поперечному перерізі ПКД панелей на величину максимальної міцності при висмикуванні. Діаметр усіх розглянутих сталевих стрижнів був менше, ніж товщина дощок, на яку припадало 30 мм у зразках ПКД з 5 шарами без зазорів між дошками в шарі й без компенсаційних пропилов в дошках. Глибина клеювання стрижнів у всіх зразках була

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

прийнята 100 мм і використовувався двухкомпонентний епоксидний клей. Величина отвору була прийнята на 4 мм більше діаметра вклеюваних сталевих стрижнів. Зміст вологи в деревині становило близько 12 %. Схема випробувань зразків і розташування вклеєних стрижнів показані на рис. 2, де 1 – вздовж волокон в одній дошці; 2 – на межі двох паралельних і однієї перпендикулярної дошки; 3 – на межі двох паралельних дощок, уздовж волокон; 4 – на межі однієї паралельної і однієї перпендикулярної дошки; 5 – перпендикулярно волокон, в одній дошці. Відмінності між зразками були в положеннях вклеєних стрижнів (згідно зі схемою на рис. 2) і діаметрах стрижнів, наведених у таблиці.

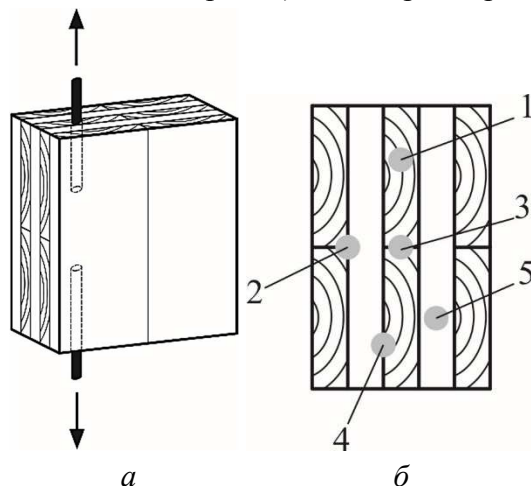


Рис. 2. Схема навантаження зразків (а) та місця встановлення вклеєних стрижнів (б)

В якості вклеєних стрижнів використовувалися сталеві шпильки з метричною різьбою М10, М12 і М14 класом міцності 5.8. Метод випробування відповідав вимогам стандарту EN 1382:1999 [13]. Швидкість навантаження була постійною до руйнування і перебувала в інтервалі від 0,5 до 1,5 мм/хв. При проведенні випробувань велика увага приділялася характеру руйнування зразків. Загальна кількість зразків на висмикування було 75. У таблиці показана програма випробувань і параметри для кожної з трьох серій зразків. Для кожної розглянутої точки вклейки стрижнів було випробувано по 5 зразків, відповідно кожного діаметру. Як показано на рис. 2, б, були розглянуті всі можливі випадки встановлення стрижнів, які могли б вплинути на отримані результати. Очевидно, великий інтерес представляють результати міцності стрижнів на висмикування, розташованих на лініях склеювання двох суміжних поперечно орієнтованих дощок. Хоча для стрижнів вклеєних поперек волокон схема руйнування і величини міцності дещо відрізняються від результатів, одержуваних за класичною схемою випробувань.

Таблиця

Програма випробувань

Серії зразків	Глибина вклеювання l_{ad} [mm]	Діаметр стрижня d [mm]	Товщина клейового шару e [mm]	Кількість зразків	Номера локацій
GiR-10	100	10	2	25	1-5
GiR -12	100	12	2	25	1-5
GiR -14	100	14	2	25	1-5

На рис. 3 показані результати випробувань зразків різного діаметра вклеєних стрижнів (10, 12 і 14 мм) залежно від номера позиції вклеювання в поперечному перерізі і від величини руйнівного навантаження. Очевидно, що зі збільшенням діаметра стрижня буде збільшуватися і величина міцності, як було показано вище в натуральному вираженні (1).

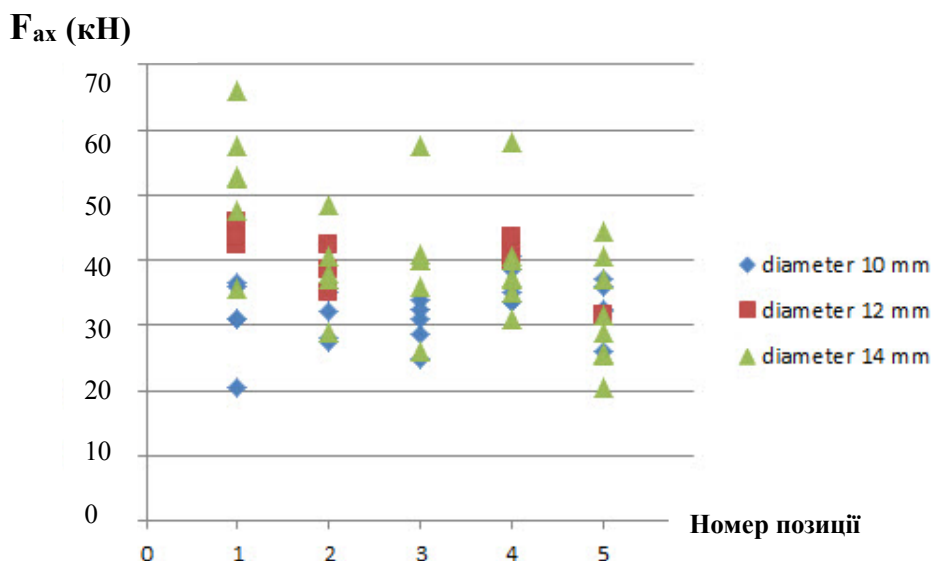


Рис. 3. Результати випробувань для стрижнів різного діаметра встановлених у поперечному перерізі ПКД

Найбільша величина деформацій при однаковому рівні навантаження з різними точками локації в поперечному перерізі ПКД, відповідає стрижням встановленим у дошки поперек волокон, що також зазначено в E. Serrano [14]. Крива навантаження-деформація для вклеєних стрижнів встановлених на кордонах поздовжньої і поперечної дошок мали проміжні криві між кривою для стрижнів встановлених уздовж волокон і стрижнів встановлених поперек волокон.

Руйнування стрижнів мало типовий характер для даного виду з'єднання у вигляді сколювання деревини навколо стрижнів як із малим обсягом деревини близьким до клейового шару, так і зі значною частиною деревини конічної форми. На рис. 4 показаний характер руйнування випробуваних зразків із різними варіантами локацій вклеювання стрижня.



Рис. 4. Характер руйнування зразків

Отримання кількісних та якісних величин розподілу напружень і деформацій у ПКД панелях при висмикуванні вклеєних стрижнів, що встановлені в різні характерні точки поперечного перерізу панелі. Для досягнення поставленої мети виконані аналітичні розрахункові моделі з використанням об'ємних скінчених елементів та використані пружні характеристики деревини виходячи з анізотропії матеріалу, а саме розглядається трансверсна пружна модель деревини.

Чисельний аналіз виконувався для всіх 5 запропонованих і досліджених місць розташування вклеювання стрижня у поперечному перерізі ПКД панелі. Дані, отримані в результаті розрахунку, залежать від таких параметрів, як розмір сітки і виду її розбиття, тип скінченного елемента тощо. Також важливим аспектом є набір пружних характеристик матеріалів, що входять до складу конструкції, а саме, їх відповідність реальності даної конструкції. Схеми деяких моделей зразків та схема розбиття сітки об'ємних скінчених елементів показано на рис. 5. При створенні моделей та виконанні розрахунків врахову-

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

вались досліди та методики сформульовані закордонними колегами [2, 3] при дослідженні різних факторів, що впливають на величини міцності з'єднань на вклеєних стрижнях. Також при створенні аналітичної розрахункової моделі з об'ємних скінчених елементів бралася до уваги праця E. Serrano [7; 8] та дипломна робота [5] спеціаліста.

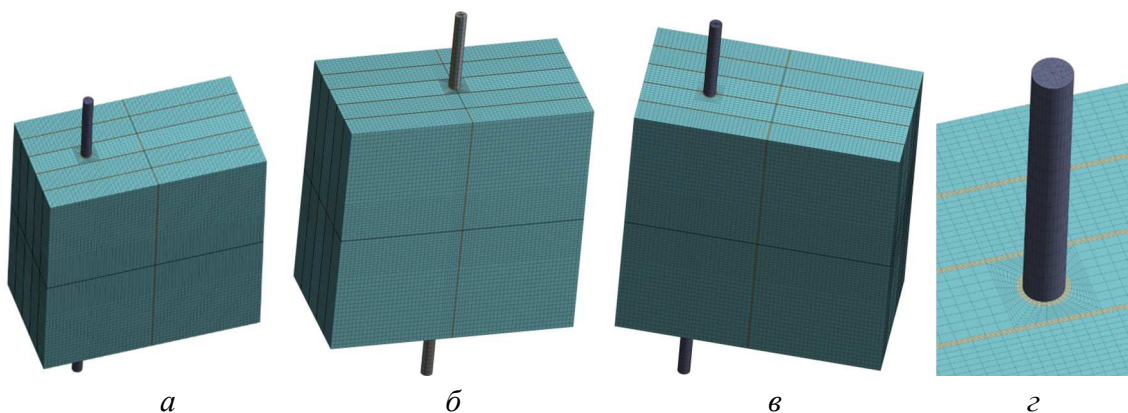


Рис. 5. Схеми моделей зразків із різними місцями розташування вклеєних стрижнів та схема розбиття сітки об'ємних скінчених елементів навколо стрижня:

- a* – схема 1 – вздовж волокон в одній дошці; *б* – схема 3 – на межі двох паралельних дошок;
- в* – схема 4 – на межі паралельної і перпендикулярної дошки;
- г* – схема розбиття сітки біля стрижня

У розрахунковій моделі балки використовувався восьмивузловий просторовий анізотропний скінчений елемент SOLID 64. Розмір сітки генерувався не автоматично, а з заданими параметрами. Були використані скінченні елементи у вигляді паралелепіпедів зі сторонами 4×2×2 см. У зоні вклеювання стрижнів, на ділянці 30×30 мм виконувалось згущення сітки за радіальними напрямками до центру стрижня (рис. 5, *г*).

Величина деформації при руйнуванні вклеєних стрижнів у різних матеріалах на основі деревини складає до 2 мм і залежить від такого ряду факторів, як діаметр стрижня, глибина вклеювання та товщина клейового шару. Оскільки руйнування з'єднань на вклеєних стрижнях реалізується при сколюванні деревини вздовж стрижня, (див. розподіл напружень рис. 6), і має крихкий характер, що небажано та можливо його уникати шляхом поперечних підсилень вклеєними стрижнями або гвинтами. Руйнування металевого стрижня не допустиме, тому несуча здатність з'єднання повинна бути меншою, ніж міцність металевого стрижня на розтяг. Деформативність усіх розглянутих стрижнів при випробуваннях відрізнялась на всьому інтервалі навантаження до руйнування становила не більше ніж 10-15 %. Аналогічні дані отримані при аналітичних розрахунках.

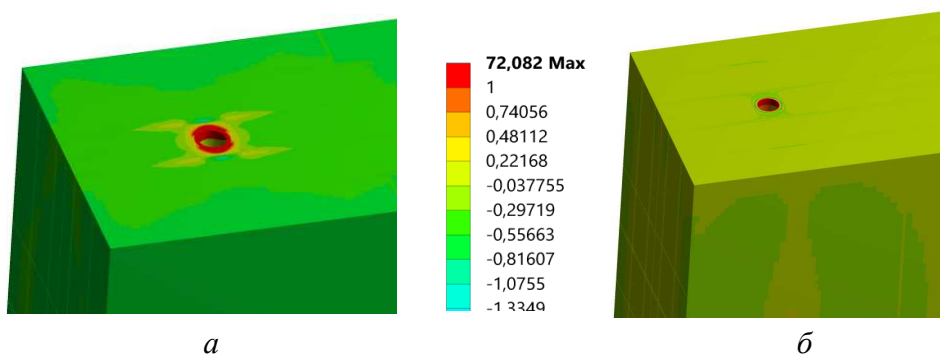


Рис. 6. Характер розподілу нормальних напружень для зразка з розташуванням вклеєного стрижня за схемою 1: *a* – нормальні напруження по осі *Y*; *б* – нормальні напруження по осі *Z*

Для складання технічних рекомендацій, щодо проектування вузлових з'єднань на вклеєних стрижнях у поперечному перерізі ПКД панелі при навантаженні вздовж осі стрижня, розглядалися додаткові ситуації локації стрижнів, порушуючи вимоги мінімальних відстаней між осями стрижнів та від осі стрижня до бічних граней, які визначені для цього типу з'єднання в клеєній та цільній деревині. Як правило, мінімальні відстані є кратними діаметрам вклеєних стрижнів або діаметрам отворів у деревині, та становлять від 2 до 5 діаметрів залежно від матеріалу на основі деревини (цільна деревина, клеєна деревина, ЛВЛ брус). На рис. 7 показано випадок близького розташування стрижня до бічної грані ПКД панелі та напруження які виникають у такому випадку.

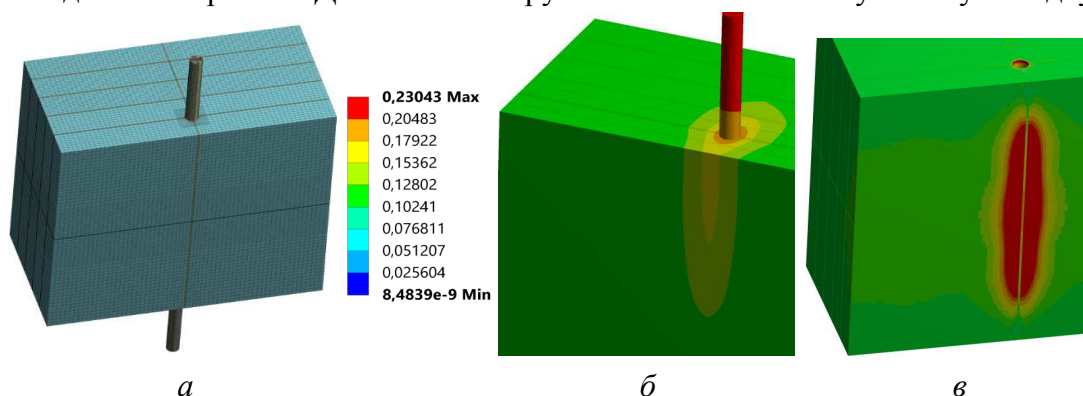


Рис. 7. Розподіл напружень і деформацій для стрижня, розташованого близько до бічної грані:

а – геометрична модель; *б* – розподіл деформацій; *в* – нормальні напруження по осі Z

Аналіз розподілу напружень для стрижнів, встановлених у крайні дошки, є важливим питанням, оскільки розподіл напружень у поперечному перерізі ПКД панелі значно залежить від напрямку дошок, в які вклеєний стрижень та товщини дошок суміжних поперечних шарів. Виконані дослідження вказують на те, що небажано виконувати вклеювання стрижнів у крайні дошки, навіть при встановленні групи вклеєних стрижнів, що також потребує додаткових комплексних варіативних експериментальних досліджень для формулювання конструктивних вимог щодо компоновки вузлів на вклеєних стрижнях у ПКД панелях.

Висновки відповідно до статті. На основі експериментальних досліджень міцності вклеєних стрижнів у поперечному перерізі ПКД або CLT панелі [11] встановлено зміну міцності залежно від діаметра металевого стрижня та його місця розташування у поперечному перерізі, якому характерно чергування взаємно поперечних шарів дошок. Різниця між результатами, отриманими при випробуваннях натурних моделей зразків ПКД панелей із вклеєними стрижнями, і результатами отриманими в програмному комплексі ANSYS, не перевищують 13 %, що показує високу збіжність даних для дерев'яних конструкцій і підтверджує правильність обраної розрахункової моделі. Така висока збіжність між експериментальними та аналітичними розрахунковими даними дає можливість використовувати розрахункові комплекси для оцінки несучої здатності та деформативності вклеєних стрижнів. Для впровадження вклеєних стрижнів у вузлових з'єднаннях ПКД панелей необхідно виконання досліджень міцності групи вклеєних стрижнів і відповідно розробка рекомендацій про мінімальні відстані між стрижнями і від стрижнів до граней поперечного перерізу ПКД.

Список використаних джерел

1. Azinović B. "Glued-in rods in CLT". Short Term Scientific Mission (STSM) Report. COST Action FP1402: Basis of Structural Timber Design – from research to standards. 2018. 40 p.
2. Stepinac M., Bidakov A., Jockwer R., Rajcic V. Review and evaluation of design approaches for glued-in rods in East and West Europe. *World Conference on Timber Engineering*, August 20–23. Seoul, Republic of Korea. 2018.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

3. Stepinac, M., Hunger, F., Tomasi, R., Serrano, E., Rajcic, V. & van de Kuilen, J. Comparison of design rules for glued-in rods and design rule proposal for implementation in European standards. Vancouver: International Council for Research and Innovation in Building and Construction. 2013.
4. Sandhaas C. Mechanical behavior of timber joints with slotted-in steel plates. Dissertation, University of Technology Delft, The Netherlands, 2012.
5. Feldt P., Thelin A. Gluer-in rods in timber structures. Finite element analyses of adhesive failure. Master's thesis in structural engineering. Department of architectural and civil engineering, Chalmers university of technology, Gothenburg, Sweden, 2018.
6. Serrano E. Adhesive joints in timber engineering – modelling and testing of fracture properties. Doctoral Thesis, Department of Mechanics and Materials, Structural Mechanics, Lund University, Sweden, 2000. 193 p.
7. Serrano E. Glued-in rods for timber structures a 3D model and finite element parameter studies. *Int J Adhes Adhes*. 2001. 21(2). P. 115–127.
8. M. Andersen, M. Høier, Glued-in Rods in Cross Laminated Timber, Master's Thesis, Aarhus University, 2016.
9. B. Azinovic', E. Serrano, M. Kramar, T. Pazlar, Experimental investigation of the axial strength of glued-in rods in cross laminated timber, *Mater. Struct.* 51 (2018). DOI: <https://doi.org/10.1617/s11527-018-1268-y>.
10. Azinovic' B., Danielson H., Serrano E., Kramar M. Glued-in rods in cross laminated timber – Numerical simulations and parametric studies. *Construction and building materials/* 2019. Vol. 212-Jul 10.
11. Bidakov A., Raspopov I., Strashko B. Withdrawal resistance of glued-in steel rods by pull-pull tests in CLT. Proceedings of the 1st *Eastern Europe Conference on Timber Constructions*. Kharkiv, 2018. P. 87–97.
12. Uibel, T., Blaß, H. J. Edge joints with dowel type fasteners in cross laminated timber. In *Proceedings, CIB-W18 Meeting 2007*, Bled, Slovenia, 2007. P. 40-7-2.
13. EN1382 (1999) Timber structures—test methods—withdrawal capacity of timber fasteners.
14. Serrano E. Glued-in rods for timber structures – An experimental study of softening behaviour. *Materials and Structures*, Vol. 34, May 2001. P. 228–234.

References

1. Azinović, B. (2018). Glued-in rods in CLT". Short Term Scientific Mission (STSM) Report. COST Action FP1402: Basis of Structural Timber Design – from research to standards.
2. Stepinac, M., Bidakov, A., Jockwer, R., Rajcic, V. (2018). Review and evaluation of design approaches for glued-in rods in East and West Europe. *World Conference on Timber Engineering* (August 20-23, 2018). Seoul, Republic of Korea.
3. Stepinac, M., Hunger, F., Tomasi, R., Serrano, E., Rajcic, V. & van de Kuilen, J. (2013). Comparison of design rules for glued-in rods and design rule proposal for implementation in European standards, Vancouver: International Council for Research and Innovation in Building and Construction.
4. Sandhaas, C. (2012). Mechanical behavior of timber joints with slotted-in steel plates. Dissertation, University of Technology Delft, The Netherlands.
5. Feldt, P., Thelin, A. (2018). Gluer-in rods in timber structures. Finite element analyses of adhesive failure. Master's thesis in structural engineering. Department of architectural and civil engineering, Chalmers university of technology, Gothenburg, Sweden.
6. Serrano, E. (2000). Adhesive joints in timber engineering – modelling and testing of fracture properties. Doctoral Thesis, Department of Mechanics and Materials, Structural Mechanics, Lund University, Sweden.
7. Serrano, E. (2001). Glued-in rods for timber structures a 3D model and finite element parameter studies. *Int J Adhes Adhes*, 21(2), 115–127.
8. Andersen, M., Høier, M. (2016). Glued-in Rods in Cross Laminated Timber, Master's Thesis, Aarhus University.
9. Azinovic', B., Serrano, E., Kramar, M., Pazlar, T. (2018). Experimental investigation of the axial strength of glued-in rods in cross laminated timber. *Mater. Struct.* 51, Retrieved from <https://doi.org/10.1617/s11527-018-1268-y>.
10. Azinovic' B., Danielson H., Serrano E., Kramar M. (2019). Glued-in rods in cross laminated timber – Numerical simulations and parametric studies. *Construction and building materials*, 212-Jul 10.

11. Bidakov, A., Raspopov, I., Strashko, B. (2018). Withdrawal resistance of glued-in steel rods by pull-pull tests in CLT. Proceedings of the 1st Eastern Europe Conference on Timber Constructions (pp. 87-97). Kharkiv.

12. Uibel, T., Blaß, H. J. (2007). Edge joints with dowel type fasteners in cross laminated timber. In *Proceedings CIB-W18 Meeting 2007*. Bled, Slovenia, 40-7-2.

13. EN1382 (1999). Timber structures—test methods—withdrawal capacity of timber fasteners.

14. Serrano, E. (May 2001). Glued-in rods for timber structures – An experimental study of softening behaviour. *Materials and Structures*, 34, 228–234.

UDC 624.011

Andrii Bidakov, Oksana Pustovoitova, Ievgenii Raspopov, Bogdan Strashko

COMPARATIVE ANALYSIS OF EXPERIMENTAL RESEARCH AND NUMERICAL CALCULATIONS OF GLUED-IN STEEL RODS STRENGTH IN CLT PANELS

Urgency of the research. Positive experience in the use of glued steel rods in wooden structures is observed for a long period in Eastern Europe and is considered necessary for the use of this type of joints in panels of cross-glued wood (PKD or CLT).

Target setting. The strength of the glued pull-out rods installed in the cross section of the PKD or CLT panel showed new results that were difficult to predict given the considerable practice of using the glued rods in solid and glued wood. PKD panel is a complex multilayer system of boards with mutually perpendicular to their location in adjacent layers, new boundary conditions have arisen for the rods, when they can be located on the border of longitudinal and transverse boards.

Actual scientific researches and issues analysis. The analysis of the strength of glued pull-out bars depending on the position in cross-section is similar to the tests described in the work of Prof. H. J. Blass in the study of the strength of the screws to pull, where the location of the screws varied

Uninvestigated parts of general matters defining. The influence of the location of the rod in the cross section of the PKD panel on the value of its bearing capacity is not resolved.

The purpose of the article. To perform a comparative analysis of experimental studies and numerical calculations of the strength of the glued rods in CLT panels.

The presentation of the main material. In order to evaluate the reliability of the experimental data obtained, analytical studies were performed in the Ansys software for all possible locations of rods in the cross section of the panel of the panel, which may affect the strength values, taking into account the elastic model of wood anisotropy. The performed studies indicate that it is undesirable to adhere the rods to the end boards, even with the installed groups of glued rods, which also requires additional complex variational experimental studies to formulate design requirements for the arrangement of the nodes on the glued rods in the PKD panels.

Conclusions and suggestion. Based on experimental studies of the strength of the glued rods in the cross section of the PKD or CLT panel, the change in strength depending on the diameter of the metal rod and its location in the cross section, which is characterized by alternation of mutually transverse layers of boards.

Keywords: glued-in steel rods; prefabricated panels; shear strength; cross laminated timber; CLT; connections; finite element modeling; calculation; Ansys software.

Бідаков Андрій Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри будівельної конструкції Харківського національного університету міського господарства ім. О. М. Бекетова (вул. Бажанова, 26, м. Харків, 61000, Україна).

Bidakov Andrii – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of Building Construction Department, O. M. Beketov National University of Urban Economy (26 Bazhanova Str., 61000 Kharkiv, Ukraine).

E-mail: bidakov@kname.edu.ua

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6394-2247>

Пустовойтова Оксана Михайлівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри будівельної конструкції Харківського національного університету міського господарства ім. О. М. Бекетова (вул. Бажанова, 26, м. Харків, 61000, Україна).

Pustovoitova Oksana – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of Building Construction Department, O. M. Beketov National University of Urban Economy (26 Bazhanova Str., 61000 Kharkiv, Ukraine).

E-mail: oksana_pustov@ukr.net

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4078-4834>

Распопов Євген Анатолійович – аспірант кафедри будівельної конструкції Харківського національного університету міського господарства ім. О. М. Бекетова (вул. Бажанова, 26, м. Харків, 61000, Україна).

Raspopov Ievgenii – PhD student of Building Construction Department, O. M. Beketov National University of Urban Economy (26 Bazhanova Str., 61000 Kharkiv, Ukraine).

E-mail: raspopovkm@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5084-5533>

Страшко Богдан Олександрович – аспірант кафедри будівельної конструкції Харківського національного університету міського господарства ім. О. М. Бекетова (вул. Бажанова, 26, м. Харків, 61000, Україна).

Strashko Bogdan – PhD student of Building Construction Department, O. M. Beketov National University of Urban Economy (26 Bazhanova Str., 61000 Kharkiv, Ukraine).

E-mail: bogdanstrashko@outlook.com